

**EFEITO DE INTERFERÊNCIA DE VIZINHANÇA NA DISTRIBUIÇÃO
DAS PRESSÕES MÉDIAS E DE PICO DEVIDAS AO VENTO EM
FACHADAS DE EDIFÍCIOS ALTOS**

DOUGLAS MAIA MARTINS

**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO
ESTRUTURAS E CONSTRUÇÃO CIVIL**

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

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

**EFEITO DE INTERFERÊNCIA DE VIZINHANÇA NA DISTRIBUIÇÃO
DAS PRESSÕES MÉDIAS E DE PICO DEVIDAS AO VENTO EM
FACHADAS DE EDIFÍCIOS ALTOS**

DOUGLAS MAIA MARTINS

Orientador: Prof. José Luís Vital de Brito, DSc. (ENC-UnB)

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO EM ESTRUTURAS E CONSTRUÇÃO CIVIL

Brasília-DF, fevereiro de 2024

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

**EFEITO DE INTERFERÊNCIA DE VIZINHANÇA NA DISTRIBUIÇÃO
DAS PRESSÕES MÉDIAS E DE PICO DEVIDAS AO VENTO EM
FACHADAS DE EDIFÍCIOS ALTOS**

DOUGLAS MAIA MARTINS

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO SUBMETIDA AO DEPARTAMENTO DE
ENGENHARIA CIVIL DA FACULDADE DE TECNOLOGIA DA UNIVERSIDADE DE
BRASÍLIA COMO PARTE DOS REQUISITOS PARCIAIS PARA A OBTENÇÃO DO
GRAU DE MESTRE EM ESTRUTURAS E CONSTRUÇÃO CIVIL.

APROVADA POR

Prof. José Luís Vital de Brito, DSc. (ENC-UnB) (Orientador)

Graciela Nora Doz de Carvalho, Dr.Eng. (ENC-UnB)

Examinadora Interno

Thiarly Feitosa Afonso de Lavôr, DSc. (UNIFSM)

Examinador externo

Brasília-DF, fevereiro de 2024

FICHA CATALOGRÁFICA

Martins, Douglas Maia

Efeito de Interferência de Vizinhança na Distribuição das Pressões Médias e de Pico Devidas ao Vento em Fachadas de Edifícios Altos.

[Distrito Federal] 2024.

xxvii, 192 p., 210 x 297 mm (ENC/FT/UnB, Mestre, Estruturas e Construção Civil, 2024).

Dissertação de Mestrado – Universidade de Brasília. Faculdade de Tecnologia.

Departamento de Engenharia Civil e Ambiental.

1. Vento 2. Interferência de vizinhança

3. Edifícios altos 4. Coeficientes de pressão média e de pico

I. ENC/FT/UnB II. Título (Mestre)

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

Martins, Douglas Maia (2024) Efeito de Interferência de Vizinhança na Distribuição das Pressões Médias e de Pico Devidas ao Vento em Fachadas de Edifícios Altos. Dissertação de Mestrado em Estruturas e Construção Civil, Publicação E.DM – , Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, .

CESSÃO DE DIREITOS

AUTOR: Douglas Maia Martins.

TÍTULO: Efeito de Interferência de Vizinhança na Distribuição das Pressões Médias e de Pico Devidas ao Vento em Fachadas de Edifícios Altos.

GRAU: Mestre ANO: 2024

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

Douglas Maia Martins

Qs 14 Conj. 8 A Lt. 02 Apt. 201

CEP: 71825-408 Brasília/DF - Brasil

E-mail: engenheirodouglas25@gmail.com

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho em especial a minha amada esposa Erika Martins e aos meus filhos Diego Lorenzo e Maria Eduarda, para que busquem o conhecimento, pois este é o princípio da sabedoria.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus por todas as oportunidades que me foram dadas, assim como sabedoria, saúde e força nessa caminhada.

À minha esposa Erika Martins, que esteve sempre ao meu lado nos momentos mais difíceis e que estará sempre comigo nos momentos mais felizes e nas maiores conquistas.

Em especial o meu Tio Ney Lacerda, que foi fundamental no início da minha caminhada, o qual tenho gratidão por toda minha vida por todo apoio, motivação e aconselhamento.

Aos meus pais que me guiaram sempre de forma idônea, com amor e carinho sempre.

Ao meu orientador José Luís Vital de Brito, o qual apresentou muita paciência e compreensão em todo o processo de desenvolvimento do estudo, me apoiando e fornecendo um conhecimento fundamental de aprimoramento do projeto realizado.

Ao Thiarly Feitosa Afonso de Lavôr, pela disponibilidade de usar os dados experimentais que ele obteve.

À equipe do Laboratório de Aerodinâmica das Construções (LAC/UFRGS), pelo auxílio ao Thiarly na realização dos ensaios realizados em túnel de vento.

À Universidade de Brasília (UnB) ao Programa de Pós -Graduação em Estruturas e Construção civil (PECC).

Ao Capes e ao CNPq pelo apoio financeiro.

EFEITO DE INTERFERÊNCIA DE VIZINHANÇA NA DISTRIBUIÇÃO DAS PRESSÕES MÉDIAS E DE PICO DEVIDAS AO VENTO EM FACHADAS DE EDIFÍCIOS ALTOS

Autor: Douglas Maia Martins

Orientador: José Luís Vital de Brito

Programa de Pós-Graduação em Estruturas e Construção Civil

Brasília-DF, fevereiro de 2024

RESUMO

Edifícios altos apresentam grandes desafios para a engenharia e, portanto, constantemente são objetos de estudos para analisar e avaliar o comportamento estrutural. A engenharia do vento tem um papel fundamental na determinação dos esforços horizontais atuantes em uma estrutura, principalmente em edifícios altos e esbeltos, que estão mais suscetíveis a alterações do escoamento do vento provocadas por obstáculos ou edificações vizinhanças ao seu redor. Portanto o presente estudo propõe analisar os efeitos da interferência de vizinhança em um edifício alto para diversas configurações de vizinhanças inseridas ao redor de um modelo reduzido de um edifício padrão. Os dados foram obtidos nos ensaios experimentais realizados por Lavôr (2023) no túnel de vento Joaquim Blessmann com diversas configurações de posicionamento de vizinhança, dados estes que posteriormente foram inseridos em uma rotina de cálculo para realizar comparações normativas e experimentais. No processamento numérico também foi implementado o método estatístico de Davenport para obter as pressões de pico com período de recorrência de 50 anos com intuito de obter um parâmetro de análise dos efeitos de interferência de vizinhança para os coeficientes de pressão de pico por região. Um dos índices utilizados neste trabalho foi o Fator de Vizinhança F_v , que foi apresentado no estudo para determinar como o posicionamento de uma vizinhança pode influenciar nas distribuições das pressões médias e de pico de uma região da fachada, sendo capaz de gerar uma redução ou amplificação dos esforços atuantes quando se compara com a situação do modelo reduzido isolado (sem vizinhos). A partir da elaboração de gráficos e tabelas dos resultados dos efeitos de interferência de vizinhança pelo Fator de Vizinhança é observado que aproximadamente 33,33% das regiões de um edifício sofrem amplificações dos coeficientes de pressões médias, sendo 8,08% acima do previsto pela NBR6123:2023, enquanto para os coeficientes de pressões

de pico ocorre ampliações em aproximadamente 50% das regiões, sendo 17,77% acima do previsto normativamente. Deste modo, a análise local do efeito de interferência de vizinhança na distribuição de pressão em uma fachada apresenta grande relevância no desenvolvimento de um projeto estrutural.

Palavras-chave: vento, interferência de vizinhança, edifícios altos, coeficiente de pressão média e de pico.

EFFECT NEIGHBORHOOD INTERFERENCE ON THE DISTRIBUTION OF MEAN AND PEAK PRESSURES DUE TO WIND ON TALL BUILDINGS FACADES

Author: Douglas Maia Martins

Supervisor Professor: José Luís Vital de Brito

Postgraduate Program in Structures and Civil Construction

Brasilia-DF, February 2024

ABSTRACT

Tall buildings present significant challenges for engineering and are therefore constantly studied to analyze and evaluate structural behavior. Wind engineering plays a fundamental role in determining the horizontal forces acting on a structure, especially in tall and slender buildings, which are more susceptible to changes in wind flow caused by obstacles or neighboring buildings. Therefore, this study proposes to analyze the effects of neighborhood interference on a tall building for various neighborhood configurations surrounding a reduced-scale model of a standard building. The data were obtained from experimental tests conducted by Lavôr (2023) at the Joaquim Blessmann wind tunnel with various neighborhood positioning configurations, which were subsequently input into a calculation routine to perform normative and experimental comparisons. In the numerical processing, the Davenport statistical method was also implemented to obtain peak pressures with a 50-year recurrence period to obtain a parameter for analyzing the effects of neighborhood interference on peak pressure coefficients by region. One of the indices used in this work was the Interference Factor (IF), which was presented in the study to determine how the positioning of a neighborhood can influence the distributions of mean and peak pressures on a facade region, capable of generating a reduction or amplification of the forces acting when compared to the situation of the isolated reduced model (without neighbors). From the development of graphs and tables of the results of neighborhood interference effects by the Interference Factor (IF), it is observed that approximately 33.33% of building regions experience amplifications of mean pressure coefficients, with 8.08% above what is predicted by NBR6123:2023, while for peak pressure coefficients, amplifications occur in approximately 50% of regions, with 17.77% above what

is predicted normatively. Thus, the local analysis of the neighborhood interference effect on pressure distribution on a façade is highly relevant in the development of a structural design.

Keywords: wind, neighborhood interference, tall building, mean and peak pressure coefficient.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	1
1.1 MOTIVAÇÃO.....	2
1.2 OBJETIVOS.....	3
1.2.1 OBJETIVOS GERAIS.....	3
1.2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	3
1.3 METODOLOGIA	4
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	7
2.1 VELOCIDADE CARACTERÍSTICA DO VENTO.....	7
2.2 COEFICIENTES DE PRESSÃO E DE FORMA	10
2.3 COEFICIENTES DE PRESSÃO DE PICO.....	11
2.4 EFEITOS DE VIZINHANÇA	13
2.4.1 Efeitos de Proteção	13
2.4.2 Efeito Venturi	14
2.4.3 Efeito de deflexão vertical do vento	14
2.4.4 Turbulência de esteira.....	15
2.5 FATOR DE VIZINHANÇA (NBR6123:2023)	16
2.6 CONTRIBUIÇÕES SOBRE OS EFEITOS DE VIZINHANÇA	18
3. CAARC STANDARD TALL BUILDING.....	27
4. TÚNEL DE VENTO.....	31
4.1 INSTRUMENTAÇÃO DO TÚNEL DE VENTO	33
4.2 PARÂMETROS DE SIMULAÇÃO DO VENTO	34
5. DESENVOLVIMENTO EXPERIMENTAL	39
5.1 COEFICIENTES DE FORMA E DE PRESSÃO MÉDIA DO CAARC DE ACORDO COM A NBR 6123:2023	41
5.2 DETERMINAÇÃO DOS COEFICIENTES DE PRESSÕES MÉDIAS EXPERIMENTAIS.....	43

5.3 COEFICIENTES DE PRESSÕES MÉDIAS E DE PICO POR REGIÕES...	46
5.3.1 DETERMINAÇÃO DO COEFICIENTE DE PRESSÃO DE PICO POR REGIÃO – MÉTODO DE DAVENPORT	49
5.4 DETERMINAÇÃO DOS FATOR DE VIZINHANÇA EXPERIMENTAL .	50
6. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	53
6.1 COEFICIENTES DE PRESSÕES MÉDIAS POR TOMADA DE PRESSÃO	53
6.1.1 Coeficiente de pressão média por tomada – CAARC à 0° e vizinho à 0°	56
6.1.2 Coeficiente de pressão média por tomada – CAARC à 0° e vizinho à 90°	58
6.1.3 Coeficiente de pressão média por tomada – CAARC à 90° e vizinho à 0°	60
6.1.4 Coeficiente de pressão média por tomada – CAARC à 90° e vizinho à 90°	62
6.2 COEFICIENTES DE PRESSÕES MÉDIAS POR REGIÃO.....	64
6.2.1 Coeficiente de pressão média por região – CAARC à 0° e vizinho à 0°	66
6.2.2 Coeficiente de pressão média por região – CAARC à 0° e vizinho à 90°	67
6.2.3 Coeficiente de pressão média por região – CAARC à 90° e vizinho à 0°	69
6.2.4 Coeficiente de pressão média por região – CAARC à 90° e vizinho à 90°	70
7. FATOR DE VIZINHANÇA – GRÁFICOS FV	73
7.1 FATOR DE VIZINHANÇA (FV) DOS COEFICIENTES DE PRESSÕES MÉDIAS POR REGIÕES	73
7.1.1 Fator de vizinhança do Cpe média por região – CAARC à 0° e vizinho à 0°	74
7.1.2 Fator de vizinhança do Cpe média por região – CAARC à 0° e vizinho à 90° ...	76
7.1.3 Fator de vizinhança do Cpe média por região – CAARC à 90° e vizinho à 0° ...	78
7.1.4 Fator de vizinhança do Cpe média por região – CAARC à 90° e vizinho à 90° .	80
7.2 FATOR DE VIZINHANÇA (FV) DOS COEFICIENTES DE PRESSÕES DE PICO POR REGIÕES	82
7.2.1 Fator de vizinhança do Cpe de pico por região – CAARC à 0° e vizinho à 0° ...	82
7.2.2 Fator de vizinhança do Cpe de pico por região – CAARC à 0° e vizinho à 90° .	85
7.2.3 Fator de vizinhança do Cpe de pico por região – CAARC à 90° e vizinho à 0° .	87
7.2.4 Fator de vizinhança do Cpe de pico por região – CAARC à 90° e vizinho à 90°	89
8. CONCLUSÕES	92

REFERÊNCIAS	96
APÊNDICE A (GRÁFICOS COM EDIFÍCIOS INTERFERENTES).....	101
APÊNDICE A.1 – COEFICIENTES DE PRESSÕES MÉDIAS POR TOMADA	102
A.1.1 - Coeficiente de pressão média por tomada – CAARC à 0° e vizinho à 0°	104
A.1.2 - Coeficiente de pressão média por tomada – CAARC à 0° e vizinho à 90°	112
A.1.3 - Coeficiente de pressão média por tomada – CAARC à 90° e vizinho à 0°	120
A.1.4 - Coeficiente de pressão média por tomada – CAARC à 90° e vizinho à 90°	128
APÊNDICE A.2 – COEFICIENTES DE PRESSÕES MÉDIAS POR REGIÕES	136
A.2.1 - Coeficiente de pressão média por regiões – CAARC à 0° e vizinho à 0°	137
A.2.2 - Coeficiente de pressão média por regiões – CAARC à 0° e vizinho à 90°	141
A.2.3 - Coeficiente de pressão média por regiões – CAARC à 90° e vizinho à 0°	145
A.2.4 - Coeficiente de pressão média por regiões – CAARC à 90° e vizinho à 90°	149
APÊNDICE A.3 – FATOR DE VIZINHANÇA DOS COEFICIENTES DE PRESSÕES MÉDIAS POR REGIÕES	153
A.3.1 – Fatores de Vizinhanças dos Cpe médias por regiões – CAARC à 0° e vizinho à 0°	153
A.3.2 - Fatores de Vizinhanças dos Cpe médias por regiões – CAARC à 0° e vizinho à 90°	158
A.3.3 - Fatores de Vizinhanças dos Cpe médias por regiões – CAARC à 90° e vizinho à 0°	163
A.3.4 - Fatores de Vizinhanças dos Cpe médias por regiões – CAARC à 90° e vizinho à 90°	168
APÊNDICE A.4 – FATOR DE VIZINHANÇA DOS COEFICIENTES DE PRESSÕES DE PICO POR REGIÕES	173
A.4.1 – Fatores de Vizinhanças dos Cpe de pico por regiões – CAARC à 0° e vizinho à 0°	173
A.4.2 - Fatores de Vizinhanças dos Cpe de pico por regiões – CAARC à 0° e vizinho à 90°	178
A.4.3 - Fatores de Vizinhanças dos Cpe de pico por regiões – CAARC à 90° e vizinho à 0°	183

A.4.4 - Fatores de Vizinhanças dos Cpe de pico por regiões – CAARC à 90° e vizinho à 90°	188
--	-----

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.3-1 - Mesa giratória com angulação de incidência do vento	5
Figura 2.1-1 – Região de barlavento e sotavento: planta baixa	7
Figura 2.1-2 - Linhas do escoamento do vento em um edifício (Sales et. al. 1994).....	8
Figura 2.1-3 - Linhas do escoamento do vento a partir da região de estagnação do vento adaptado de Holmes (2004)	8
Figura 2.1-4 - Isopletas da velocidade básica do vento V_0 (m/s) (NBR6123:2023).....	9
Figura 2.2-1 - Coeficiente de pressão e de forma, externos, para paredes de edificações de planta retangular a x b, sendo b a menor dimensão – (Tabela 6 NBR6123:2023).....	11
Figura 2.4-1 - Deflexão vertical do vento. – Adaptado de Wise (1971).....	15
Figura 2.4-2 - Esteira de turbulência (adaptado de Wise 1971).....	16
Figura 2.5-1 - Indicação do afastamento entre a edificação estudada e uma edificação vizinha. Vieira (2016)	17
Figura 2.6-1 – Escoamento de corpo isolado - Carpeggiani (2004).....	19
Figura 2.6-2 – Escoamento deslizante – Carpeggiani (2004)	19
Figura 2.6-3 – Escoamento de interferência de esteira – Carpeggiani (2004)	20
Figura 2.6-4 - Modelo principal e disposição das tomadas de pressão. Ming Gu (2011)	20
Figura 2.6-5 - Configuração dos modelos: (a) modelo principal; (b) 5 tipos de modelos interferentes. Kim et al. (2011)	21
Figura 2.6-6 - Sistema de coordenadas indicando diferentes localizações de edifícios interferentes e direções de vento testadas em túnel de vento. Kim et al. (2011)	21
Figura 2.6-7 - Contornos das fachadas do edifício principal em arranjo tandem ($x/b=1,5$). a) coeficiente de pico de pressão b) Fator de Vizinhança (F_v). X. F. Yu et al (2015)	23
Figura 2.6-8 – a) modelo principal isolado; b) Modelo interferente; c) Distribuição dos pontos de tomada de pressão por camada; d) Planta baixa do modelo principal. – S. K. Nagar et. al (2022)	24
Figura 2.6-9 - Condições de interferência. a) Bloqueio total; b) Bloqueio parcial; c) sem bloqueio. S. K. Nagar et al. (2022)	24
Figura 2.6-10 – Posicionamento dos modelos e ângulos de direção do vento. H. Cui et al (2023).	25

Figura 2.6-11 – Mapa de contorno do coeficiente de forma do Plano I do edifício 1 com razão de espaçamento de 2,5. H. Cui et al (2023).....	26
Figura 3-1- Modelo experimental do CAARC. Lavôr (2023).	28
Figura 3-2 – Divisão de cada fachada por zona	29
Figura 3-3 - CAARC em escala real e posições dos indicadores de tomadas de pressão -adaptado de Lavôr (2023).....	29
Figura 4-1 – Túnel de circuito aberto (MARTINI et. al., 2001)	31
Figura 4-2 – Túnel de vento Prof. Joaquim Blessmann (circuito fechado).....	32
Figura 4.1-1 – Equipamentos de leitura de dados. a) Manômetro; b) Transdutor elétrico	34
Figura 4.2-1 – Elementos para produzir rugosidade- a) Túnel de vento Prof. Joaquim Blessmann UFRGS; b) Túnel de vento Prof. Jacek P. Gorecki da UNNE (Bortoli et. al. 2018)	35
Figura 4.2-2 – Simulação do crescimento natural da camada limite atmosférica (Davenport e Isyumov, 1967)	36
Figura 4.2-3 – Características do vento simulado – Lavôr (2023).....	37
Figura 4.2-4 – Dispositivos de simulação do vento natural para diferentes camadas limite.	38
Figura 5-1 - Configurações de posicionamento de vizinhança ao redor do CAARC (adaptado de Lavôr 2023)	40
Figura 5-2 - Sigla de posicionamento do CAARC e do vizinho – C0V0_D2_A2.....	40
Figura 5.1-1 – Coef. de forma e de pressão média: a) Vento à 0°; b) Vento à 90°.	41
Figura 5.1-2 – Zona de alta sucção fachadas laterais F4 e F2 para vento incidindo à 0°.	42
Figura 5.1-3 – Zona de alta sucção fachadas laterais F1 e F3 para vento incidindo à 90°.	43
Figura 5.2-1 - Túnel de vento seção fechada	44
Figura 5.2-2 – Coeficientes de pressões médias por tomada de pressão. C0_ISO	46
Figura 5.3-1 - Agrupamento de tomadas de pressão por região de máximos.	47
Figura 5.3-2 – Área de influência de um ponto de tomada de pressão do CAARC (Lavôr 2023)	48
Figura 5.3-3 - Coeficientes de pressões médias por regiões – C0V0_A1.....	49

Figura 5.4-1 - Fator de vizinhança dos coef. de pressões médias por regiões – C0V0_A1	52
.....	
Figura 5.4-2 - Fator de vizinhança dos coef. de pressões de pico por regiões – C0V0_A1	52
.....	
Figura 6.1-1 - Gráfico dos coeficientes de pressões médias por tomada – C0_ISO....	54
Figura 6.1-2 - Gráfico dos coeficientes de pressões médias por tomada – C90_ISO..	55
Figura 6.1-3 - Coeficientes de pressões médias por tomada – C0V0_A1.....	56
Figura 6.1-4 - Coeficientes de pressões médias por tomada – C0V0_A2.....	57
Figura 6.1-5 - Coeficientes de pressões médias por tomada – C0V90_B1.....	58
Figura 6.1-6 - Coeficientes de pressões médias por tomada – C0V90_C1.....	59
Figura 6.1-7 - Coeficientes de pressões médias por tomada – C90V0_D2_A1.....	60
Figura 6.1-8 - Coeficientes de pressões médias por tomada – C90V0_D2_A2.....	61
Figura 6.1-9 - Coeficientes de pressões médias por tomada – C90V90_D2_B1.....	62
Figura 6.1-10 - Coeficientes de pressões médias por tomada – C90V90_D2_C1.....	63
Figura 6.2-1 - Gráfico dos coeficientes de pressões médias por regiões - C0_ISO.....	65
Figura 6.2-2 - Gráfico dos coeficientes de pressões médias por regiões – C90_ISO..	65
Figura 6.2-3 - Coeficientes de pressões médias por regiões - C0V0_A1	66
Figura 6.2-4 - Coeficientes de pressões médias por regiões - C0V0_A2	67
Figura 6.2-5 - Coeficientes de pressões médias por regiões - C0V90_B1.....	68
Figura 6.2-6 - Coeficientes de pressões médias por regiões - C0V90_C1.....	68
Figura 6.2-7 - Coeficientes de pressões médias por regiões – C90V0_D2_A1.....	69
Figura 6.2-8 - Coeficientes de pressões médias por regiões – C90V0_D2_A2.....	70
Figura 6.2-9 - Coeficientes de pressões médias por regiões – C90V90_D2_B1.....	71
Figura 6.2-10 - Coeficientes de pressões médias por regiões – C90V90_D2_C1.....	72
Figura 7.1-1 - Fator de vizinhança Fv dos coeficientes de pressões médias por regiões – C0V0_A1	74
Figura 7.1-2 - Fator de vizinhança Fv dos coeficientes de pressões médias por regiões – C0V0_A2	75
Figura 7.1-3 - Fator de vizinhança Fv dos coeficientes de pressões médias por regiões – C0V90_B1	76
Figura 7.1-4 - Fator de vizinhança Fv dos coeficientes de pressões médias por regiões – C0V90_C1	77

Figura 7.1-5-Fator de vizinhança Fv dos coeficientes de pressões médias por regiões – C90V0_D2_A1	78
Figura 7.1-6 - Fator de vizinhança Fv dos coeficientes de pressões médias por regiões – C90V0_D2_A2	79
Figura 7.1-7 - Fator de Vizinhança – Coef. de pressões médias por regiões – C90V90_D2_B1.....	80
Figura 7.1-8 - Fator de Vizinhança – Coef. de pressões médias por regiões – C90V90_D2_C1.....	81
Figura 7.2-1 - Fator de vizinhança dos Coef. de pressões de pico por regiões – C0V0_A1	83
Figura 7.2-2 - Fator de vizinhança dos coef. de pressões de pico por regiões – C0V0_A2	84
Figura 7.2-3 - Fator de vizinhança dos coef. de pressões de pico por regiões – C0V90_B1	85
Figura 7.2-4 - Fator de vizinhança dos coef. de pressões de pico por regiões – C0V90_C1	86
Figura 7.2-5 - Fator de vizinhança dos coef. de pressões de pico por regiões – C90V0_D2_A1	87
Figura 7.2-6 - Fator de vizinhança dos coef. de pressões de pico por regiões – C90V0_D2_A2	88
Figura 7.2-7- Fator de vizinhança dos coef. de pressões de pico por regiões – C90V90_D2_B1.....	90
Figura 7.2-8- Fator de vizinhança dos coef. de pressões de pico por regiões – C90V90_D2_C1.....	91
Figura A-1 - Gráfico dos coeficientes de pressões médias por tomada – C0_ISO	102
Figura A-2 - Coeficientes de pressões médias por tomada – C90_ISO	103
Figura A-3 - Coeficientes de pressões médias por tomada – C0V0_A1.....	104
Figura A-4 - Coeficientes de pressões médias por tomada – C0V0_A2.....	105
Figura A-5 - Coeficientes de pressões médias por tomada – C0V0_B1	106
Figura A-6 - Coeficientes de pressões médias por tomada – C0V0_C1	107
Figura A-7 - Coeficientes de pressões médias por tomada – C0V0_D2_A1	108
Figura A-8 - Coeficientes de pressões médias por tomada – C0V0_D2_A2.....	109
Figura A-9 - Coeficientes de pressões médias por tomada – C0V0_D2_B1	110

Figura A-10 - Coeficientes de pressões médias por tomada – C0V0_D2_C1	111
Figura A-11 - Coeficientes de pressões médias por tomada – C0V90_A1.....	112
Figura A-12 - Coeficientes de pressões médias por tomada – C0V90_A2.....	113
Figura A-13 - Coeficientes de pressões médias por tomada – C0V90_B1	114
Figura A-14 - Coeficientes de pressões médias por tomada – C0V90_C1	115
Figura A-15 - Coeficientes de pressões médias por tomada – C0V90_D2_A1	116
Figura A-16 - Coeficientes de pressões médias por tomada – C0V90_D2_A2.....	117
Figura A-17 - Coeficientes de pressões médias por tomada – C0V90_D2_B1	118
Figura A-18 - Coeficientes de pressões médias por tomada – C0V90_D2_C1	119
Figura A-19 - Coeficientes de pressões médias por tomada – C90V0_A1.....	120
Figura A-20 - Coeficientes de pressões médias por tomada – C90V0_A2.....	121
Figura A-21 - Coeficientes de pressões médias por tomada – C90V0_B1	122
Figura A-22 - Coeficientes de pressões médias por tomada – C90V0_C1	123
Figura A-23 - Coeficientes de pressões médias por tomada – C90V0_D2_A1	124
Figura A-24 - Coeficientes de pressões médias por tomada – C90V0_D2_A2.....	125
Figura A-25 - Coeficientes de pressões médias por tomada – C90V0_D2_B1	126
Figura A-26 - Coeficientes de pressões médias por tomada – C90V0_D2_C1	127
Figura A-27 - Coeficientes de pressões médias por tomada – C90V90_A1.....	128
Figura A-28 - Coeficientes de pressões médias por tomada – C90V90_A2.....	129
Figura A-29 - Coeficientes de pressões médias por tomada – C90V90_B1	130
Figura A-30 - Coeficientes de pressões médias por tomada – C90V90_C1	131
Figura A-31 - Coeficientes de pressões médias por tomada – C90V90_D2_A1	132
Figura A-32 - Coeficientes de pressões médias por tomada – C90V90_D2_A2.....	133
Figura A-33 - Coeficientes de pressões médias por tomada – C90V90_D2_B1	134
Figura A-34 - Coeficientes de pressões médias por tomada – C90V90_D2_C1	135
Figura A-35 - Gráfico dos coeficientes de pressões médias por regiões - C0_ISO ...	136
Figura A-36 - Coeficientes de pressões médias por regiões – C90_ISO	136
Figura A-37 - Coeficientes de pressões médias por regiões - C0V0_A1.....	137
Figura A-38 - Coeficientes de pressões médias por regiões - C0V0_A2.....	137
Figura A-39 - Coeficientes de pressões médias por regiões - C0V0_B1	138
Figura A-40 - Coeficientes de pressões médias por regiões - C0V0_C1	138
Figura A-41 - Coeficientes de pressões médias por regiões - C0V0_D2_A1	139
Figura A-42 - Coeficientes de pressões médias por regiões - C0V0_D2_A2.....	139

Figura A-43 - Coeficientes de pressões médias por regiões - C0V0_D2_B1	140
Figura A-44 - Coeficientes de pressões médias por regiões - C0V0_D2_C1	140
Figura A-45 - Coeficientes de pressões médias por regiões - C0V90_A1	141
Figura A-46 - Coeficientes de pressões médias por regiões - C0V90_A2	141
Figura A-47 - Coeficientes de pressões médias por regiões - C0V90_B1	142
Figura A-48 - Coeficientes de pressões médias por regiões - C0V90_C1	142
Figura A-49 - Coeficientes de pressões médias por regiões - C0V90_D2_A1	143
Figura A-50 - Coeficientes de pressões médias por regiões - C0V90_D2_A2	143
Figura A-51 - Coeficientes de pressões médias por regiões - C0V90_D2_B1	144
Figura A-52 - Coeficientes de pressões médias por regiões - C0V90_D2_C1	144
Figura A-53 - Coeficientes de pressões médias por regiões – C90V0_A1	145
Figura A-54 - Coeficientes de pressões médias por regiões – C90V0_A2	145
Figura A-55 - Coeficientes de pressões médias por regiões – C90V0_B1	146
Figura A-56 - Coeficientes de pressões médias por regiões – C90V0_C1	146
Figura A-57 - Coeficientes de pressões médias por regiões – C90V0_D2_A1	147
Figura A-58 - Coeficientes de pressões médias por regiões – C90V0_D2_A2	147
Figura A-59 - Coeficientes de pressões médias por regiões – C90V0_D2_B1	148
Figura A-60 - Coeficientes de pressões médias por regiões – C90V0_D2_C1	148
Figura A-61 - Coeficientes de pressões médias por regiões – C90V90_A1	149
Figura A-62 - Coeficientes de pressões médias por regiões – C90V90_A2	149
Figura A-63 - Coeficientes de pressões médias por regiões – C90V90_B1	150
Figura A-64 - Coeficientes de pressões médias por regiões – C90V90_C1	150
Figura A-65 - Coeficientes de pressões médias por regiões – C90V90_D2_A1	151
Figura A-66 - Coeficientes de pressões médias por regiões – C90V90_D2_A2	151
Figura A-67 - Coeficientes de pressões médias por regiões – C90V90_D2_B1	152
Figura A-68 - Coeficientes de pressões médias por regiões – C90V90_D2_C1	152
Figura A-69 - Fator de vizinhança Fv dos coeficientes de pressões médias por regiões – C0V0_A1	153
Figura A-70 - Fator de vizinhança Fv dos coeficientes de pressões médias por regiões – C0V0_A2	154
Figura A-71 - Fator de vizinhança Fv dos coeficientes de pressões médias por regiões – C0V0_B1	154

Figura A-72 - Fator de vizinhança Fv dos coeficientes de pressões médias por regiões – C0V0_C1	155
Figura A-73 - Fator de vizinhança Fv dos coeficientes de pressões médias por regiões – C0V0_D2_A1	155
Figura A-74 - Fator de vizinhança Fv dos coeficientes de pressões médias por regiões – C0V0_D2_A2	156
Figura A-75 - Fator de vizinhança Fv dos coeficientes de pressões médias por regiões – C0V0_D2_B1.....	156
Figura A-76 - Fator de vizinhança Fv dos coeficientes de pressões médias por regiões – C0V0_D2_C1.....	157
Figura A-77 - Fator de vizinhança Fv dos coeficientes de pressões médias por regiões – C0V90_A1	158
Figura A-78 - Fator de vizinhança Fv dos coeficientes de pressões médias por regiões – C0V90_A2	159
Figura A-79 - Fator de vizinhança Fv dos coeficientes de pressões médias por regiões – C0V90_B1	159
Figura A-80 - Fator de vizinhança Fv dos coeficientes de pressões médias por regiões – C0V90_C1	160
Figura A-81 - Fator de vizinhança Fv dos coeficientes de pressões médias por regiões – C0V90_D2_A1	160
Figura A-82 - Fator de vizinhança Fv dos coeficientes de pressões médias por regiões – C0V90_D2_A2	161
Figura A-83 - Fator de vizinhança Fv dos coeficientes de pressões médias por regiões – C0V90_D2_B1.....	161
Figura A-84 - Fator de vizinhança Fv dos coeficientes de pressões médias por regiões – C0V90_D2_C1.....	162
Figura A-85 - Fator de vizinhança Fv dos coeficientes de pressões médias por regiões – C90V0_A1	163
Figura A-86 - Fator de vizinhança Fv dos coeficientes de pressões médias por regiões – C90V0_A2	164
Figura A-87 - Fator de vizinhança Fv dos coeficientes de pressões médias por regiões – C90V0_B1	164

Figura A-88 - Fator de vizinhança Fv dos coeficientes de pressões médias por regiões – C90V0_C1	165
Figura A-89 - Fator de vizinhança Fv dos coeficientes de pressões médias por regiões – C90V0_D2_A1	165
Figura A-90 - Fator de vizinhança Fv dos coeficientes de pressões médias por regiões – C90V0_D2_A2	166
Figura A-91 - Fator de vizinhança Fv dos coeficientes de pressões médias por regiões – C90V0_D2_B1.....	166
Figura A-92 - Fator de vizinhança Fv dos coeficientes de pressões médias por regiões – C90V0_D2_C1.....	167
Figura A-93 - Fator de vizinhança Fv dos coeficientes de pressões médias por regiões – C90V90_A1	168
Figura A-94 - Fator de vizinhança Fv dos coeficientes de pressões médias por regiões – C90V90_A2	169
Figura A-95 - Fator de vizinhança Fv dos coeficientes de pressões médias por regiões – C90V90_B1	169
Figura A-96 - Fator de vizinhança Fv dos coeficientes de pressões médias por regiões – C90V90_C1	170
Figura A-97 - Fator de vizinhança Fv dos coeficientes de pressões médias por regiões – C90V90_D2_A1	170
Figura A-98 - Fator de vizinhança Fv dos coeficientes de pressões médias por regiões – C90V90_D2_A2	171
Figura A-99 - Fator de Vizinhança – Coef. de pressões médias por regiões – C90V90_D2_B1.....	171
Figura A-100 - Fator de Vizinhança – Coef. de pressões médias por regiões – C90V90_D2_C1.....	172
Figura A-101 - Fator de vizinhança dos Coef. de pressões de pico por regiões – C0V0_A1	173
Figura A-102 - Fator de vizinhança dos coef. de pressões de pico por regiões – C0V0_A2	174
Figura A-103 - Fator de vizinhança dos coef. de pressões de pico por regiões – C0V0_B1	174

Figura A-104 - Fator de vizinhança dos coef. de pressões de pico por regiões – C0V0_C1	175
.....	175
Figura A-105 - Fator de vizinhança dos coef. de pressões de pico por regiões – C0V0_D2_A1	175
Figura A-106 - Fator de vizinhança dos coef. de pressões de pico por regiões – C0V0_D2_A2	176
Figura A-107 - Fator de vizinhança dos coef. de pressões de pico por regiões – C0V0_D2_B1	176
Figura A-108 - Fator de vizinhança dos coef. de pressões de pico por regiões – C0V0_D2_C1	177
Figura A-109 - Fator de vizinhança dos coef. de pressões de pico por regiões – C0V90_A1	178
Figura A-110 - Fator de vizinhança dos coef. de pressões de pico por regiões – C0V90_A2	179
Figura A-111 - Fator de vizinhança dos coef. de pressões de pico por regiões – C0V90_B1	179
Figura A-112 - Fator de vizinhança dos coef. de pressões de pico por regiões – C0V90_C1	180
Figura A-113 - Fator de vizinhança dos coef. de pressões de pico por regiões – C0V90_D2_A1	180
Figura A-114 - Fator de vizinhança dos coef. de pressões de pico por regiões – C0V90_D2_A2	181
Figura A-115 - Fator de vizinhança dos coef. de pressões de pico por regiões – C0V90_D2_B1	181
Figura A-116 - Fator de vizinhança dos coef. de pressões de pico por regiões – C0V90_D2_C1	182
Figura A-117 - Fator de vizinhança dos coef. de pressões de pico por regiões – C90V0_A1	183
Figura A-118 - Fator de vizinhança dos coef. de pressões de pico por regiões – C90V0_A2	184
Figura A-119 - Fator de vizinhança dos coef. de pressões de pico por regiões – C90V0_B1	184

Figura A-120 - Fator de vizinhança dos coef. de pressões de pico por regiões – C90V0_C1	185
Figura A-121 - Fator de vizinhança dos coef. de pressões de pico por regiões – C90V0_D2_A1	185
Figura A-122 - Fator de vizinhança dos coef. de pressões de pico por regiões – C90V0_D2_A2	186
Figura A-123 - Fator de vizinhança dos coef. de pressões de pico por regiões – C90V0_D2_B1.....	186
Figura A-124 - Fator de vizinhança dos coef. de pressões de pico por regiões – C90V0_D2_C1.....	187
Figura A-125 - Fator de vizinhança dos coef. de pressões de pico por regiões – C90V90_A1	188
Figura A-126 - Fator de vizinhança dos coef. de pressões de pico por regiões – C90V90_A2	189
Figura A-127 - Fator de vizinhança dos coef. de pressões de pico por regiões – C90V90_B1	189
Figura A-128 - Fator de vizinhança dos coef. de pressões de pico por regiões – C90V90_C1	190
Figura A-129 - Fator de vizinhança dos coef. de pressões de pico por regiões – C90V90_D2_A1	190
Figura A-130 - Fator de vizinhança dos coef. de pressões de pico por regiões – C90V90_D2_A2	191
Figura A-131 - Fator de vizinhança dos coef. de pressões de pico por regiões – C90V90_D2_B1.....	191
Figura A-132 - Fator de vizinhança dos coef. de pressões de pico por regiões – C90V90_D2_C1.....	192

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Posicionamento do CAARC e da vizinhança ensaiada	41
Tabela 2 – Percentual de variação dos Fatores de Vizinhança dos <i>Cpmpr</i> – C0V0_A1	75
Tabela 3 - Percentual de variação dos Fatores de Vizinhança dos <i>Cpmpr</i> – C0V90_B1	77
Tabela 4 - Percentual de variação dos Fatores de Vizinhança dos <i>Cpmpr</i> – C90V0_D2_A1	78
Tabela 5 - Percentual de variação dos Fatores de Vizinhança dos <i>Cpmpr</i> – C90V0_D2_A2	79
Tabela 6 - Percentual de variação dos Fatores de Vizinhança dos <i>Cpmpr</i> – C90V90_D2_B1.....	80
Tabela 7 - Percentual de variação dos Fatores de Vizinhança dos <i>Cpmpr</i> - C90V90_D2_C1.....	81
Tabela 8 - Percentual de variação dos Fatores de Vizinhança dos <i>Cpico, pr</i> – C0V0_A1	84
Tabela 9 - Percentual de variação dos Fatores de Vizinhança dos <i>Cpico, pr</i> – C0V0_A2	85
Tabela 10 - Percentual de variação dos Fatores de Vizinhança dos <i>Cpico, pr</i> – C0V90_B1	86
Tabela 11 - Percentual de variação dos Fatores de Vizinhança dos <i>Cpico, pr</i> – C90V0D2_A1	88
Tabela 12 Percentual de variação dos Fatores de Vizinhança dos <i>Cpico, pr</i> – C90V0_D2_A2	89
Tabela 13 -Percentual de variação dos Fatores de Vizinhança do <i>Cpico, pr</i> – C90V90_D2_B1.....	90
Tabela 14-Percentual de variação dos Fatores de Vizinhança do <i>Cpico, pr</i> – C90V90_D2_C1.....	91

LISTA DE SÍMBOLOS E ABREVIACÕES

Abreviações

CAARC *Commonwealth Advisory Aeronautical Research Council*

HFPI *High Frequency Pressure Integration*

LAC Laboratório de Aerodinâmica das Construções

UFRGS Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Letras Maiúsculas do Alfabeto Latino

A, t - Área de Influência por tomada

C0_ISO - Caarc isolado com vento incidente em 0°

C0V0_A1 - Caarc à 0° e posição de vizinho A1 à 0°.

C0V0_A2 - Caarc à 0° e posição de vizinho A2 à 0°.

C0V0_B1 - Caarc à 0° e posição de vizinho B1 à 0°.

C0V0_C1 - Caarc à 0° e posição de vizinho C1 à 0°.

C0V0_D2_A1 - Caarc à 0° e posição de vizinho D2 e A1 à 0°.

C0V0_D2_A2 - Caarc à 0° e posição de vizinho D2 e A2 à 0°.

C0V0_D2_B1 - Caarc à 0° e posição de vizinho D2 e B1 à 0°.

C0V0_D2_C1 - Caarc à 0° e posição de vizinho D2 e C1 à 0°.

C0V90_A1 - Caarc à 0° e posição de vizinho A1 à 90°.

C0V90_A2 - Caarc à 0° e posição de vizinho A2 à 90°.

C0V90_B1 - Caarc à 0° e posição de vizinho B1 à 90°.

C0V90_C1 - Caarc à 0° e posição de vizinho C1 à 90°.

C0V90_D2_A1 - Caarc à 0° e posição de vizinho D2 e A1 à 90°.

C0V90_D2_A2 - Caarc à 0° e posição de vizinho D2 e A2 à 90°.

C0V90_D2_B1 - Caarc à 0° e posição de vizinho D2 e B1 à 90°.

C0V90_D2_C1 - Caarc à 0° e posição de vizinho D2 e C1 à 90°.

C90_ISO - Caarc isolado com vento incidente em 90°

C90V0_A1 - Caarc à 90° e posição de vizinho A1 à 0°.

C90V0_A2 - Caarc à 90° e posição de vizinho A2 à 0°.

C90V0_B1 - Caarc à 90° e posição de vizinho B1 à 0°.

C90V0_C1 - Caarc à 90° e posição de vizinho C1 à 0°.

C90V0_D2_A1 - Caarc à 90° e posição de vizinho D2 e A1 à 0°.

C90V0_D2_A2 - Caarc à 90° e posição de vizinho D2 e A2 à 0°.

C90V0_D2_B1 - Caarc à 90° e posição de vizinho D2 e B1 à 0°.

C90V0_D2_C1 - Caarc à 90° e posição de vizinho D2 e C1 à 0°.

C90V90_A1 - Caarc à 90° e posição de vizinho A1 à 90°.

C90V90_A2 - Caarc à 90° e posição de vizinho A2 à 90°.

C90V90_B1 - Caarc à 90° e posição de vizinho B1 à 90°.

C90V90_C1 - Caarc à 90° e posição de vizinho C1 à 90°.

C90V90_D2_A1 - Caarc à 90° e posição de vizinho D2 e A1 à 90°.

C90V90_D2_A2 - Caarc à 90° e posição de vizinho D2 e A2 à 90°.

C90V90_D2_B1 - Caarc à 90° e posição de vizinho D2 e B1 à 90°.

C90V90_D2_C1 - Caarc à 90° e posição de vizinho D2 e C1 à 90°.

C_e - Coeficiente de forma

C^{\wedge} - Coeficiente de pressão de pico pelo método Cook and Mayne (1980)

C_a, c_v - Coeficiente aerodinâmico de um edifício com a presença de vizinhança

$C_{a, iso}$ - Coeficiente aerodinâmico de um edifício isolado
 C_{p1} - Coeficiente de pressão em escala reduzida
 C_{p2} - Coeficiente de pressão em escala real
 C_{pe} - Coeficiente de pressão externa
 C_{pi} - Coeficiente de pressão interna
 $C_{pe, med}$ - Coeficiente de pressão média
 $(C_{pe, t})_{med}$ - Coeficiente de pressão média por tomada
 C_{pico} - Coeficiente de pressão de pico por tomada
 $C_{pico, pr, r}$ - Coeficiente de pressão de pico por região
 $C_{pmpr, r}$ - Coeficiente de pressão média por região ponderado
 $F1$ - Fachada 1
 $F2$ - Fachada 2
 $F3$ - Fachada 3
 $F4$ - Fachada 4
 F_v - Fator de Vizinhança
 $F_v, C_{pmpr, r}$ - Fator de Vizinhança dos coeficientes de pressões médias por região
 $F_v, C_{pico, pr, r}$ - Fator de Vizinhança dos coeficientes de pressões médias por região
 F_v, min - Fator de Vizinhança mínimo determinado pela NBR6123:2023
 F_v, max - Fator de Vizinhança máximo determinado pela NBR6123:2023
 H - Altura da edificação mais alta
 I_m - Momento de inércia de massa em relação ao eixo em questão
 I_{mx} - Momento de inércia em torno do eixo x
 I_{my} - Momento de inércia em torno do eixo y
 K_0 - Fator de calibração do túnel de vento Joaquim Blessmann
 L - Distância entre edificações
 $S1$ - Fator topográfico
 $S2$ - Fator de rugosidade
 $S3$ - Fator estatístico
 T - Período utilizado para cálculo da velocidade média de vento
 U_{cp} - Moda determinada pela distribuição de Gumbel
 V - Velocidade média do vento
 V_k - Velocidade característica do vento
 $V(z)$ - Velocidade média na altura z
 V_0 - Velocidade básica do vento
 V_{ref} - Velocidade média de referência na altura z_{ref}

Letras Minúsculas do Alfabeto Latino

$1/acp$ - Coeficiente de dispersão determinada pela distribuição de Gumbel
 f_n - Frequência natural para um sistema de baixo amortecimento
 g - Fator de pico
 p - Expoente da lei potencial do perfil de velocidades médias do vento
 $p(t)$ - Pressão local no instante t
 $p_i(t)$ - Pressão determinada na i -ésima tomada no instante t
 p_1 - Pressão medida antes do cone de convergência do túnel de vento
 p_2 - Pressão medida na entrada da seção de testes do túnel de vento
 q - Pressão dinâmica
 q_{med} - Pressão dinâmica média

q, i - Pressão dinâmica instantânea para cada leitura
 s - Distância entre as faces das edificações
 t - Instante de tempo
 x - Direção perpendicular à maior fachada
 x - *Direção no plano horizontal*
 y - Direção perpendicular à menor fachada
 y - *Direção no plano horizontal*
 z - Eixo vertical central da edificação
 z - Altura vertical medida a partir do piso do túnel de vento
 z_{ref} - Altura de referência, 450 mm a partir do piso do túnel de vento

Letras Maiúsculas do Alfabeto Grego

Δp - Pressão efetiva
 Δp_1 - Pressão de referência em escala reduzida
 Δp_2 - Pressão de referência em escala real
 Δp_a - Pressão de referência
 Δp_e - Pressão efetiva externa
 $\Delta p_{e, i}$ - Pressão efetiva instantânea
 Δp_i - Pressão efetiva interna
 $(\Delta p_e, t)_{med}$ - Pressão média por tomada

Letras Minúsculas do Alfabeto Grego

σ - Desvio padrão por tomada
 $\sigma_{mpr, r}$ - Desvio padrão médio por região ponderado
 γ - Constante de Euler

1. INTRODUÇÃO

A altura da maioria dos edifícios construídos até o final do século XIX não ultrapassavam os 15m, e, portanto, não sofriam efeitos significativos do vento em sua estrutura. A partir do início do século XX com o avanço tecnológico foram desenvolvidos novos materiais com capacidade de suportar maiores cargas, propiciando a construção de edifícios mais altos.

Alinhado com o desenvolvimento industrial e tecnológico, a ocupação de grandes centros urbanos aumentava gradativamente ao longo dos anos e com isso aumentava também a quantidade de edifícios altos comerciais e residências em cidades mais desenvolvidas. Segundo relatório da Organização das Nações Unidas (ONU) em 2008 a população urbana da América Latina em 1950 era de 40% e na década de 2010 já atingia 80%.

Com este avanço da urbanização, da tecnologia e a otimização da área horizontal, passou a ser mais habitual a construção de edifícios altos em centros urbanos cujos métodos construtivos consistiam em atingir a maior altura possível com o menor custo e tempo, o que resultou em estruturas mais altas e esbeltas, ficando mais suscetíveis aos impactos dos esforços horizontais devidos ao vento apresentando para a engenharia moderna mais um desafio, ou seja, a necessidade de se avaliar os esforços horizontais provenientes do escoamento do vento para assegurar a estabilidade global, segurança e conforto dos ocupantes dos edifícios altos.

Após o início dos estudos dos esforços do vento foi observado que obstáculos, estruturas ou edificações vizinhas ao redor de um modelo de edifício de estudo poderiam alterar o escoamento do vento acarretando reduções ou ampliações das distribuições de pressões nas fachadas. Esta característica despertou o interesse de vários pesquisadores por volta da década de 1930, que passaram a estudar o fenômeno da interferência de vizinhança que é descrito como a mudança aerodinâmica devido a presença de algum obstáculo nas proximidades que influencie de forma favorável ou desfavorável as pressões geradas nas fachadas de um edifício.

Pesquisadores desenvolveram técnicas teóricas e experimentais para analisarem os fenômenos aerodinâmicos das ações do vento em estruturas altas. Um destes fenômenos está relacionado aos efeitos de interferência de vizinhança nas distribuições das pressões atuantes nas fachadas de um edifício alto.

A ação do vento é um esforço variável que depende de diversos parâmetros, portanto, durante a vida útil de um edifício, este estará sujeito a grandes variações de pressões ao longo do tempo, havendo então a necessidade de se prever os esforços solicitantes máximos que

poderão atuar na estrutura utilizando métodos estatísticos e probabilísticos. Desta forma, os fenômenos dos efeitos de interferência de vizinhança também provocam alterações nas solicitações de pico ao longo do tempo, apresentando grande relevância no trabalho.

A complexidade na determinação, compreensão e validação dos efeitos de interferência de vizinhança mostram a necessidade de estudos experimentais para buscar obter resultados mais próximos da realidade, pois não há uma formulação genérica que represente todas as situações possíveis de vizinhança para obter os coeficientes aerodinâmicos adequados. Ensaios em túnel de vento em escala reduzida são atualmente a melhor ferramenta para analisar o comportamento estrutural de um edifício alto sob ação do vento, apresentando nos ensaios a flexibilidade de analisar o edifício com diferentes vizinhanças e ângulos de incidência do vento, proporcionando uma representação mais adequada dos esforços atuantes na estrutura, viabilizando projetos com segurança e conforto aos ocupantes.

1.1 MOTIVAÇÃO

A maior parte dos estudos realizados sobre a interferência de vizinhança nas distribuições de pressões, analisam as cargas do vento nas fachadas a fim de obter os efeitos de vizinhança global das respostas estáticas e dinâmicas de uma estrutura alta. Há, entretanto, a necessidade de abordar as distribuições de pressões das fachadas de forma local ou por região, com intuito de se observar quais efeitos de interferências são provocados pelas configurações de vizinhança ao redor de um edifício alto, de modo a determinar quais regiões sofrem maiores impactos devido à modificação de vizinhança, seja com redução ou amplificação dos esforços solicitantes.

A ação do vento em edifícios altos apresenta até hoje grande complexidade na determinação dos esforços solicitantes nas fachadas por apresentar interferências significativas da vizinhança ao seu redor, como mostrado em estudos como os de Oliveira (2009), Bênia (2013), Fontoura (2014), Vieira (2016) e Lavôr (2023).

Diante desta complexidade dos parâmetros necessários para determinar os esforços horizontais devido ao vento nas fachadas de um edifício, houve um aumento dos estudos experimentais para validação de resultados obtidos numericamente e, portanto, o presente trabalho, busca a partir do processamento numérico dos dados obtidos experimentalmente contribuir com o entendimento desse fenômeno complexo.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 OBJETIVOS GERAIS

Será realizado uma análise numérica dos resultados obtidos em ensaios experimentais, por meio de uma rotina de cálculo de modo a obter uma representação gráfica dos coeficientes de pressão e dos fatores de vizinhança que atuam em cada ponto ou região de aferição de pressão da estrutura. O estudo abordará como as cargas do vento podem sofrer alterações quando há modificação da vizinhança ao redor de um edifício alto.

Será proposto uma nova subdivisão das fachadas em 12 regiões por fachada, visando obter uma representação mais adequada com agrupamento de 4, 6 ou 9 pontos com características semelhantes no escoamento do vento. A partir desta nova proposta serão calculados os coeficientes aerodinâmicos médios por região para uma comparação normativa.

Será implementado o método de Davenport (1967) para determinar os coeficientes aerodinâmicos máximos que poderá atuar durante a vida útil de 50 anos de um edifício. Para o desenvolvimento deste método será utilizado como base os coeficientes de pressões médios por regiões, obtendo, portanto, 12 coeficientes aerodinâmicos máximos por fachada.

Para compreender o impacto da interferência causada pela vizinhança ao redor de um edifício será utilizado o índice do Fator de Vizinhança (F_v), calculado para o coeficiente aerodinâmico médio e de pico para cada região delimitado pela proposta do presente estudo.

1.2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Tem-se como objetivos específicos

- Desenvolvimento da rotina de cálculo para processamento numérico dos dados obtidos em ensaio experimental realizado em túnel de vento;
- Determinação dos coeficientes aerodinâmicos médios para cada ponto de aferição de pressão instalado no modelo reduzido padrão;
- Divisão em 12 regiões por fachada, com agrupamento de 4, 6 ou 9 pontos de tomada de pressão por região;
- Determinação dos coeficientes aerodinâmicos médios para cada região de agrupamento de tomadas de pressão;

- Implementação do método estatístico de Davenport (1967) para determinação dos coeficientes de pressão de pico por região
- Determinação dos Fatores de Vizinhança (F_v) dos coeficientes de pressões médias e de pico por região, para compreender e analisar os efeitos de vizinhança;
- Representação gráfica dos coeficientes de pressões médias por tomada;
- Representação gráfica dos coeficientes de pressões médias por regiões;
- Representação gráfica dos Fatores de vizinhança dos coeficientes de pressões médias por regiões;
- Representação gráfica dos Fatores de Vizinhança dos Coeficientes de pressões de pico por regiões;

1.3 METODOLOGIA

Para se obter dados suficientes e confiáveis para o estudo dos efeitos da interferência de vizinhança nos esforços devido ao vento, foi necessário recorrer aos métodos experimentais que são realizados em túneis de vento com modelos reduzidos da estrutura real para se observar o comportamento do edifício.

Os dados que serão utilizados para o desenvolvimento do estudo foram obtidos a partir do ensaio realizado por Lavôr (2023), o qual foi executado no túnel de vento Professor Joaquim Blessmann, localizado no laboratório de aerodinâmica da construção (LAC), da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS).

Para simular um prédio alto foi utilizado um modelo reduzido padrão com dimensões de $112,5mm$ de profundidade, $75mm$ de largura e $450mm$ de altura. Este modelo possui um total de 280 tomadas de pressão instalados nas quatro fachadas, responsáveis por medir a pressão instantaneamente em todos os pontos durante a realização do ensaio em túnel de vento, o qual simula o escoamento do vento natural em um circuito fechado, através de diversos dispositivos responsáveis pela representação da camada limite atmosférica.

O túnel de vento possui quatro mesas de ensaios, denominadas também mesas giratórias, sendo seu uso dependente do tipo de estudo que se deseja realizar. Para o estudo em edifícios é utilizado a mesa giratória II, em que se posiciona o modelo de estudo para incidência do vento de acordo com uma angulação de 0° a 360° , conforme apresentado na fig. 1.3-1. Os ensaios

foram realizados com modelo padrão isolado, com um ou dois vizinhos posicionados de forma alinhada, desalinhada ou oblíqua em relação ao modelo padrão. Neste estudo foi utilizado a incidência do vento à 0° (na maior fachada F1) e com vento à 90° (na menor fachada F2).

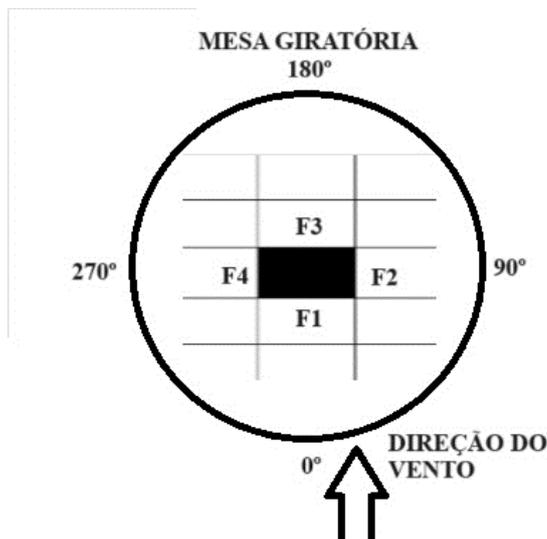


Figura 1.3-1 - Mesa giratória com angulação de incidência do vento

O desenvolvimento do ensaio experimental foi realizado com intuito de reproduzir posicionamentos de edifícios vizinhos para se analisar as possíveis interferências nas distribuições de pressões nas fachadas devido as cargas do vento. Do ensaio realizado por Lavôr (2023) foram selecionados para este estudo 34 configurações de posicionamento da vizinhança interferente, sendo 2 posições do modelo reduzido isolado (sem vizinho), 16 posições com um vizinho e 16 posições com dois vizinhos. Desta forma obteve-se uma quantidade de dados razoáveis para uma análise dos efeitos de vizinhança atuantes na estrutura, realizando também comparações com a NBR6123:2023.

Após a coleta dos dados do ensaio experimental, foi elaborado uma rotina de cálculo em um programa numérico para aplicar as equações necessárias para obter os coeficientes de pressões atuantes. Para cada configuração de posicionamento de vizinhança foram obtidos os coeficientes de pressão média (coeficientes adimensionais), para cada ponto de tomada de pressão instalado no modelo padrão. Os coeficientes de pressões médias obtidos foram organizados de forma matricial para a devida compreensão e aplicação teóricas das equações.

Foi utilizado neste estudo uma nova divisão em 12 regiões por fachada do edifício padrão utilizado no ensaio, em que cada região da fachada foi composta por 4, 6 ou 9 pontos de tomadas de pressão. A partir desta nova proposta foi inserido na rotina de cálculo a

determinação dos coeficientes de pressão média por região, os quais também foram organizados em formato matricial.

Para representar as solicitações máximas durante a vida útil da estrutura foi implementado o método estatístico de Davenport (1967), o qual determina um coeficiente de pressão de pico para um período de recorrência de 50 anos. Devido ao fato de os picos de pressão não acontecerem simultaneamente em diversos pontos isolado foi aplicado este método para cada uma das 12 regiões da fachada, obtendo, portanto, um coeficiente de pressão de pico por região.

Os estudos referentes aos efeitos de interferência de vizinhança utilizam o índice do Fator de Vizinhança (*Fv*) ou Fator de Interferência (*IF*) para avaliar e quantificar como a vizinhança impactou no comportamento de uma região quando comparado com a situação do edifício isolado. Portanto, foi implementado à rotina de cálculo os Fatores de Vizinhança *Fv* para os coeficientes de pressões médias e de pico por regiões, propiciando comparações e validações deste estudo com demais estudos relacionados a mesma área. Os resultados para cada configuração de posicionamento de vizinhança foram organizados no formato matricial.

Para facilitar a interpretação, comparação e a validação dos resultados obtidos, as matrizes geradas foram representadas graficamente por barras verticais para cada ensaio realizado, sendo possível então análises mais refinadas dos efeitos de vizinhanças para cada configuração de posicionamento de vizinhos. Foram representadas graficamente dois coeficientes aerodinâmicos, de pressão média por tomada e da pressão média por região, além da representação gráfica dos Fatores de Vizinhança dos coeficientes de pressões médias e de pico por regiões.

Foram apresentadas e discutidas no corpo do texto as situações a princípio mais relevantes ao estudo, explanando de forma clara e concisa as principais características dos efeitos de interferência de vizinhança nas distribuições de pressões médias e de pico por fachadas, elaborando posteriormente as principais conclusões da pesquisa. Os gráficos complementares do estudo que não foram apresentados constam no apêndice da dissertação.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 VELOCIDADE CARACTERÍSTICA DO VENTO

A NBR6123:2023 classifica o escoamento do vento que incide em uma fachada de edifício de dois modos, vento de baixa turbulência, quando incide diretamente na fachada sem interferência significativa do terreno ou vizinhança, e o vento de alta turbulência que sofre uma interferência significativa da rugosidade do terreno ou da vizinhança, o que dificulta a determinação do comportamento do escoamento do vento e dos esforços atuantes nas fachadas.

Os esforços solicitantes nas fachadas de um edifício são classificados como sobrepressões ou sucções, representadas numericamente com sinal positivo ou negativo respectivamente. Um edifício convencional retangular, apresentado na fig. 2.1-1, possui quatro fachadas sendo uma fachada de barlavento, a qual está no sentido de incidência direta do vento, duas fachadas laterais, e uma fachada de sotavento, oposta a região de barlavento.

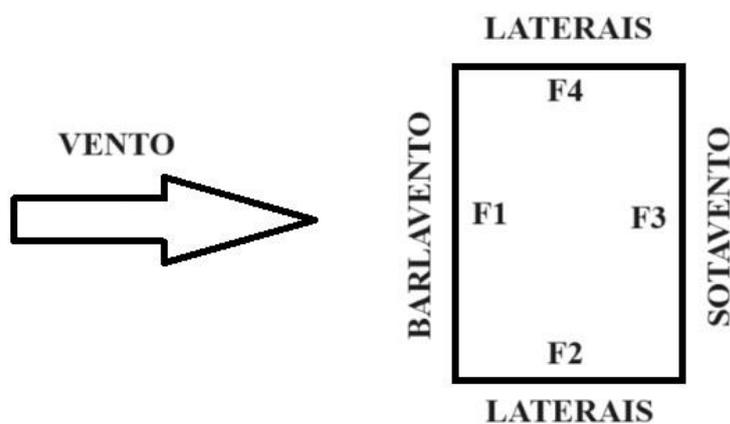


Figura 2.1-1 – Região de barlavento e sotavento: planta baixa

Sales (1994), apresentou em seu estudo as prováveis trajetórias das linhas de escoamento do vento ao redor de um edifício isolado. O vento incide diretamente na fachada de barlavento e a partir da região de estagnação do vento, o escoamento deflete para as laterais, para baixo e para cima, conforme apresentado na fig. 2.1-2.

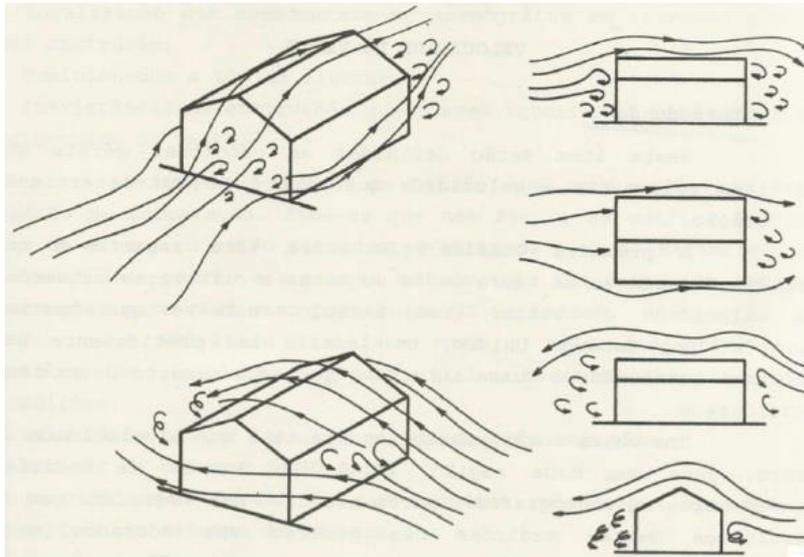


Figura 2.1-2 - Linhas do escoamento do vento em um edifício (Sales et. al. 1994)

Holmes (2004) realizou um estudo relacionado ao escoamento do vento, determinando que a região de estagnação do vento está localizada entre 70% e 80% da altura da edificação, com deflexão do vento para baixo, para cima e para as laterais a partir desta região conforme apresentado na figura 2.1-3

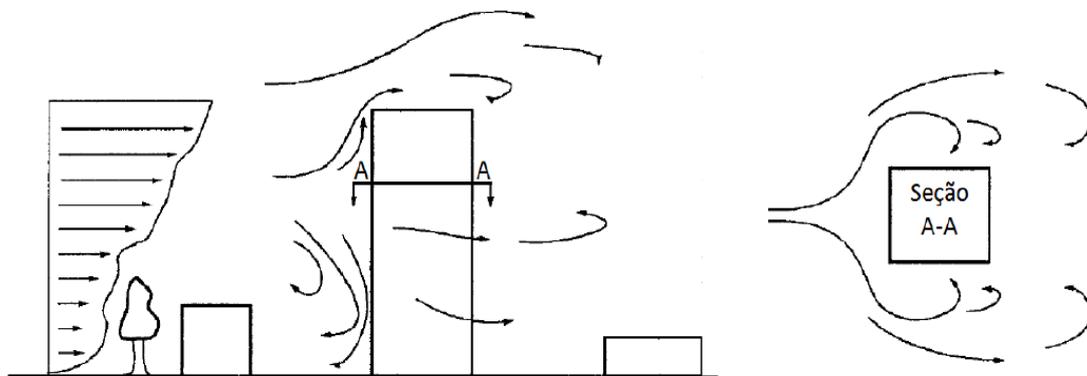


Figura 2.1-3 - Linhas do escoamento do vento a partir da região de estagnação do vento adaptado de Holmes (2004)

O mapa de isopletras, fig. 2.1-4, apresenta a velocidade básica do vento (V_0), para cada região do país, e esta velocidade serve como base das determinações das forças estáticas devido ao vento. A velocidade básica do vento é obtida a partir da máxima velocidade média sobre 3 segundos medida a 10m de altura sobre o nível do terreno em local aberto e plano, podendo ser excedida em média até uma vez durante um período de 50 anos.

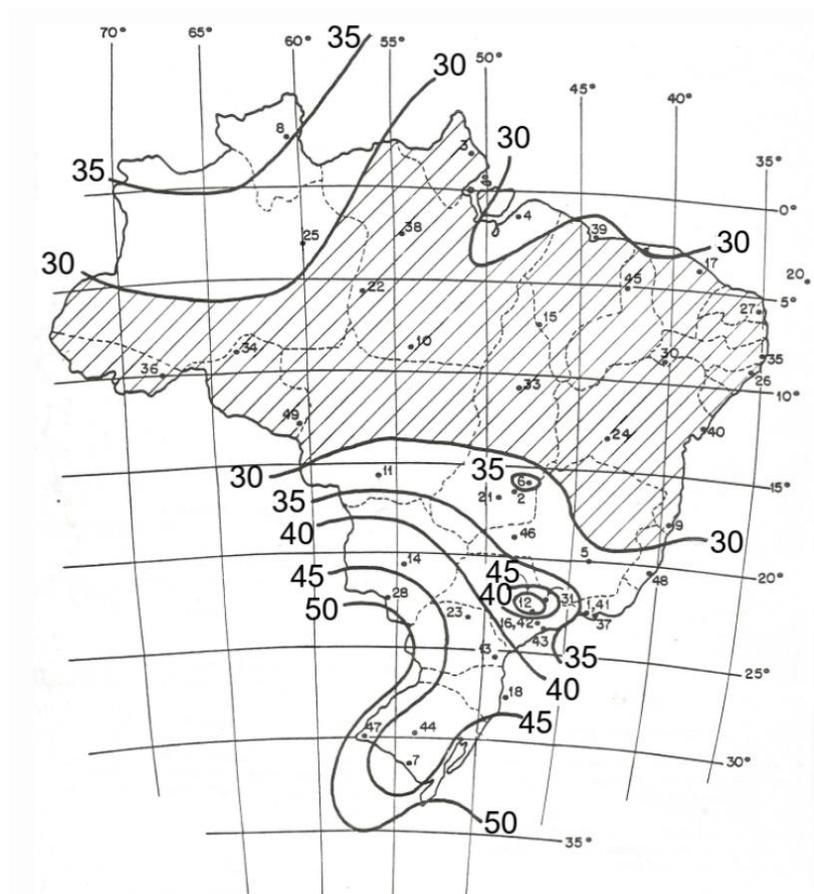


Figura 2.1-4 - Isopletas da velocidade básica do vento V_0 (m/s) (NBR6123:2023)

A velocidade característica do vento (V_k) é obtida pela eq. 2.1 que depende da velocidade básica do vento (V_0), sendo V_0 e V_k em m/s. Os coeficientes adimensionais S_1 , S_2 e S_3 que correspondem respectivamente à topografia do terreno, à rugosidade do terreno e ao fator estatístico relacionado à vida útil da edificação são obtidos respectivamente nos itens 5.2, 5.3 e 5.4 da NBR6123:2023

$$V_k = V_0 \cdot S_1 \cdot S_2 \cdot S_3 \quad (2.1)$$

O fator topográfico, S_1 , representa as variações do relevo do terreno. O fator de rugosidade do terreno, S_2 , considera a combinação da rugosidade do terreno com a variação da velocidade média do vento de acordo com a altura acima do terreno e as dimensões da edificação. Já o fator estatístico, S_3 , é obtido a partir do grau de segurança exigido pela norma com uma probabilidade de 63% da velocidade básica do vento ser igualada ou excedida em um período de recorrência de 50 anos.

A partir da velocidade característica do vento é possível obter a pressão dinâmica do vento (q) sendo “ q ” em N/m^2 na eq. 2.2, o qual é fundamental para obter os coeficientes aerodinâmicos dos esforços do vento.

$$q = 0,613.Vk^2 \quad (2.2)$$

2.2 COEFICIENTES DE PRESSÃO E DE FORMA

A força do vento depende da diferença de pressão entre as faces opostas da edificação, portanto, define-se um coeficiente de pressão externa e interna. A pressão exercida em uma fachada será, portanto, a diferença entre a pressão efetiva externa (Δp_e) e interna (Δp_i) da edificação, denominada, pressão efetiva (Δp), descrita na eq. 2.3, segundo a NBR6123:2023. Quando a pressão efetiva for superior à pressão atmosférica tem-se uma sobrepressão (sinal positivo), e quando a pressão efetiva for inferior à pressão atmosférica tem-se uma sucção (sinal negativo).

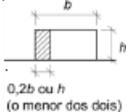
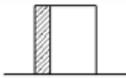
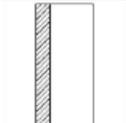
$$\Delta p = \Delta p_e - \Delta p_i \quad (2.3)$$

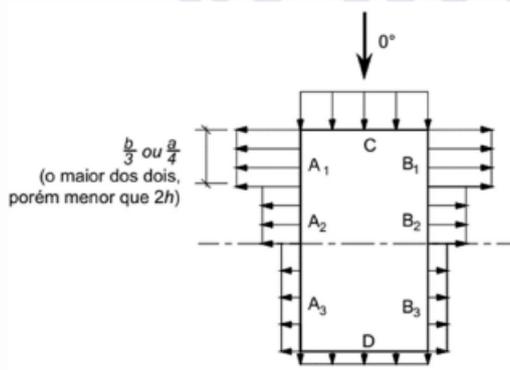
O coeficiente de pressão externo (C_{pe}), eq. 2.4, e interno (C_{pi}), eq. 2.5, são determinados pela razão entre a pressão efetiva e a pressão dinâmica (q). O presente estudo abordará o coeficiente de pressão externa.

$$C_{pe} = \frac{\Delta p_e}{q} \quad (2.4)$$

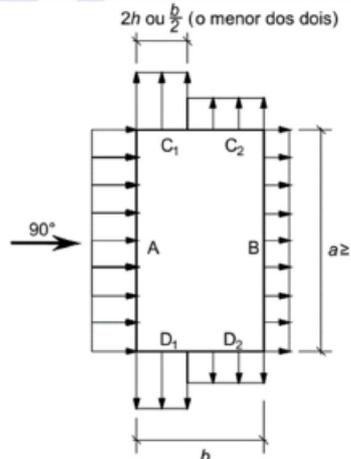
$$C_{pi} = \frac{\Delta p_i}{q} \quad (2.5)$$

A fig. 2.2-1 determina os coeficientes de pressão e de forma para cada fachada de seção retangular de acordo com propriedades geométrica do edifício e ângulo de incidência do vento de 0° ou 90° . A largura das fachadas laterais possui duas ou três faixas de coeficientes de forma diferentes, com valores decrescendo das extremidades da fachada de barlavento para a de sotavento.

Altura relativa		Valores de C_e para								C_{pe} médio
		$\alpha = 0^\circ$				$\alpha = 90^\circ$				
		A ₁ e B ₁	A ₂ e B ₂	C	D	A	B	C ₁ e D ₁	C ₂ e D ₂	
 $h \leq \frac{1}{2}$ 0,2b ou h (o menor dos dois)	$1 \leq \frac{a}{b} \leq \frac{3}{2}$	-0,8	-0,5	+0,7	-0,4	+0,7	-0,4	-0,8	-0,4	-0,9
	$2 \leq \frac{a}{b} \leq 4$	-0,8	-0,4	+0,7	-0,3	+0,7	-0,5	-0,9	-0,5	-1,0
 $\frac{1}{2} < \frac{h}{b} \leq \frac{3}{2}$	$1 \leq \frac{a}{b} \leq \frac{3}{2}$	-0,9	-0,5	+0,7	-0,5	+0,7	-0,5	-0,9	-0,5	-1,1
	$2 \leq \frac{a}{b} \leq 4$	-0,9	-0,4	+0,7	-0,3	+0,7	-0,6	-0,9	-0,5	-1,1
 $\frac{3}{2} < \frac{h}{b} \leq 6$	$1 \leq \frac{a}{b} \leq \frac{3}{2}$	-1,0	-0,6	+0,8	-0,6	+0,8	-0,6	-1,0	-0,6	-1,2
	$2 \leq \frac{a}{b} \leq 4$	-1,0	-0,5	+0,8	-0,3	+0,8	-0,6	-1,0	-0,6	-1,2



0°



90°

NOTA 1 A altura h está especificada no detalhe I da Tabela 7.
 NOTA 2 Para a/b entre $3/2$ e 2 , interpolar linearmente.
 NOTA 3 Para vento a 0° , nas partes A_3 e B_3 o coeficiente de forma C_e tem os seguintes valores:

- $a/b = 1$: mesmo valor das partes A_2 e B_2 ;
- $a/b \geq 2$: $C_e = -0,2$;
- $1 < a/b < 2$: interpolar linearmente.

 NOTA 4 Para cada uma das duas incidências do vento (0° ou 90°) o coeficiente de pressão médio externo, C_{pe} médio, é aplicado à parte de barlavento das paredes paralelas ao vento (área hachurada nas figuras da Tabela 6), em uma distância igual a $0,2b$ ou h , considerando-se o menor destes dois valores.
 NOTA 5 Para determinar o coeficiente de arrasto, C_a , recomenda-se o uso do gráfico da Figura 4 (vento de baixa turbulência) ou da Figura 5 (vento de alta turbulência – ver 6.1.3).

Figura 2.2-1 - Coeficiente de pressão e de forma, externos, para paredes de edificações de planta retangular $a \times b$, sendo b a menor dimensão – (Tabela 6 NBR6123:2023).

2.3 COEFICIENTES DE PRESSÃO DE PICO

O projeto estrutural dos esforços horizontais devido ao vento prevê uma vida útil mínima de 50 anos, portanto, há a necessidade de uma análise das prováveis cargas do vento que atuam neste período. A NBR 6123:2023 não indica procedimentos numéricos para determinação de coeficientes de pressão de pico que podem ocorrer durante um período de

recorrência, constatando a necessidade de utilização de métodos estatísticos obter coeficientes de pressão que representem adequadamente os esforços solicitantes máximos.

Os métodos de Davenport (1967) e Cook and Mayne (1980), foram utilizados em estudos recentes para determinar os coeficientes de pico que atuam em uma estrutura ou em um ponto da fachada. Ming Gu (2011) utilizou o método de Davenport (1967) para determinar o coeficiente de pressão de pico em um único ponto da fachada, avaliando posteriormente o Fator de Vizinhança da pressão de pico. Kim et. al (2011) utilizou o método de Cook and Mayne (1980) para determinar os efeitos de interferência nos picos de pressão locais entre dois edifícios com diferentes proporções de altura do edifício interferente e direções do vento.

O presente estudo utilizou o método de Davenport (1967) para determinar os coeficientes de pressões de pico. Este método consiste na determinação de uma expressão que represente a distribuição probabilística dos maiores coeficientes aerodinâmicos de uma amostra em um período T . Para os esforços do vento pode ser utilizado uma simplificação para determinar o fator de pico g , de forma a obter o maior valor dos coeficientes de pressão em um tempo T . A eq. 2.6 apresenta a expressão do fator de pico g simplificado para as cargas do vento segundo Davenport.

$$g = \sqrt{(2 \cdot \ln(fn \cdot T))} + \frac{\gamma}{\sqrt{(2 \cdot \ln(fn \cdot T))}} \quad (2.6)$$

Em que γ representa a constante de Euler, utilizado no estudo com valor de 0,5772. O índice fn corresponde a frequência natural para um sistema de baixo amortecimento.

A partir da determinação do fator de pico g Davenport conclui que os valores extremos de pico C_{pico} poderiam ser obtidos através da eq. 2.7, relacionando o coeficiente de pressão médio $C_{pe, med}$ e o desvio padrão σ da amostra utilizada.

$$C_{pico} = C_{pe, med} + g \cdot \sigma \quad (2.7)$$

2.4 EFEITOS DE VIZINHANÇA

A NBR 6123:2023 indica a necessidade de se avaliar as alterações provocadas por edifícios vizinhos, uma vez que estas alterações podem resultar em ampliações dos esforços horizontais gerados devido ao vento. O item 6.4 da NBR6123:2023, considera três situações que podem gerar aumento das forças do vento devido a influência da vizinhança, sendo estes, o efeito Venturi, deflexão vertical do vento e turbulência de esteira.

Outra norma que aborda a interferência de vizinhança é o Eurocódigo 1 - Ações em estruturas, parte 1:4 ações gerais NP-EN 1991-1-4-2010, Ações do vento. A partir desta norma é recomendado que se avalie as construções vizinhas para a determinação da força média do vento para se verificar o aumento na turbulência de esteira. A determinação da velocidade do vento é realizada a partir da relação da altura do edifício vizinho e a menor dimensão da seção transversal.

O fenômeno da interferência de vizinhança pode ser descrito como a mudança aerodinâmica devido à presença de algum obstáculo nas proximidades que influencie de forma favorável ou desfavorável nas pressões atuantes nas fachadas de um edifício. A mudança do comportamento de um edifício devido a configuração de posicionamento da vizinhança passou então a ser um objeto de grande relevância e importância na engenharia do vento para analisar os efeitos de vizinhança.

2.4.1 Efeitos de Proteção

A NBR6123:2023 não considera o os efeitos de proteção como um efeito de vizinhança, pois a situação abordada resulta em reduções dos esforços solicitantes horizontais devido ao vento. No entanto, em estudos sobre a interferência da vizinhança é comum observar o termo “Efeito de proteção” para indicar justamente a redução dos esforços atuantes nas fachadas.

O efeito de proteção ocorre quando se tem um edifício junto a um ou mais edifícios vizinhos, os quais são responsáveis por modificar o escoamento do vento de forma que os esforços solicitantes da ação do vento são reduzidos quando se compara com os esforços que atuam no edifício isolado. Em uma estrutura de seção retangular o efeito de proteção é predominante na fachada de barlavento, mas pode ser observado também nas fachadas laterais ou de sotavento dependendo da distância entre os edifícios.

Os estudos de Gu e Xie (2011), Fontoura (2014) e Vieira (2016) mostraram que um edifício rodeado por um grupo de edifícios vizinhos, tem a força média do vento reduzida na maioria dos ângulos de incidência do vento, obtendo, portanto, efeitos de proteção. Para que haja proteção a um edifício, diversos parâmetros devem ser analisados, como distância entre as edificações, posição dos vizinhos, altura, dentre outros, para que se possa afirmar que existe ou não um efeito de proteção.

2.4.2 Efeito Venturi

O efeito Venturi ocorre devido ao afinilamento do vento, o que causa um aumento na aceleração do escoamento do vento, logo um aumento de velocidade, resultando assim em uma modificação das pressões geradas nas fachadas de um edifício.

Este efeito ocorre devido à proximidade de duas ou mais edificações vizinhas. Fontoura (2014) mostrou em sua pesquisa que para algumas configurações de vizinhanças específicas as forças devidas ao vento aumentaram em até 22%, as quais foram associadas ao efeito Venturi.

2.4.3 Efeito de deflexão vertical do vento

Quando se analisa o escoamento do vento em um edifício isolado tem-se a incidência do vento diretamente na fachada de barlavento com baixa turbulência, em que o escoamento do vento é defletido para baixo, para cima e para as laterais a partir de um ponto de estagnação do vento, que segundo Holmes (2004) está localizado aproximadamente entre 70% e 80% da altura do edifício.

A deflexão para a base da estrutura pode gerar um aumento de velocidade do vento próximo à base da edificação e um desconforto aos pedestres que pode ser amplificado ainda com o efeito Venturi. Edificações baixas podem sofrer com este efeito de forma que os coeficientes de forma da fachada lateral podem atingir valores de sucção que variam de $-1,50$ à $-2,0$.

De acordo com o estudo de Wise (1971), edifícios com grandes dimensões são capazes de direcionar o escoamento do vento em altas velocidades para a base da edificação, nas regiões próximas ao solo gerando vórtices de turbulência na base do edifício. A fig. 2.4-1 representa o escoamento do vento a partir do ponto de estagnação com deflexões para o topo, laterais e para base do edifício.

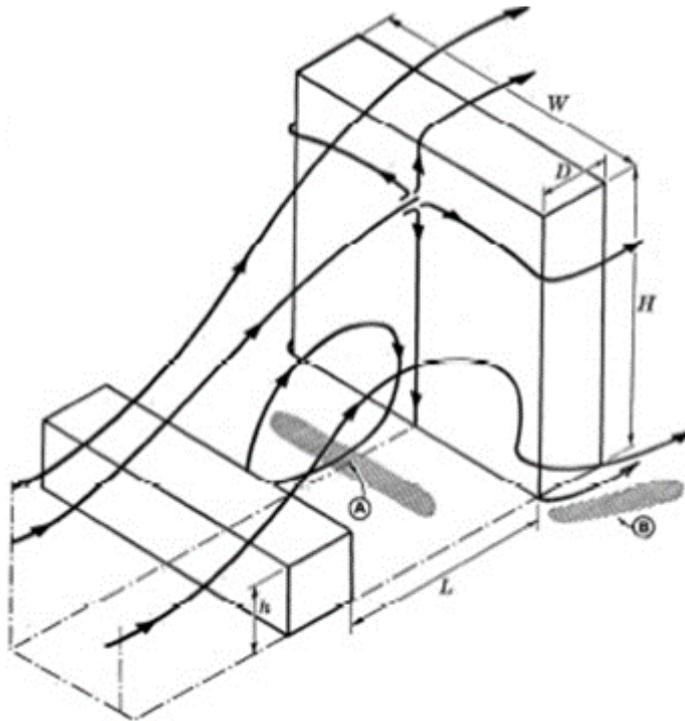


Figura 2.4-1 - Deflexão vertical do vento. – Adaptado de Wise (1971)

2.4.4 Turbulência de esteira

É o efeito da alteração do escoamento de vento ao atingir um obstáculo, produzindo assim na esteira a sotavento turbilhões que atingem os edifícios próximos.

No estudo de Wise (1971) observou-se que a partir da relação entre a distância das edificações (L) e altura da edificação mais alta (H), poderia se obter um parâmetro de estabilidade ou não dos vórtices de vento. Portanto, a partir deste estudo, observa-se que quando se tem essa relação superior a 1 ($\frac{L}{H} \geq 1$) a circulação de vento fica instável, alterando assim o escoamento do vento entre os edifícios de forma ao maior edifício ser afetado pela esteira do menor edifício. A partir da fig. 2.4-2 é possível observar graficamente o limite entre os vórtices estáveis e instáveis do vento.

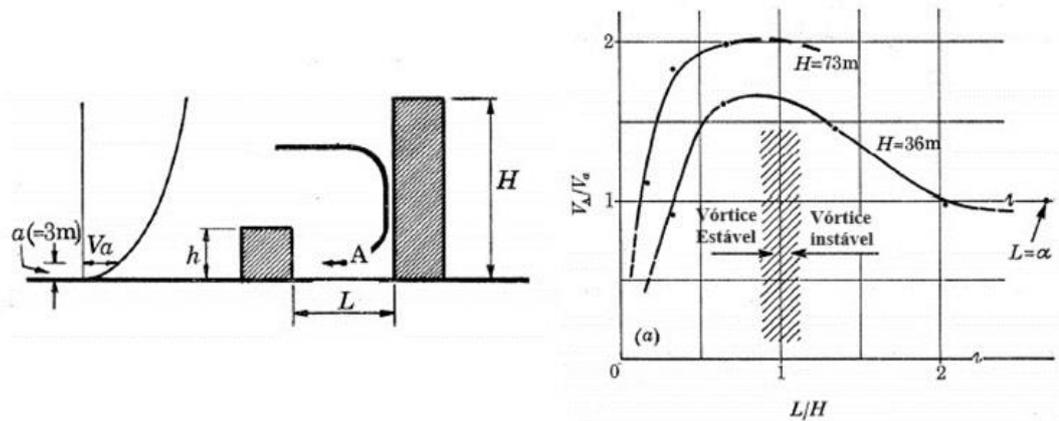


Figura 2.4-2 - Esteira de turbulência (adaptado de Wise 1971)

2.5 FATOR DE VIZINHANÇA (NBR6123:2023)

Os efeitos de interferências de vizinhanças não podem ser determinados de forma genérica e aplicado a todo tipo de edificação da mesma forma devido à complexidade dos esforços aerodinâmicos atuantes em uma edificação. O fator de vizinhança (F_v), ou, do inglês, *Interference Factor IF*, é amplamente utilizado por pesquisadores para quantificar a interferência que a vizinhança pode induzir a um edifício ou estrutura. O (F_v) é obtido pela razão de uma medida realizada no modelo de um edifício com a presença de vizinhança ($C_{a,cv}$), pela mesma medida realizada com o modelo de um edifício isolado ($C_{a,iso}$). As medidas utilizadas podem ser amplitude de oscilação, aceleração momento de tombamento, momento de torção e medidas adimensionais dos coeficientes aerodinâmicos de força ou de pressão, conforme apresentado na eq. 2.6.

$$F_v = \frac{C_{a,cv}}{C_{a,iso}} \quad (2.8)$$

O fator de vizinhança (F_v), pode ser obtido por um procedimento aproximado determinado no item 6.4.4 da NBR 6123:2023 a partir do distanciamento entre as faces das edificações (s) e do valor (d^*) que é a menor dimensão calculada pelas equações 2.9 e 2.10. A fig. 2.5-1 indica o afastamento entre as faces das edificações de estudo e o vizinho.

$$d^* = \text{lado menor "b"} \quad (2.9)$$

ou

$$d^* = \frac{1}{2} \sqrt{(a^2 + b^2)} \quad (2.10)$$

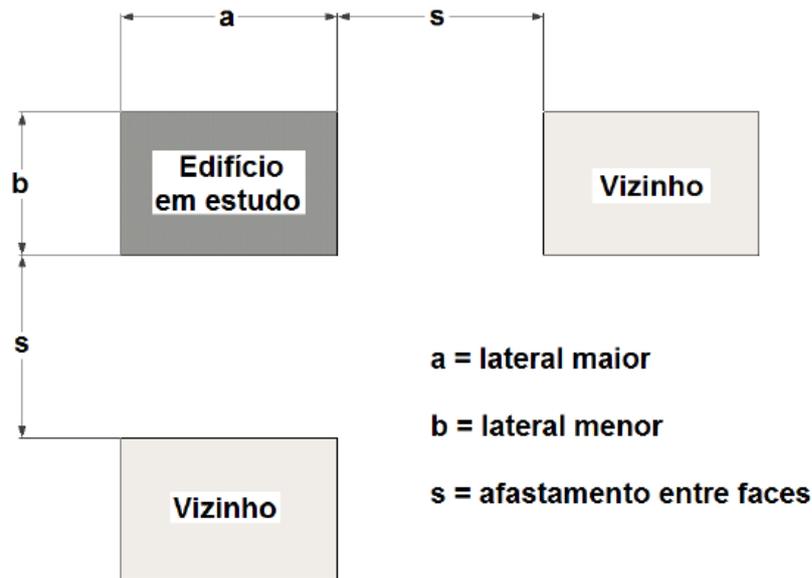


Figura 2.5-1 - Indicação do afastamento entre a edificação estudada e uma edificação vizinha.

Vieira (2016)

Com os parâmetros (s) e (d^*) determina-se o fator de vizinhança (F_v) pela razão ($\frac{s}{d^*}$), nas eq. 2.11 e 2.13, quando a razão ($\frac{s}{d^*}$) for menor que 1 ou maior que 3 respectivamente. Para razão ($\frac{s}{d^*}$) entre 1 e 3 é necessário fazer uma interpolação para o valor do fator de vizinhança (F_v) conforme a eq. 2.12.

$$\frac{s}{d^*} \leq 1,0 \rightarrow F_v = 1,30 \quad (2.11)$$

$$1,0 \leq \frac{s}{d^*} \leq 3,0 \rightarrow F_v = \text{Fazer interpolação} \quad (2.12)$$

$$\frac{s}{d^*} \geq 3,0 \rightarrow F_v = 1,00 \quad (2.13)$$

O Fator de Vizinhança é o principal parâmetro para compreensão e comparação no estudo dos efeitos de interferência de vizinhança nas distribuições de pressões devido ao vento, sendo amplamente utilizado para análises globais dos esforços resultantes ou para análises locais do comportamento de cada fachada, regiões específicas ou até mesmo de ponto de medição na fachada.

2.6 CONTRIBUIÇÕES SOBRE OS EFEITOS DE VIZINHANÇA

Harris (1934) analisou a interferência da construção de duas novas torres ao redor do Empire States Building, e verificou que as duas novas torres geravam uma proteção, com redução das pressões nas fachadas à barlavento e à sotavento, mas na mesma simulação resultava também em um aumento das pressões nas fachadas laterais, gerando, portanto, efeitos de torção indesejados no edifício analisado.

No estudo realizado por Bailey e Kwok (1985) ficou evidenciado que a esteira de turbulência de um edifício pode ser alterada devido à proximidade de um segundo edifício a sotavento do primeiro. Kim et al. (1985) também realizaram estudos sobre a interferência de vizinhança nos quais utilizaram modelos com a mesma seção transversal, variando a altura do edifício vizinho, constatando um aumento da interferência à medida que a altura do vizinho aumentava, mostrando interferência de até 30% em algumas situações.

Campbell (1995) descreveu a situação ocorrida no edifício John Hancock Center, localizado em Chicago-EUA, o qual estava causando desconforto aos ocupantes, devido à ocorrência de acelerações elevadas no edifício quando as cargas do vento atuavam com velocidades maiores. Para solucionar o problema foi contratado o engenheiro William LeMessurier, que realizou procedimentos estruturais para a instalação de um amortecedor passivo com duas massas de 300 toneladas no 58º andar para reduzir as vibrações excessivas causadas pelo vento.

O escoamento do vento quando analisado para duas edificações vizinhas de mesma altura, pode ser classificado em três tipos de regime de escoamento segundo Carpeggiani (2004), sendo escoamento de corpo isolado, deslizante e de interferência de esteira. O escoamento de corpo isolado é apresentado na fig. 2.6-1, em que após a incidência do vento no primeiro edifício o escoamento do vento atinge o segundo edifício com parâmetros e configurações semelhantes a uma incidência de forma direta sem vizinho. Acontece devido ao fato da distância entre os edifícios ser suficiente para que o escoamento após a esteira do

primeiro edifício possa recolar no solo novamente antes de atingir o segundo edifício, de forma que os dois edifícios passem a ter vórtices de pé de fachada.

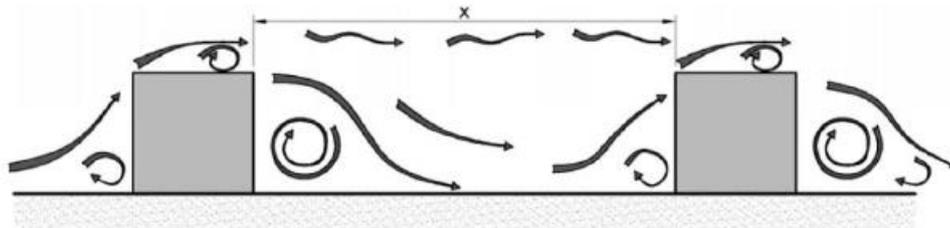


Figura 2.6-1 – Escoamento de corpo isolado - Carpeggiani (2004)

O escoamento deslizante, fig. 2.6-2, ocorre quando a distância entre as duas edificações é pequena de tal forma que a maior parte do escoamento do vento passa por cima das duas edificações e há uma criação de vórtice estável entre as duas edificações, gerando então uma proteção no edifício adjacente.

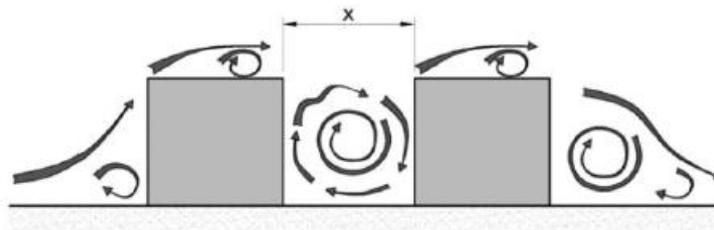


Figura 2.6-2 – Escoamento deslizante – Carpeggiani (2004)

Na situação que a distância não é pequena ou grande o suficiente para induzir proteção, ou uma esteira completa, há então o escoamento de interferência de esteira, apresentado na fig. 2.6-3. Neste tipo de escoamento o vórtice entre as edificações apresenta uma alta turbulência, podendo submeter as edificações a grandes esforços de sucção ou até mesmo efeitos de vizinhança.

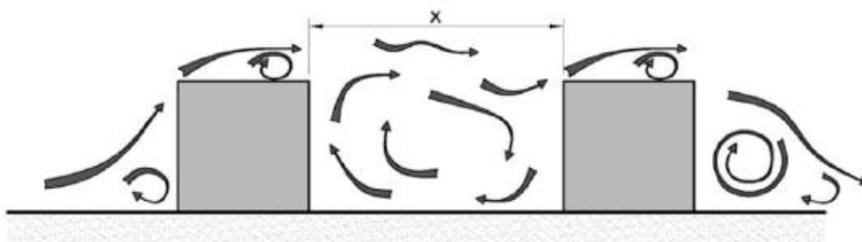


Figura 2.6-3 – Escoamento de interferência de esteira – Carpeggiani (2004)

Ming Gu (2011) realizou um estudo sobre a interferência de dois e três edifícios altos ao redor de um modelo reduzido em túnel de vento. O estudo apresentou um aumento de até 20% do Fator de Vizinhança F_v dos esforços solicitantes médios e de pico em um ponto P_1 localizado na borda principal da parede lateral do modelo com seção quadrada de 100mm de base e 600mm de altura em um túnel de vento com escala de comprimento de 1: 400, conforme apresentado na fig. 2.6-4.

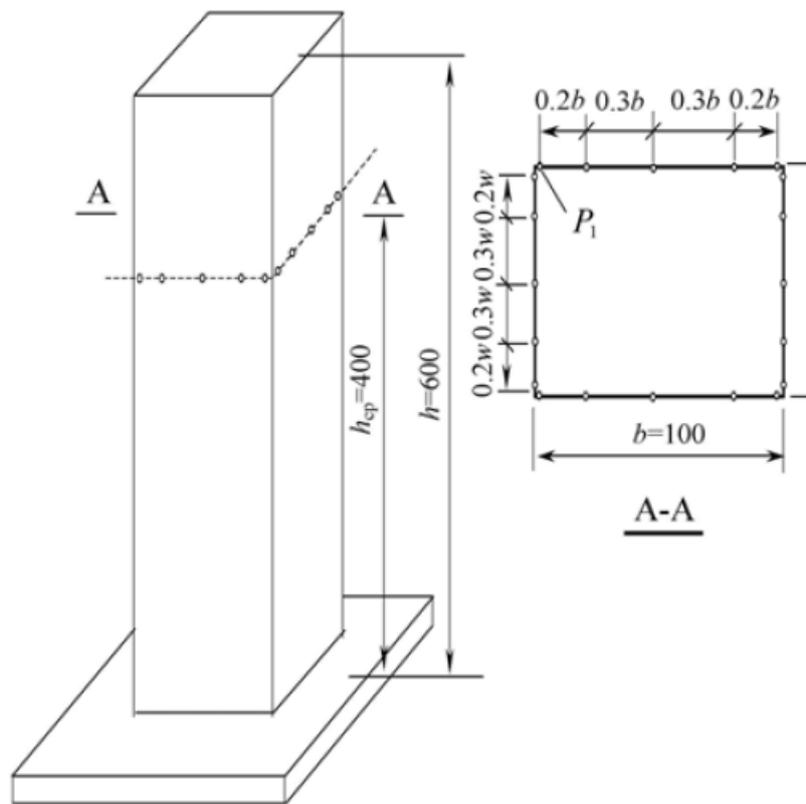


Figura 2.6-4 - Modelo principal e disposição das tomadas de pressão. Ming Gu (2011)

Kim et. al. (2011) publicaram um estudo sobre os efeitos de interferência nos picos de pressão locais entre dois edifícios. O modelo estudado possui 252 tomadas de pressão, sendo 63 delas em cada fachada, com taxa de aquisição dos sensores de 781Hz , durante um período de aproximadamente 7,5 segundos. A velocidade média utilizada para a determinação da pressão de pico foi de $8,2\text{m/s}$ referente ao vento urbano, com escala de velocidade de $\frac{1}{4}$ e com fator potencial de rugosidade ($p = 0,27$).

A fachada frontal foi analisada com variação dos edifícios interferentes variando a altura em relação ao modelo de estudo e variando também o ângulo de incidência do vento. A fig. 2.6-5 mostra os modelos quadrados reduzidos e a fig. 2.6-6 o sistema de coordenadas do vizinho interferente.

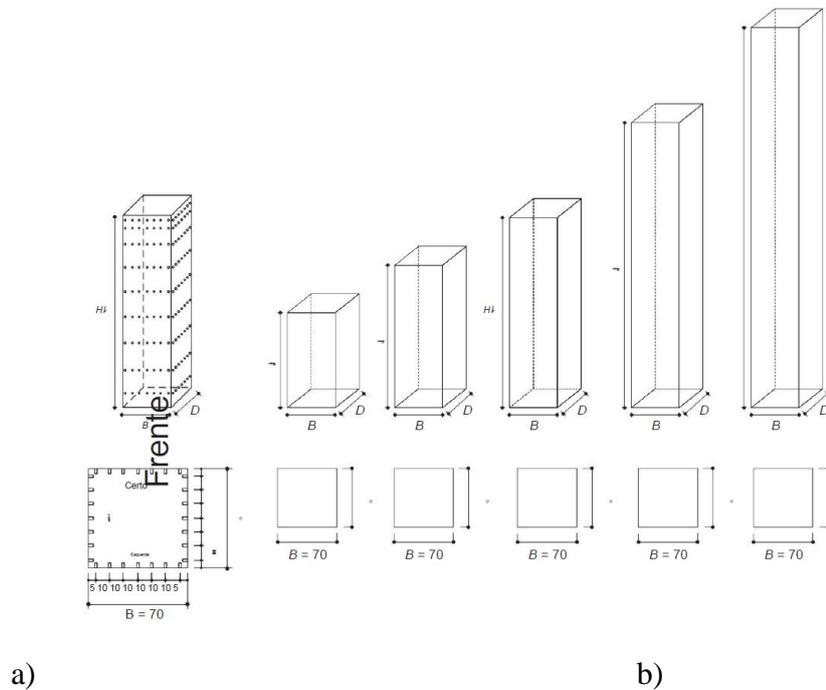


Figura 2.6-5 - Configuração dos modelos: (a) modelo principal; (b) 5 tipos de modelos interferentes. Kim et al. (2011)

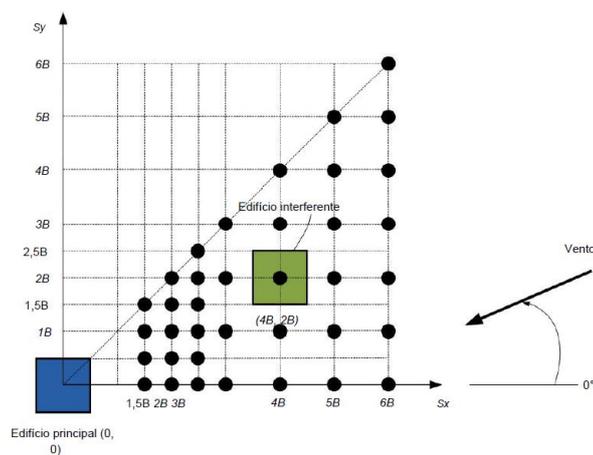


Figura 2.6-6 - Sistema de coordenadas indicando diferentes localizações de edifícios interferentes e direções de vento testadas em túnel de vento. Kim et al. (2011)

Kim et. al (2011) utilizaram o método Cook and Mayne (1980) para obter os coeficientes de pressões de pico, o qual foi desenvolvido com base no modelo estatístico de Monte Carlo, que tem a distribuição de valores de picos de Gumbel do tipo 1. A eq. 2.14 apresenta o coeficiente de pressão de pico C^{\wedge} em função da moda (Ucp), do valor 1,4, referente à probabilidade estatística de 78% do valor de pico não ser excedido em um período de retorno de 50 anos, e do coeficiente de dispersão ($1/acp$). O estudo conclui ainda que em determinadas configurações de vizinhanças não havia interferência significativa, mas em situações com o vizinho próximo ao modelo estudado os efeitos de interferência fazem uma blindagem com redução da sobrepressão, mas também uma amplificação dos coeficientes de pressão de sucção.

$$C^{\wedge} = Ucp + \frac{1,4}{acp} \quad (2.14)$$

X. F. Yu et al (2015) analisaram os efeitos da interferência na distribuição de pressão do vento entre dois edifícios altos, realizando ensaios em túnel de vento com variação da largura e altura dos vizinhos interferentes. O estudo analisou os coeficientes de pressão média e de pico para 196 pontos distribuídos nas fachadas de um modelo com 100mm de profundidade, 100mm de largura e 600mm de altura com escala de comprimento de 1:400. A partir dos resultados obtidos calculou-se o Fator de Vizinhança Fv para cada ponto de aferição de pressão para determinar os efeitos decorrentes da vizinhança simulada.

Os Fatores de Vizinhança dos coeficientes de pressões de pico apresentaram sucções com interferência de até 78%, em que os coeficientes de pressões de pico para cada tomada foram obtidos a partir do método de Cook and Mayne (1980). A fig. 2.6-7 apresenta um gráfico dos contornos da fachada frontal e lateral esquerda, dos coeficientes de pressão de pico e do Fator de Vizinhança (Fv), para uma configuração de vizinhança com altura relativa do interferente $Hr = 0,80$ e posição $x/b = 1,50$, no qual se observa um coeficiente de pressão de pico de $-2,75$ (sucção), este 53% maior do que o ensaio com edifício principal isolado.

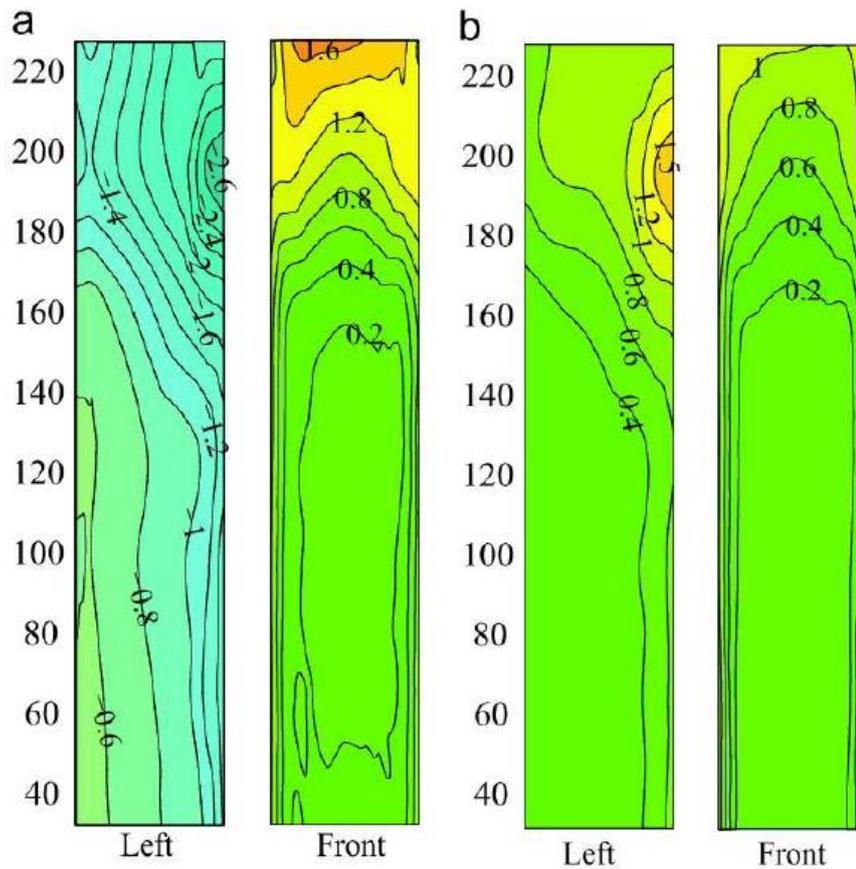


Figura 2.6-7 - Contornos das fachadas do edifício principal em arranjo tandem ($x/b=1,5$). a) coeficiente de pico de pressão b) Fator de Vizinhança (Fv). X. F. Yu et al (2015)

S. K. Nagar et al. (2022) determinaram os coeficientes de pressões média e valor RMS para 196 pontos de aferição de pressão instalados no modelo apresentado na fig. 2.6-8, analisando os efeitos de interferência de vizinhanças nas ações do vento devido à proximidade das fachadas entre dois edifícios altos para três condições de bloqueio distintas de vizinhança, conforme apresentado na fig. 2.6-9.

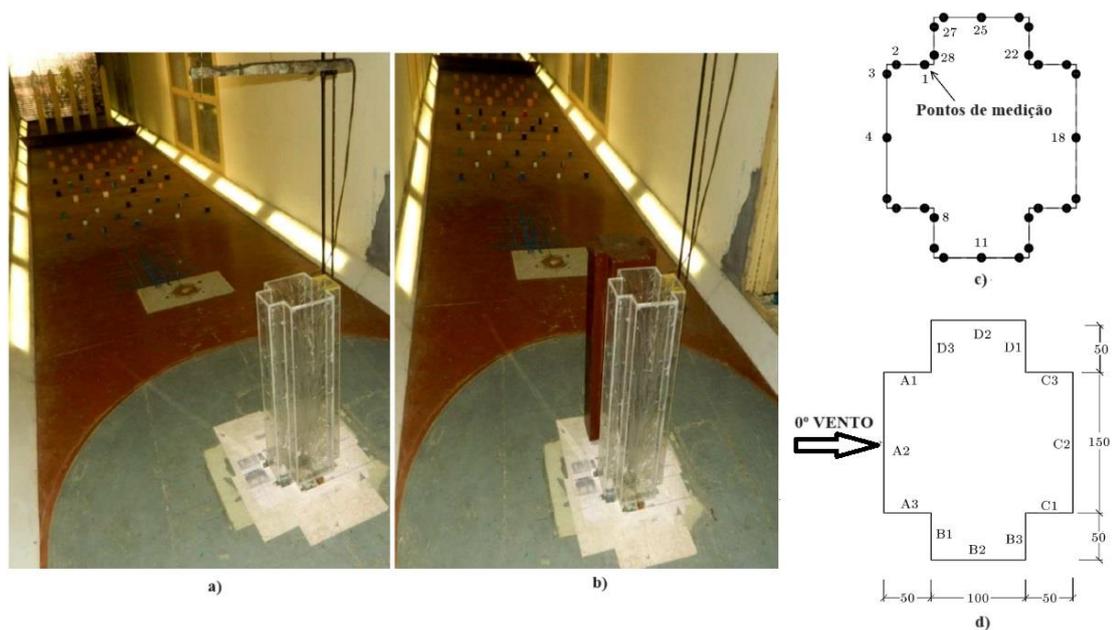


Figura 2.6-8 – a) modelo principal isolado; b) Modelo interferente; c) Distribuição dos pontos de tomada de pressão por camada; d) Planta baixa do modelo principal. – S. K. Nagar et. al (2022)

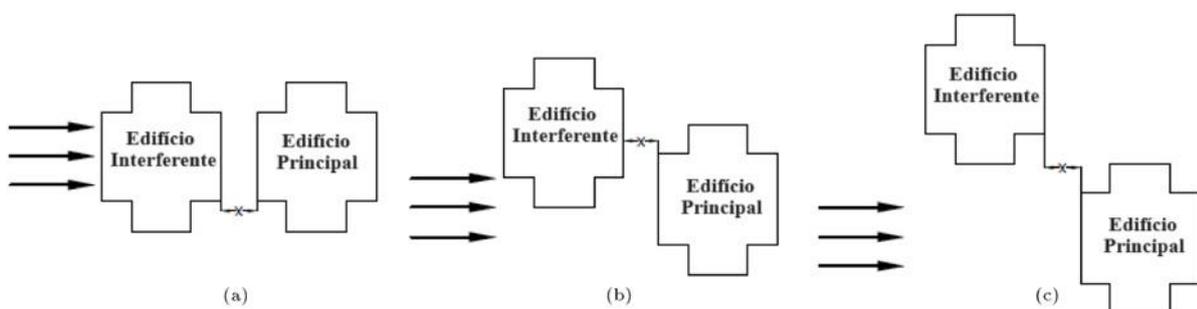


Figura 2.6-9 - Condições de interferência. a) Bloqueio total; b) Bloqueio parcial; c) sem bloqueio. S. K. Nagar et al. (2022)

A primeira condição de interferência ocorreu com bloqueio total da fachada de barlavento do edifício principal, a segunda condição de interferência com bloqueio parcial e a terceira sem bloqueio, com distância entre as fachadas do modelo principal e o interferente constante e igual a 60mm. Os resultados obtidos a partir dos Fatores de Vizinhança F_v apresentaram maiores interferências nas fachadas laterais do edifício principal, com uma redução de 65% nas solicitações de sucção quando submetidas a condição de bloqueio total.

H. Cui et al (2023) realizaram um estudo experimental com três edifícios altos para analisar a interferência da ação do vento nos coeficientes de forma, coeficientes de pressões flutuantes e coeficientes de momento fletor da base. O ensaio consistiu em obter os coeficientes estudados para as angulações de incidência do vento de 0° a 180° e variando também a razão de espaçamento (L/D), sendo L a distância central entre os edifícios e D a largura lateral dos edifícios. A fig. 2.6-10 apresenta a planta baixa do grupo piramidal de três modelos reduzidos de edifícios de 33 andares.

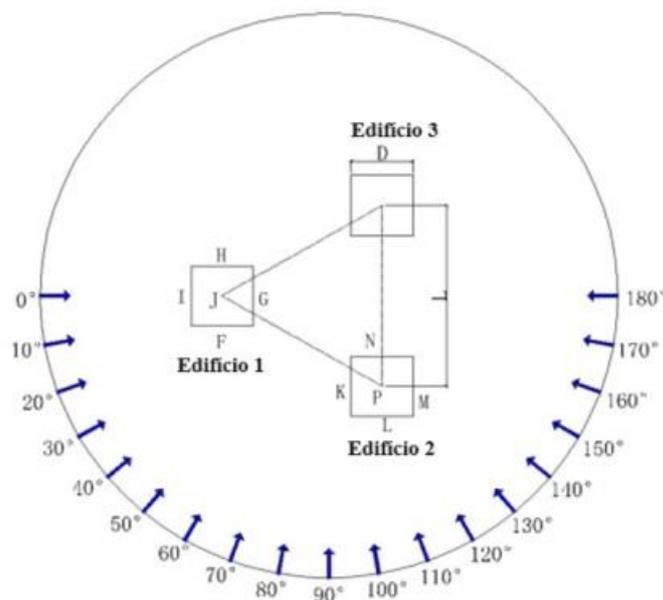


Figura 2.6-10 – Posicionamento dos modelos e ângulos de direção do vento. H. Cui et al (2023).

A fig.2.6-11 apresenta o mapa de contorno dos coeficientes de forma do plano I do edifício 1 para quatro angulações na razão de espaçamento ($L/D = 2,5$). Observa-se que na angulação do vento em 30° o plano I está sujeito a esforços de sucção na área esquerda e sobrepressão na área mais à direita e ao modificar a angulação gradualmente o plano I passa a ter comportamento de uma fachada lateral com esforços de sucção em toda sua fachada.

Este estudo concluiu que a relação de espaçamento (L/D) entre os edifícios deve ser preferencialmente 3,0 e os ângulos 10°, 40° e 50° da incidência do vento apresentaram os maiores coeficientes de pressão flutuantes e de momento fletor de base.

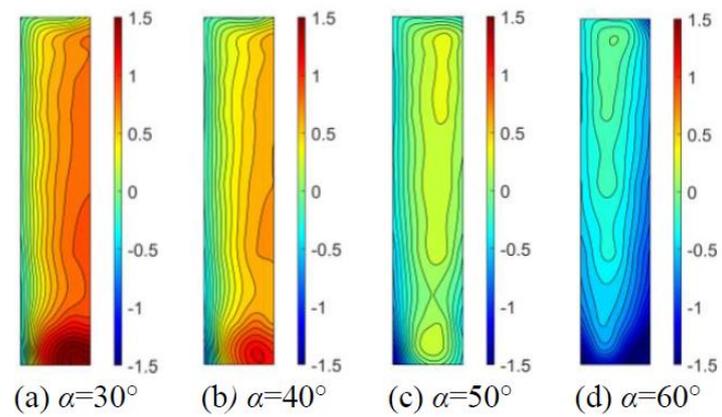


Figura 2.6-11 – Mapa de contorno do coeficiente de forma do Plano I do edifício 1 com razão de espaçamento de 2,5. H. Cui et al (2023).

3. CAARC STANDARD TALL BUILDING

Para entender melhor o comportamento de um edifício quando submetido ao escoamento do vento é necessário recorrer à área dos estudos experimentais em que é possível observar mais precisamente os efeitos e esforços gerados pelo vento em uma estrutura. Estes ensaios são realizados em túnel de vento com modelos reduzidos para determinação e representação dos esforços.

As duas principais situações que demandam a utilização do túnel de vento são quando se tem ao redor de um edifício obstáculos ou estruturas que gerem perturbações no escoamento do vento, de forma a proporcionar um escoamento de alta turbulência e a segunda situação está relacionada à arquitetura do edifício quando se tem pouca informação sobre seu comportamento aerodinâmico. Portanto, a partir destes ensaios é possível prever com menor erro os efeitos do vento na estrutura, obtendo assim um edifício com uma segurança e conforto recomendado pela norma.

Para obter melhor representação e validação dos estudos experimentais realizados em diversos modelos de túneis de vento e edifícios, o Commonwealth Advisory Aeronautical Research Council (CAARC) desenvolveu em 1969 um modelo padrão de edifício, que a partir de então seria utilizado no desenvolvimento de estudos experimentais em túneis de vento (Melbourne 1980 p.73). Este modelo foi então denominado CAARC STANDARD TALL BUILDING, e a partir de sua utilização foi possível fazer comparações entre diversos estudos e assim aumentar a confiabilidade dos resultados obtidos.

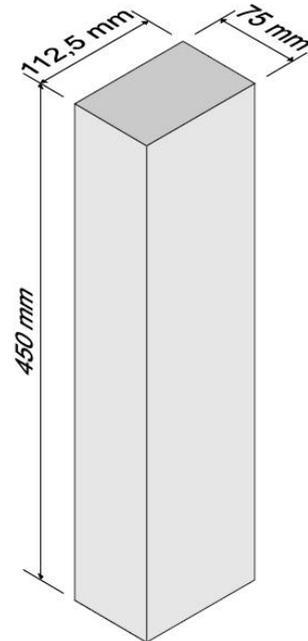
Entre o ano de 1969 até 1975 foram realizados por vários centros de pesquisas ensaios e estudos a partir do modelo padrão (CAARC), adotando efeitos estáticos e dinâmicos nos experimentos, que quando comparados demonstraram pequenas diferenças que foram atribuídas à inexistência de obstáculos e à diferença no espectro de velocidade longitudinal. A maioria dos edifícios construídos não tem as dimensões padronizadas conforme o CAARC, o que altera os efeitos da ação do vento nas estruturas. Mas segundo o estudo de Thepmongkorn et. al. (2002), a maioria dos edifícios altos possuem a mesma concepção do CAARC em sua geometria, o que torna os resultados obtidos em ensaios experimentais válidos para diversas estruturas.

A escala utilizada no modelo reduzido para ensaios no túnel de vento Joaquim Blessmann é de 1: 406,4. A fig. 3.1a apresenta o modelo reduzido com os sensores de pressões instalados e a figura 3.1b apresenta as dimensões do modelo com seção transversal $a =$

112,5mm por $b = 75\text{mm}$ e altura $h = 450\text{mm}$. Aplicando a escala utilizada, estas dimensões equivalem a um edifício com dimensões geométricas de $a = 45,72\text{m}$ (150ft) por $b = 30,48$ (100ft) e altura $h = 182,88\text{m}$ (600ft).



(a) No túnel com as tomadas de pressão



(b) Dimensões

Figura 3-1- Modelo experimental do CAARC. Lavôr (2023).

O CAARC utilizado em estudos experimentais no túnel de vento Joaquim Blessmann possui 70 pontos de tomada de pressão por fachada, os quais são subdivididos em zonas de 1 a 10 (distribuídas da base ao topo do edifício), sendo a zona 1 mais próxima da base e a zona 10 próximo ao topo do edifício. Cada zona é composta por 7 pontos de tomada de pressão, conforme apresentado nas fig. 3.2 e 3.3. Esta divisão é fundamental para se compreender e analisar os locais que sofrem maior interferência dos esforços solicitantes devida à modificação dos parâmetros de escoamento do vento impostos pela vizinhança.

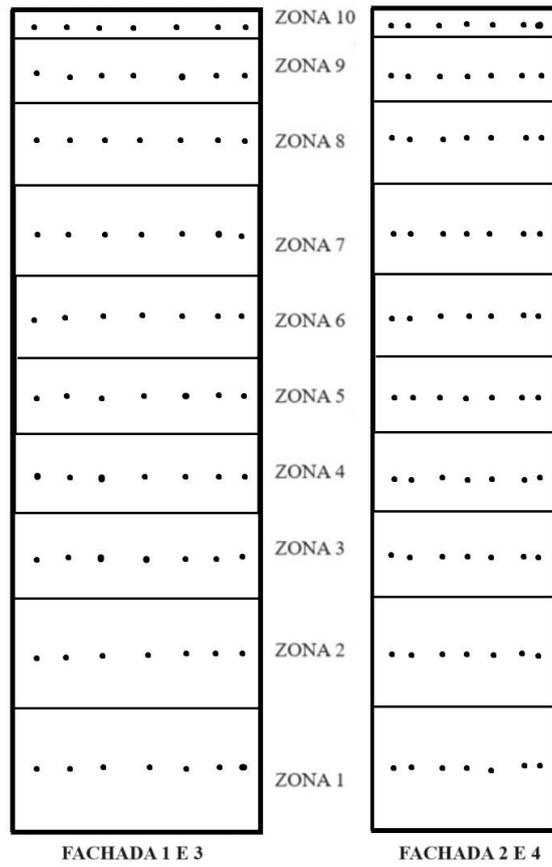


Figura 3-2 – Divisão de cada fachada por zona

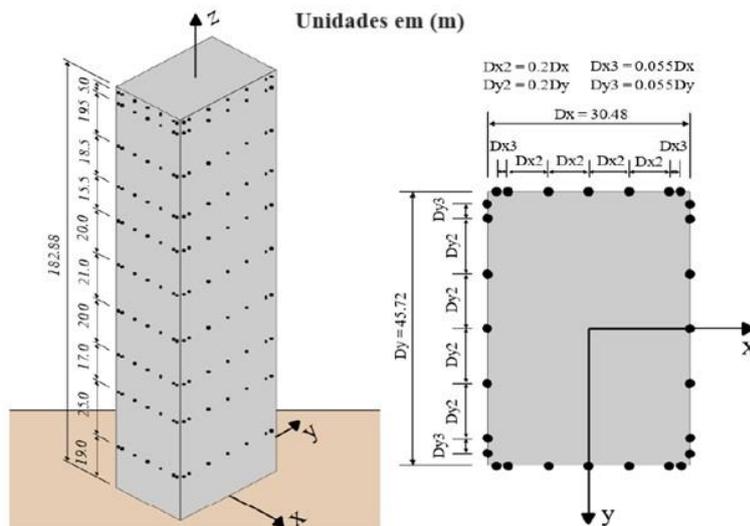


Figura 3-3 - CAARC em escala real e posições dos indicadores de tomadas de pressão - adaptado de Lavôr (2023).

Além da padronização das dimensões geométricas, o edifício CAARC possui também as seguintes características:

- Massa específica: 160kg/m³;
- Massa total: 40776,26 toneladas;
- Modo de vibração: Apenas o fundamental é considerado, sendo linear com ponto de rotação na base;
- Frequência Natural: 0,20 Hz nas duas direções;
- Amortecimento: 1% nas duas direções;
- Momentos de inércia de massa:

$$IM_x = 426.465.000 \text{ t. m}^4 \quad IM_y = 422.820.000 \text{ t. m}^4;$$

4. TÚNEL DE VENTO

Para realizar ensaios experimentais da simulação natural do vento em edifícios ou estruturas aerodinâmicas utiliza-se um equipamento denominado como túnel de vento, o qual possui características e definições de acordo com o tipo de ensaio a ser realizado. Uma das características está relacionada ao circuito aerodinâmico da seção de testes, que é classificado como circuito aberto ou fechado.

O túnel de vento de circuito aberto fig. 4-1 possui uma entrada e uma saída para o escoamento do vento, em que a seção de testes fica localizada após a convergência do ar (cone de contração) e posteriormente à seção de testes há uma divergência do escoamento do vento passando pelo difusor até o ventilador que realiza a exaustão do ar na saída do túnel.

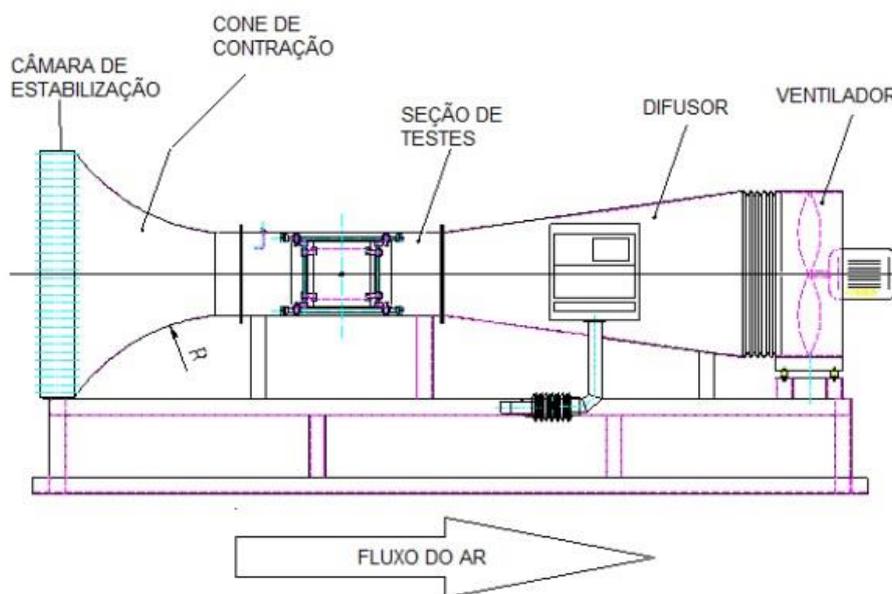


Figura 4-1 – Túnel de circuito aberto (MARTINI et. al., 2001)

Barlow et. al. (1999) descreveram como principal vantagem do uso de um túnel de circuito aberto o baixo custo de implementação e construção dele, mas que em relação à execução dos ensaios possui desvantagens significativas como a grande troca de calor, quando o mesmo possui a entrada ou saída para o meio externo, ventos indesejáveis do meio externo, alto custo para realização de ensaios e grande geração de ruídos quando em funcionamento.

O túnel de vento de circuito fechado tem o escoamento do ar de forma contínua, de modo que possui pouca ou nenhuma interferência de ar externo na simulação do vento. Segundo Barlow et. al., 1999, este túnel possui como principais vantagens pouca interferência externa ao experimento, não havendo trocas de calor no ensaio, nem ventos indesejáveis, e baixo custo

e pouco ruído para realização de ensaios quando comparado com o túnel de circuito aberto, mas, em compensação, possui um alto custo de implementação e construção.

O túnel de vento utilizado nessa pesquisa foi inaugurado em 1972 e está localizado no Laboratório de Aerodinâmica das Construções (LAC) na Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS). O túnel de vento possui um circuito fechado, um retorno e quatro mesas de ensaios viabilizando análises do tipo estática e dinâmicas devidos aos esforços gerados pelo vento nas edificações. A fig. 4-2 representa a planta baixa do circuito com a posição de cada item do túnel de vento, que atualmente é conhecido como túnel de vento Professor Joaquim Blessmann.

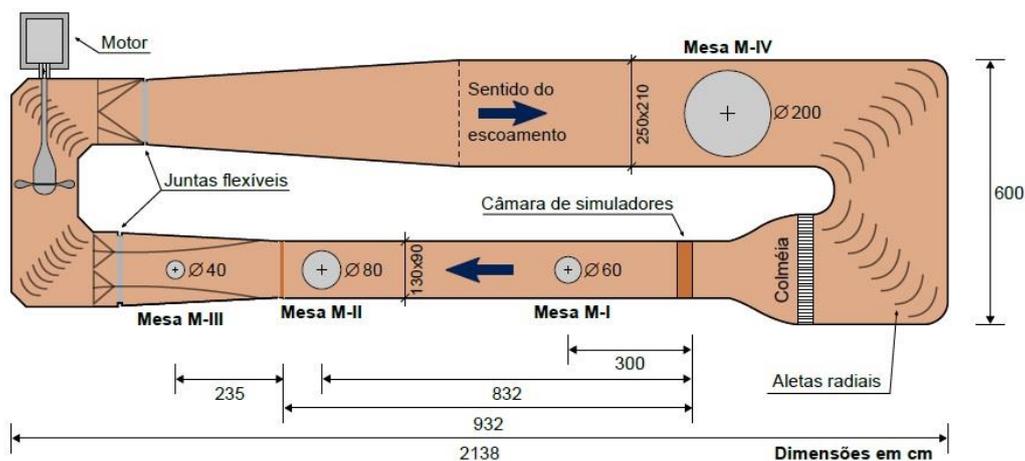


Figura 4-2 – Túnel de vento Prof. Joaquim Blessmann (circuito fechado)

O túnel de vento possui quatro mesas giratórias nas quais são fixados os modelos a serem ensaiados, cada mesa possui aplicações distintas no campo da aerodinâmica de acordo com o objetivo do estudo experimental. Abaixo tem-se a descrição de cada mesa giratória:

- **Mesa I:** ensaios do tipo aeronáutico, no piso do túnel, em camada limite de pequena espessura e escoamento de baixa turbulência, podem ser feitos ensaios para a indústria da construção com a utilização de geradores de turbulência na câmara de simuladores. Os modelos podem ser colocados tanto da horizontal como na vertical;
- **Mesa II:** ensaios do tipo aeronáutico no eixo do túnel, ensaios para a indústria da construção civil com blocos colocados no piso e/ou geradores de turbulência na câmara de simuladores ou com jatos transversais;

- **Mesa III:** esta mesa possui grande rigidez e foi construída especificamente para estudos dinâmicos em estruturas de grande altura;
- **Mesa IV:** mesa utilizada para ensaios de modelos que necessitam serem reproduzidos em maior escala, ensaios para baixas velocidades do vento.

Há, no circuito, um sistema responsável por direcionar e uniformizar o escoamento do vento. Este sistema é composto por duas estruturas, a primeira são aletas radiais localizadas nas quatro arestas e a segunda é uma colmeia, localizada antes da câmara de simuladores.

Segundo Blessmann (1990) para a correta simulação do escoamento do vento incidindo em edificações é necessário que o túnel de vento utilizado no ensaio possua uma relação de comprimento/altura superior a oito para representar mais adequadamente as características de um vento natural. As características da câmara de ensaios principal do túnel são descritas abaixo:

- Dimensões médias: 1,30m x 0,90m x 9,32m (largura) x (altura) x (comprimento);
- Relação comprimento/altura: Aproximadamente 10,3;
- Número de Reynolds: $2,6 \cdot 10^6$;
- Velocidade máxima de escoamento com vento uniforme e suave sem a presença de modelos: 42m/s (150km/h), controlada por inversores de frequências;
- Motor elétrico que aciona o ventilador: 100HP de potência;

A instrumentação do túnel é composta por dois anéis piezométricos, responsáveis pela medição da diferença de pressão estática do escoamento do ar, já a pressão obtida nos modelos que são ensaiados é medida por transdutores eletrônicos, conectados a sensores instalados no modelo padrão (CAARC).

Para se obter uma simulação mais adequada do escoamento do vento natural, o circuito do túnel de vento apresenta, grades, aletas em forma de triângulo, barreiras horizontais e blocos que são posicionados antes da seção de testes.

4.1 INSTRUMENTAÇÃO DO TÚNEL DE VENTO

O túnel de vento do Prof. Joaquim Blessmann possui dois anéis piezométricos que são responsáveis pela medição da diferença de pressão estática (Δpa) do escoamento do ar,

localizados no cone de contração e na entrada da seção de testes. As leituras das pressões e a temperatura dentro do túnel são obtidas de forma digital por um micro manômetro eletrônico da marca schiltknecht, (fig. 4.1-1-a), modelo MANOAIR 500, com resolução de $0,1 Pa$ e precisão de $0,2 Pa$, a pressão atmosférica é medida por um barômetro digital modelo N1500/691.

Para a medição das pressões nos modelos que são ensaiados, o túnel possui um transdutor elétrico, (fig. 4.1-1-b), para aquisição simultânea das pressões flutuantes por meio de mangueiras ligadas ao modelo. O transdutor é da marca Scanivalve Corp, modelo ZOC33. A taxa de aquisição utilizada nos ensaios foi de $512Hz$ e imprecisão de $0,12\%$ apresentando leituras de pressões em mmH_2O (milímetros de coluna d'água)

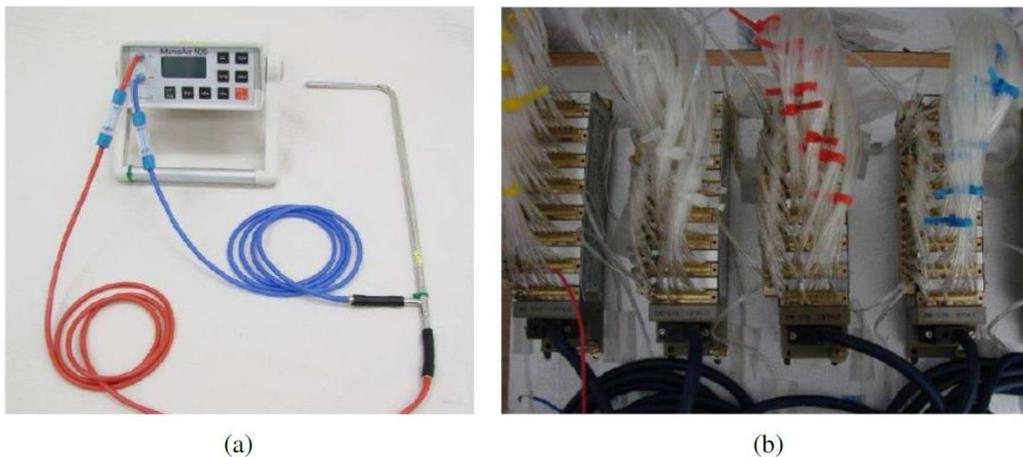


Figura 4.1-1 – Equipamentos de leitura de dados. a) Manômetro; b) Transdutor elétrico

4.2 PARÂMETROS DE SIMULAÇÃO DO VENTO

Nos ensaios aerodinâmicos realizados em túneis de vento deve-se conseguir simular a situação mais próxima da realidade, e um dos fatores mais importantes é a correta reprodução do vento natural na camada limite atmosférica que incide em uma estrutura de forma a representar os comportamentos de rajadas e as turbulências de acordo com a rugosidade do terreno e a variação de velocidade ao longo da altura do edifício. Portanto, é necessário ajustar os parâmetros do túnel de vento de acordo com o estudo a ser realizado através das principais características do vento classificadas como:

- Perfil de velocidades médias em função da rugosidade do terreno situado em uma extensa região a barlavento da edificação;

- Intensidade da componente longitudinal da turbulência, que é uma medida da energia cinética total contida nas flutuações da velocidade do vento;
- Macroescala da componente longitudinal da turbulência, que está ligada às dimensões dos maiores turbilhões do vento incidente;
- Espectro de potência das flutuações, que vem a ser a transformada de Fourier da função de autocorrelação. Indica a distribuição, em frequência, da energia cinética contida nas flutuações.

Para o estudo do efeito estático deve-se considerar apenas as três primeiras características e para o efeito dinâmico as quatro características do vento descritas acima.

As características do vento natural são reproduzidas por elementos do túnel de vento localizados antes da seção de testes de acordo com cada tipo de estudo a ser realizado. Na fig. 4.2-1 é possível observar alguns destes elementos.

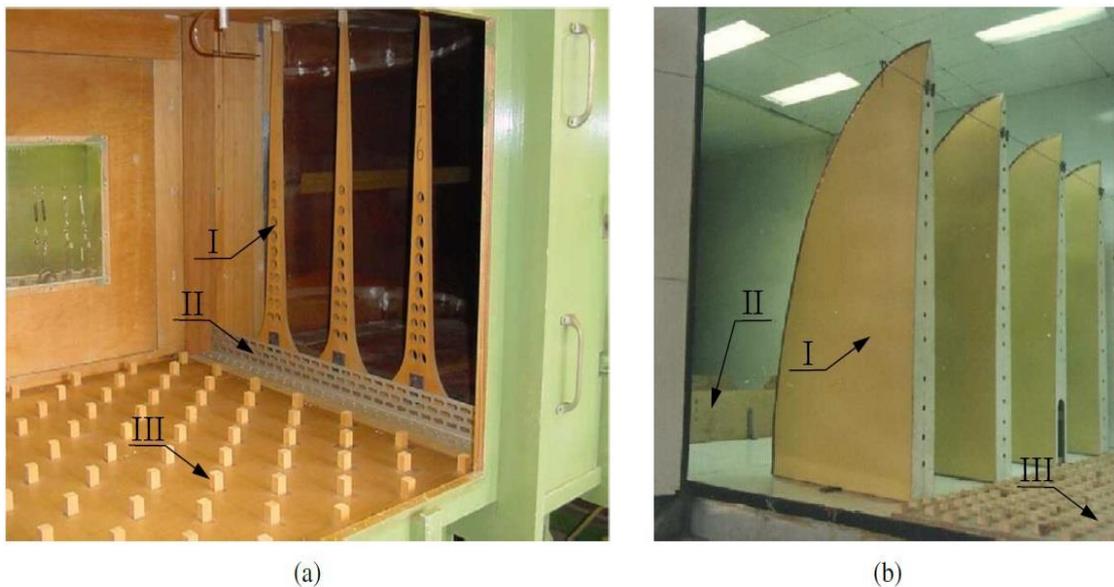


Figura 4.2-1 – Elementos para produzir rugosidade- a) Túnel de vento Prof. Joaquim Blessmann UFRGS; b) Túnel de vento Prof. Jacek P. Gorecki da UNNE (Bortoli et. al. 2018)

A função de cada um dos elementos vistos na fig. 4.2-1 acima são:

I- Aletas em forma de triângulo vazado ou do tipo barbatana de tubarão são responsáveis pelo perfil de velocidades médias, turbulência e vorticidade.

II- Barreira horizontal vazada ou não, fornece um déficit de quantidade de movimento ao nível do piso e altura à camada limite.

III- Blocos ao longo do piso do túnel para gerar turbulência. Esse elemento simula a rugosidade do terreno em torno do protótipo e prevista para o estudo.

Blessmann (2011) afirma que a principal fonte de turbulência de baixa altitude na simulação do vento natural está ligada aos blocos instalados no piso que reproduzem a rugosidade do terreno, o que causa uma redução na velocidade média do vento, caracterizando o perfil de velocidade média ao longo da altura em relação ao piso do túnel, que pode ser observado melhor na fig. 4.2-2.

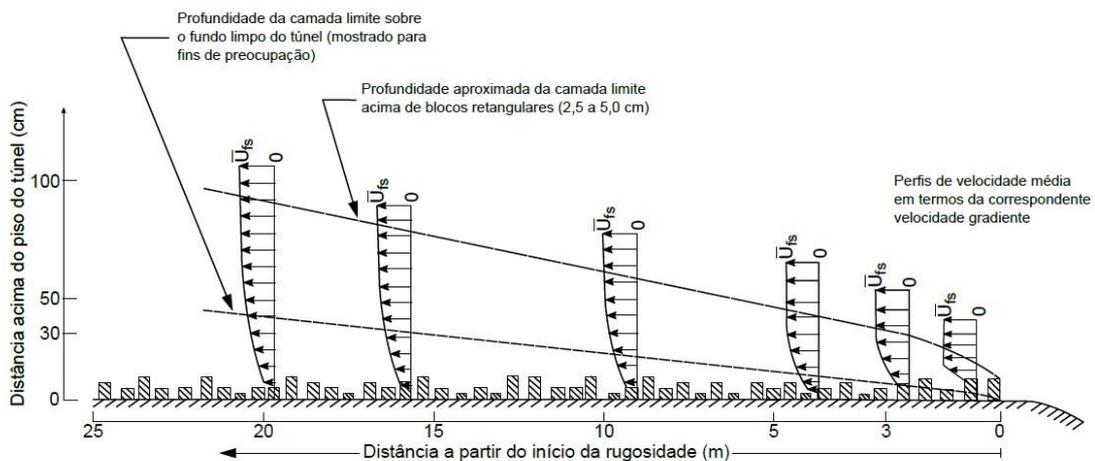


Figura 4.2-2 – Simulação do crescimento natural da camada limite atmosférica (Davenport e Isyumov, 1967)

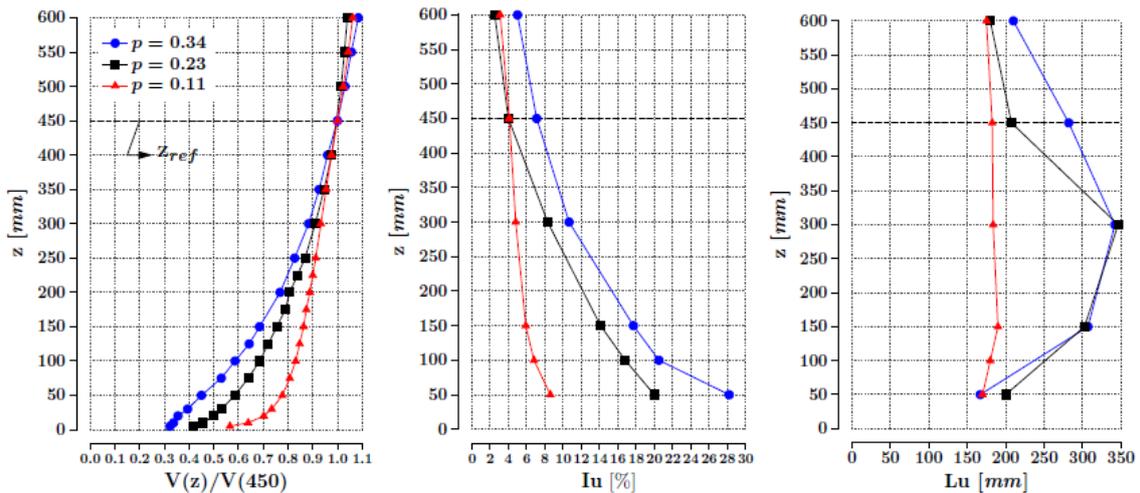
A eq. 4.1 representa a mudança da velocidade média do vento na seção do túnel de acordo com a cota da altura em relação ao nível do terreno, em que o perfil de velocidades médias do vento é definido pela variação da velocidade do ar em função da altura dentro da camada limite atmosférica que pode ser determinada por uma lei potencial, definida por Blessmann (1982).

$$\frac{V(z)}{V(z)_{ref}} = \left(\frac{z}{z_{ref}}\right)^p \quad (4.1)$$

Em que $\bar{V}(z)$ é a velocidade do vento ao longo da altura z da seção de testes do túnel; $V(z)_{ref}$ é a velocidade do vento em uma altura de referência z_{ref} ; e p é o expoente da lei potencial, que relaciona o perfil de velocidades médias com as categorias de terrenos.

A intensidade da turbulência atmosférica e a macro escala longitudinal da turbulência são dois fatores importantes na simulação do vento, e são determinados de acordo com o estudo a ser realizado, através de elementos geradores de turbulência afim de obter a situação mais próxima da realidade.

As características do vento simulado são apresentadas na fig. 4.2-3, para o perfil vertical de velocidades, para a intensidade do componente longitudinal de turbulência e a representação em macroescala da componente longitudinal da turbulência, para três categorias de terrenos representadas pelos expoentes de rugosidade $p = 0:11$, $p = 0:23$ e $p = 0:34$. Esses expoentes simulados no túnel de vento Professor Joaquim Blessmann correspondem, respectivamente, às Categoria I, entre as Categorias III e IV, e Categoria V apresentadas pela norma brasileira NBR 6123:2023. A fig. 4.2-4 apresenta os dispositivos de simulação do vento natural para diferentes camadas limite com expoente de rugosidade ($p = 0,11$; $p = 0,14$; $p 0,23$ e $p = 0,35$).

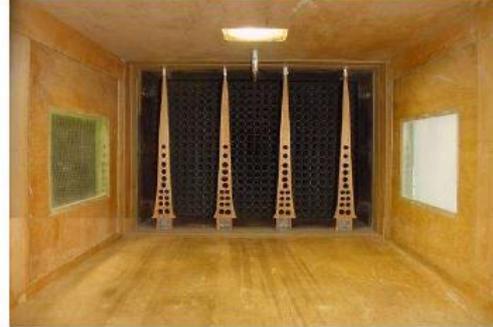


(a) Perfil vertical de velocidades médias (b) Intensidade da componente longitudinal da turbulência (c) Macroescala da componente longitudinal da turbulência

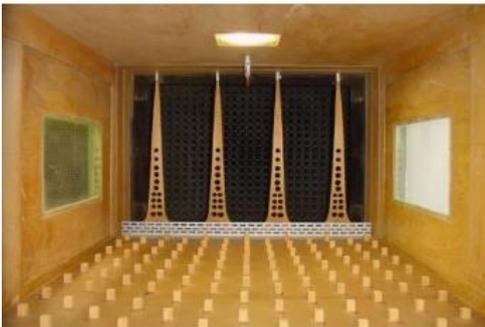
Figura 4.2-3 – Características do vento simulado – Lavôr (2023)



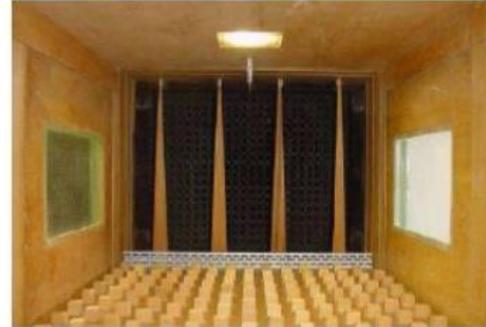
(a) $p = 0.11$



(b) $p = 0.14$



(c) $p = 0.23$



(d) $p = 0.34$

Figura 4.2-4 – Dispositivos de simulação do vento natural para diferentes camadas limite.

5. DESENVOLVIMENTO EXPERIMENTAL

Os efeitos da interferência de vizinhança nas distribuições de pressões devido ao vento podem ser analisados de forma global, quando se avalia as interferências nos esforços estáticos ou dinâmicos do edifício como um todo, ou de forma local, analisando a interferência em cada fachada ou em cada ponto de aferição de pressão. O presente estudo irá realizar uma análise individual de todos os pontos de aferição de pressão do modelo CAARC, seja quando o modelo estiver isolado ou em situações com inserção de um ou dois vizinhos, a fim de se determinar a interferência que edifícios vizinhos podem causar nas distribuições de pressões em cada região da fachada devido ao vento.

Foram utilizados os dados dos ensaios realizado por LAVÔR (2023) no túnel de vento Joaquim Blessmann, localizado no Laboratório de Aerodinâmica das Construções (LAC/UFRGS). O ensaio foi realizado com um modelo do edifício padrão CAARC, o qual é amplamente utilizado para estudos relacionados ao comportamento de edifícios altos devidos aos esforços provenientes do escoamento do vento.

O ensaio foi realizado com o CAARC isolado com angulação em função da incidência do vento, à 0° quando o vento incide na maior fachada $F1$ e com o CAARC à 90° , correspondente à incidência do vento na menor fachada $F2$. Para avaliar a interferência de vizinhança foram realizados ensaios com a inserção de um ou dois vizinhos ao redor do modelo padrão em que as posições destas edificações foram classificadas em alinhadas para as posições $A1$ e $A2$ (à 0° ou 90°), desalinhada para a posição $B1$ (à 0° ou 90°) e oblíqua para posição $C1$ (à 0° ou 90°), e para situação com duas vizinhanças manteve-se um vizinho fixo na posição $D2$ (à 0° ou 90°) e repetindo as outras posições. A fig. 5.1 apresenta a planta baixa com as posições do CAARC e da vizinhança, assim como a distância entre eixos das edificações em função da menor largura da fachada “B”.

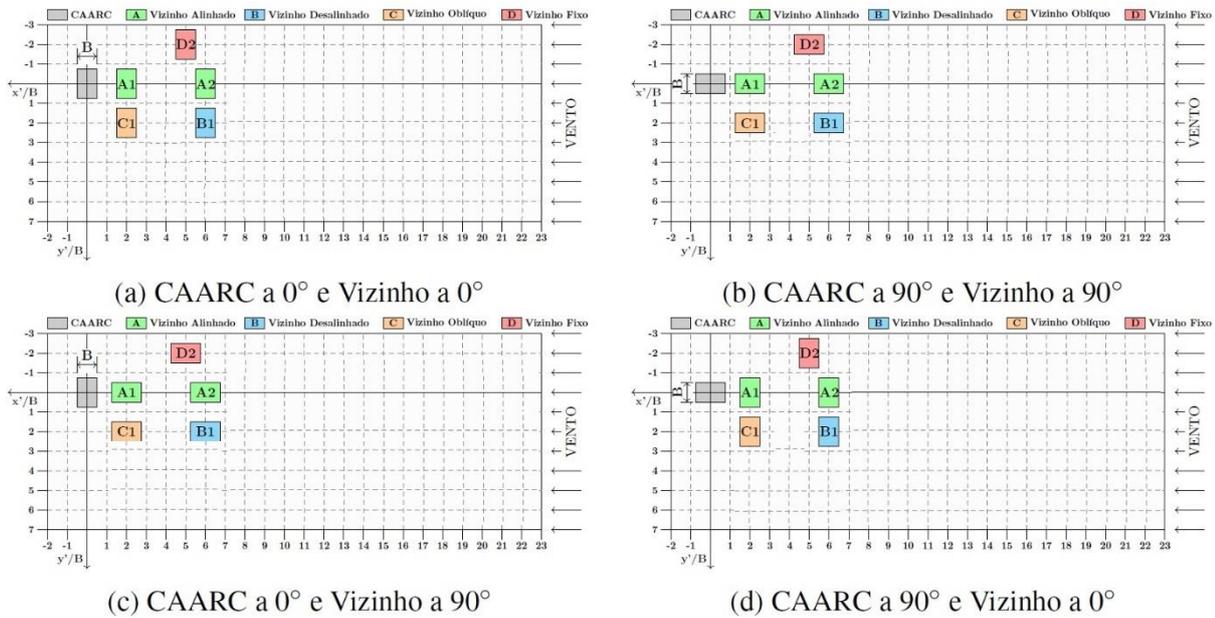


Figura 5-1 - Configurações de posicionamento de vizinhança ao redor do CAARC (adaptado de Lavôr 2023)

Para descrever o posicionamento do CAARC e da vizinhança de forma simples e compacta foram utilizadas siglas com a indicação da incidência do vento e qual a posição do vizinho foi utilizado no ensaio. A simulação realizada somente com o CAARC de forma isolada, foram utilizadas duas siglas $C0_ISO$ (CAARC à 0° isolado) e $C90_ISO$ (CAARC à 90° isolado). Nas situações com um ou dois vizinhos foram utilizadas as siglas conforme apresentadas na fig. 5.2 que indica o CAARC à 0° e os vizinhos $D2$ e $A2$ à 0°, descrito com a sigla $C0V0_D2_A2$.

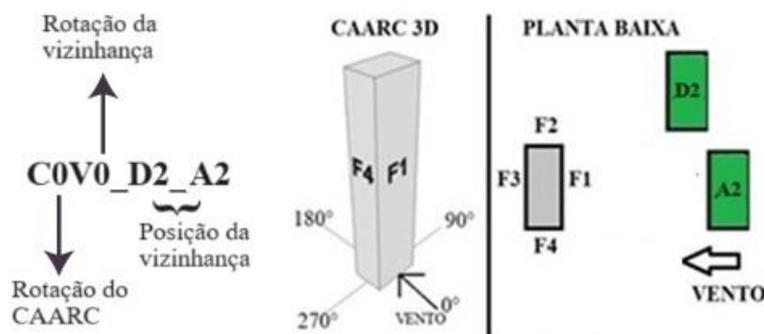


Figura 5-2 - Sigla de posicionamento do CAARC e do vizinho – $C0V0_D2_A2$

Das simulações em túnel de vento realizadas por Lavôr (2023), foram selecionados os dados de 34 configurações de posicionamento de vizinhança para analisar os efeitos de interferência nas distribuições de pressões nas fachadas. A tabela 1 apresenta as 34

configurações de posicionamento do CAARC e da vizinhança utilizados no desenvolvimento deste estudo.

Tabela 1 – Posicionamento do CAARC e da vizinhança ensaiada

C0_ISO	C0V0_A1	C0V90_A1	C90V0_A1	C90V90_A1
C90_ISO	C0V0_A2	C0V90_A2	C90V0_A2	C90V90_A2
	C0V0_B1	C0V90_B1	C90V0_B1	C90V90_B1
	C0V0_C1	C0V90_C1	C90V0_C1	C90V90_C1
	C0V0_D2_A1	C0V90_D2_A1	C90V0_D2_A1	C90V90_D2_A1
	C0V0_D2_A2	C0V90_D2_A2	C90V0_D2_A2	C90V90_D2_A2
	C0V0_D2_B1	C0V90_D2_B1	C90V0_D2_B1	C90V90_D2_B1
	C0V0_D2_C1	C0V90_D2_C1	C90V0_D2_C1	C90V90_D2_C1

5.1 COEFICIENTES DE FORMA E DE PRESSÃO MÉDIA DO CAARC DE ACORDO COM A NBR 6123:2023

A fig. 5.1-1 apresenta os coeficientes de forma das fachadas do modelo CAARC, obtidos de acordo com o procedimento descrito no item 2.2 com incidência do vento à 0° e 90°, em que as áreas das fachadas laterais descritas como AS1, BS1, CS1 e DS1, são zonas de alta sucção com coeficiente de pressão média de -1,20, com uma largura de $\frac{b}{5}$ ($\frac{30,48}{5}$), segundo os critérios da NBR 6123:2023.

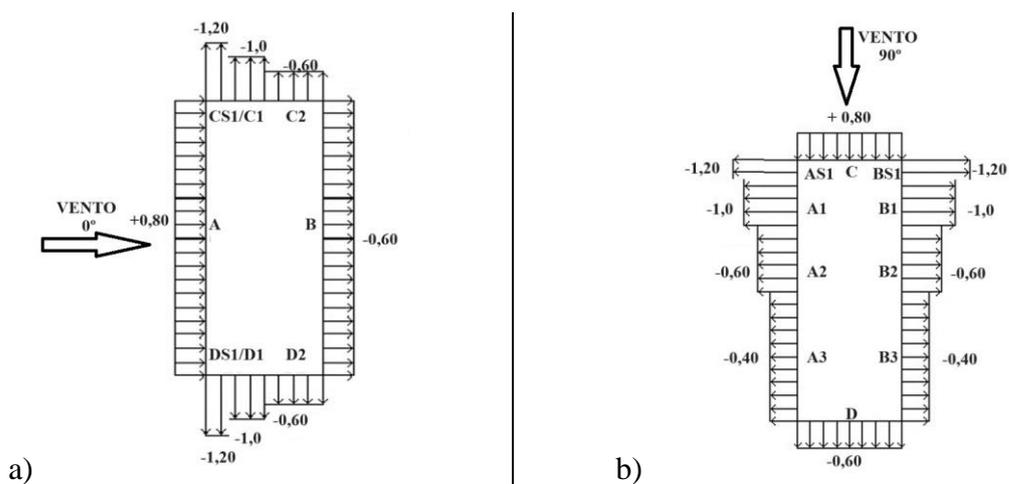


Figura 5.1-1 – Coef. de forma e de pressão média: a) Vento à 0°; b) Vento à 90°.

Para o vento incidente à 0° , as fachadas que possuem zonas de alta sucção são as fachadas $F2$ e $F4$, conforme ilustrado na fig. 5.1-2, e para o vento incidente à 90° as fachadas que possuem zonas de alta sucção são as fachadas $F1$ e $F3$, conforme ilustrado na fig. 5.1-3. Cada zona de alta sucção possui 20 pontos de tomada de pressão por fachada, localizados sempre na extremidade mais próxima da fachada de barlavento.

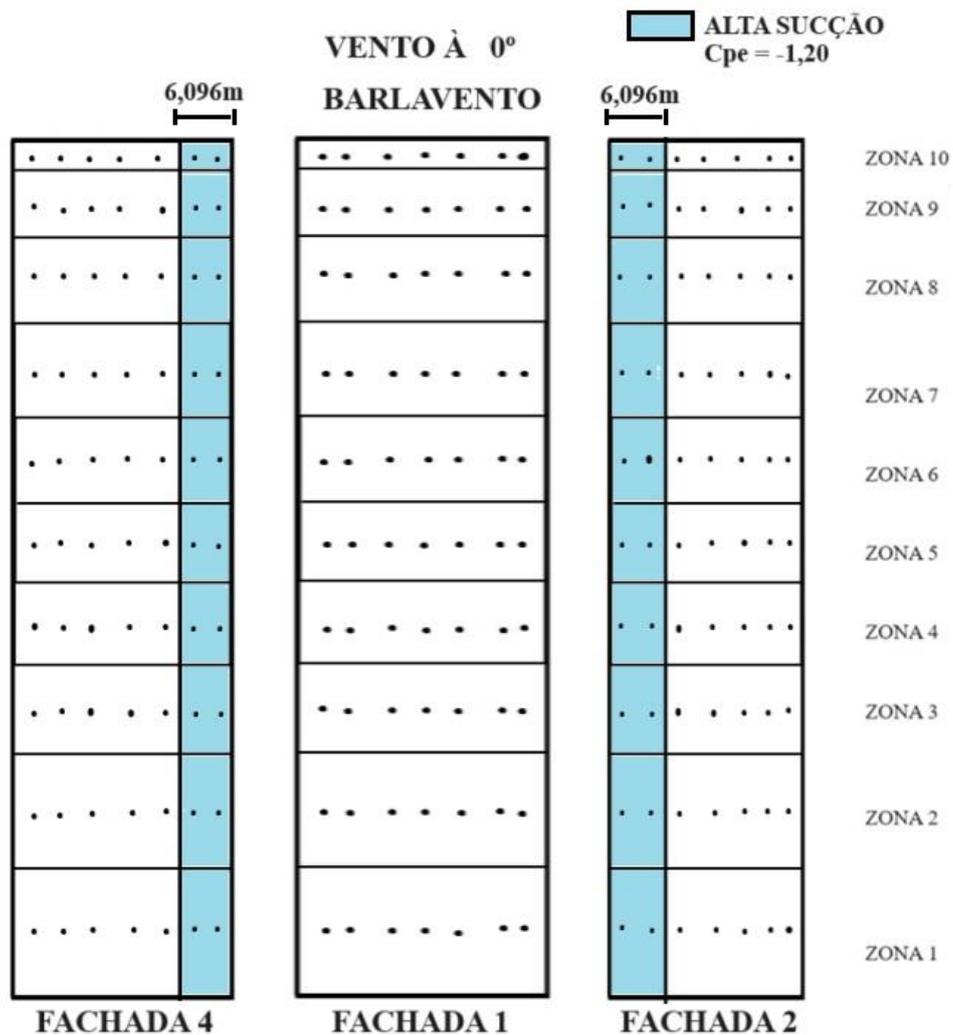


Figura 5.1-2 – Zona de alta sucção fachadas laterais F4 e F2 para vento incidindo à 0° .

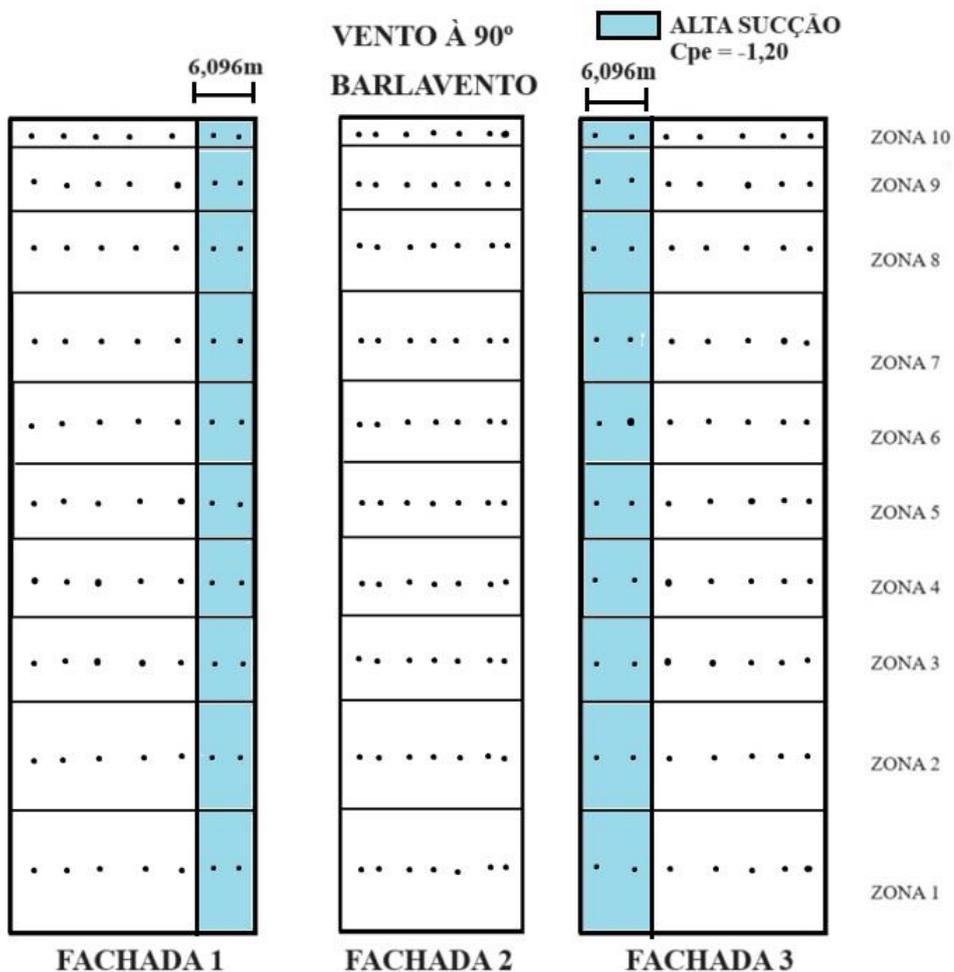


Figura 5.1-3 – Zona de alta sucção fachadas laterais F1 e F3 para vento incidindo à 90°.

O coeficiente de pressão externo é obtido a partir da pressão efetiva externa (Δp_e) em uma área muito pequena (“ponto”) da superfície de uma edificação ou estrutura. Já o coeficiente de forma externo é obtido quando se analisam as forças externas do vento a uma edificação em uma superfície plana de área A . Portanto, o coeficiente de forma do CAARC obtido pela NBR 6123:2023 apresentado na fig. 5.1-1 será utilizado como referência normativa dos coeficientes de pressões obtidos experimentalmente para cada ponto de aferição de pressão da fachada.

5.2 DETERMINAÇÃO DOS COEFICIENTES DE PRESSÕES MÉDIAS EXPERIMENTAIS

Os procedimentos experimentais foram realizados no túnel de vento Professor Joaquim Blessmann com posicionamento dos dispositivos de camada limite do perfil de velocidade do

vento para representar um terreno de rugosidade com expoente de rugosidade $p = 0,11$, com velocidade do vento aproximada de 25m/s e na posição do modelo padrão CAARC e da vizinhança na mesa de ensaio II.

Durante o ensaio as pressões instantâneas são registradas simultaneamente nos 280 pontos de tomadas de pressões das fachadas do CAARC por sensores, com uma taxa de aquisição de 512HZ, o que corresponde a 8192 leituras em aproximadamente 16 segundos, de modo a se estimar com precisão as respostas estáticas e dinâmicas no edifício padrão.

No túnel de vento de seção fechada, fig. 5.2-1, há a necessidade de se calcular a pressão estática de referência (Δpa) para cada registro, que é obtida pela diferença de pressão medida antes do cone de convergência (p_1) e na entrada da seção de testes (p_2), conforme apresentado na eq. 5.1.

$$\Delta pa = p_1 - p_2 \quad (5.1)$$

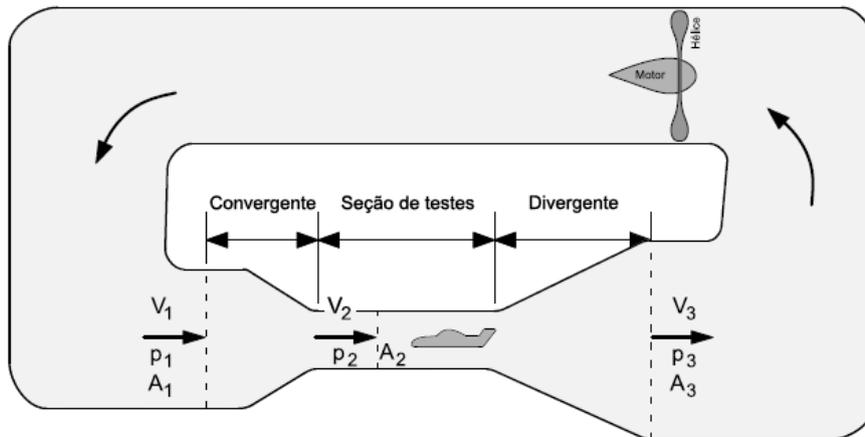


Figura 5.2-1 - Túnel de vento seção fechada

A pressão dinâmica é obtida experimentalmente a partir de vários parâmetros ao longo da altura da seção de testes, mas para simplificar este processo utiliza-se um fator de calibração do túnel de vento determinado como (K_0) relacionado com a pressão estática de referência, conforme apresentado na eq. 5.2, em que para cada registro de pressão será obtido uma pressão dinâmica (q). Para simplificar o processamento dos dados obtidos será utilizado no desenvolvimento do estudo a pressão dinâmica média (q_{med}), determinada na eq. 5.3.

$$q = K_0 \cdot \Delta p a \quad (5.2)$$

$$q_{med} = \frac{\sum_{i=1}^n q_i}{n \text{ leituras}} \quad (5.3)$$

O fator de calibração do túnel de vento é determinado em função de diversos parâmetros que modelam o perfil de velocidade na camada limite atmosférica. No túnel de vento Joaquim Blessmann para o expoente de rugosidade $p = 0,11$ utiliza-se $K_0 = 1,010$ e para $p = 0,23$, $K_0 = 1,185$. Portanto, neste estudo foi utilizado o fator de calibração $K_0 = 1,010$.

A partir dos registros de pressões são obtidas as pressões efetivas externas médias $(\Delta p_e, t)_{med}$ e o coeficientes de pressões externos $(C_{pe, t})_{med}$ por meio das eq. 5.4 e 5.5, para cada ponto de aferição de pressão instalado no CAARC. Devido à complexidade e extensão dos procedimentos de cálculo, foi elaborado uma rotina de cálculo em um programa numérico para processar os valores obtidos nos ensaios para cada ponto de tomada de pressão para analisar os efeitos de interferência da vizinhança aplicando todas as equações apresentadas neste estudo.

$$(\Delta p_e, t)_{med} = \frac{\sum_{i=1}^n \Delta p_{e,i}}{n \text{ leituras}} \quad (5.4)$$

$$(C_{pe, t})_{med} = \frac{(\Delta p_e, t)_{med}}{q_{med}} \quad (5.5)$$

A rotina de cálculo elaborada organizou os dados preliminares para cada configuração de vizinhança em uma única matriz de (280x8192), sendo 280 pontos de tomada de pressão e 8192 leituras de pressão realizadas em cada ponto durante um intervalo aproximado de 16 segundos. Posteriormente com a utilização das eq. 5.4 e 5.5 foi calculado uma segunda matriz de (280x1) dos coeficientes de pressões médias $(C_{pe, t})$, com “t” variando de 1 a 280 referentes aos pontos de tomada de pressão do CAARC.

O edifício padrão, CAARC, possui quatro fachadas, estas divididas em 10 zonas, sendo a zona 1 mais próxima da base da estrutura e a zona 10 mais próxima do topo. A partir do registro matricial de (280x1) dos coeficientes de pressões médias, há uma reorganização dos dados para representar quatro matrizes de (10x7), cada matriz correspondente a uma fachada, cada linha da matriz correspondendo a uma zona da fachada, cada zona com sete pontos de tomada de

pressão. Esta rotina de cálculo foi repetida para o modelo isolado (sem vizinhos) e para os modelos com as vizinhanças nas posições apresentadas neste estudo.

Após o processamento da rotina de cálculo para as 34 configurações de vizinhança analisadas, os dados matriciais dos coeficientes de pressões médias foram representados com gráficos de barras. A fig. 5.2-2 apresenta um exemplo gráfico de barras para o modelo CAARC à 0° isolado da fachada *F1*, com uma barra horizontal que indica o maior coeficiente de forma (C_e) obtido normativamente para cada fachada, 10 zonas nos eixos das abscissas, 7 barras verticais em cada zona, cada barra vertical correspondendo a um coeficiente de pressão média. Desta forma foi possível realizar uma análise comparativa dos coeficientes de forma obtidos pela NBR6123:2023 com os coeficientes de pressões médias obtidos de forma experimental, observando exatamente quais regiões possuem maiores esforços solicitantes devido ao vento.

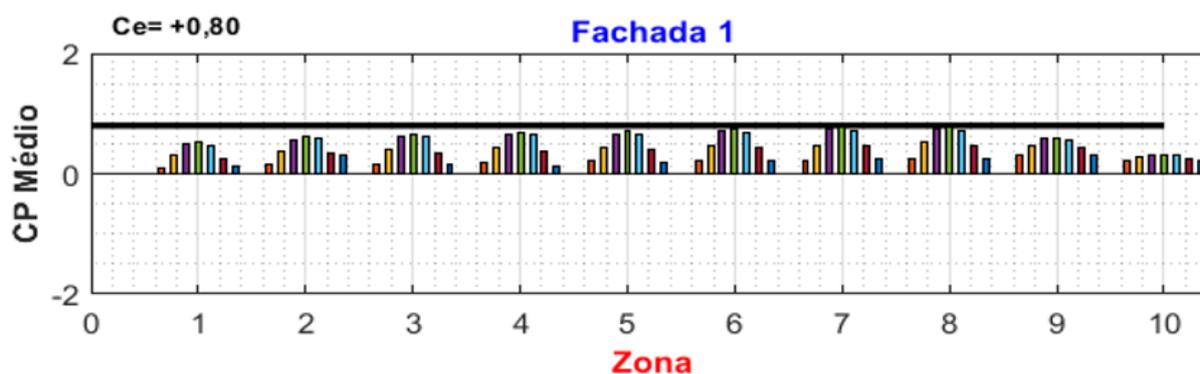


Figura 5.2-2 – Coeficientes de pressões médias por tomada de pressão. C0_ISO

5.3 COEFICIENTES DE PRESSÕES MÉDIAS E DE PICO POR REGIÕES

Os coeficientes de pressão de pico obtidos estatisticamente não apresentam boa representatividade quando são definidos para cada ponto de tomada de pressão individualmente, pois o pico de pressão não ocorre em todos os pontos simultaneamente durante a vida útil de um edifício, pois fatores como incidência do vento e posicionamento de vizinhança são parâmetros de grande complexidade. Portanto, foi necessária uma abordagem diferente para obter a melhor representação dos coeficientes pressão de pico, realizando uma nova divisão em 12 regiões da fachada, agrupando 4, 6 ou 9 pontos de tomada de pressão para cada região.

Para corresponder adequadamente a nova divisão da fachada para os coeficientes de pressões de pico reorganizou-se as 10 zonas das fachadas em 4 faixas, cada faixa com 3 regiões

de agrupamento de pontos de tomada de pressão, totalizando para cada fachada 12 regiões. A fig. 5.3-1 indica a nova divisão para cada fachada, com as regiões 1, 3, 10 e 12 com agrupamento de 4 pontos de tomada de pressão cada, já as regiões 2, 4, 6, 7, 9 e 11 possuem 6 pontos de tomada de pressão cada e por fim as regiões 5 e 8 possuem 9 pontos de tomada de pressão cada.

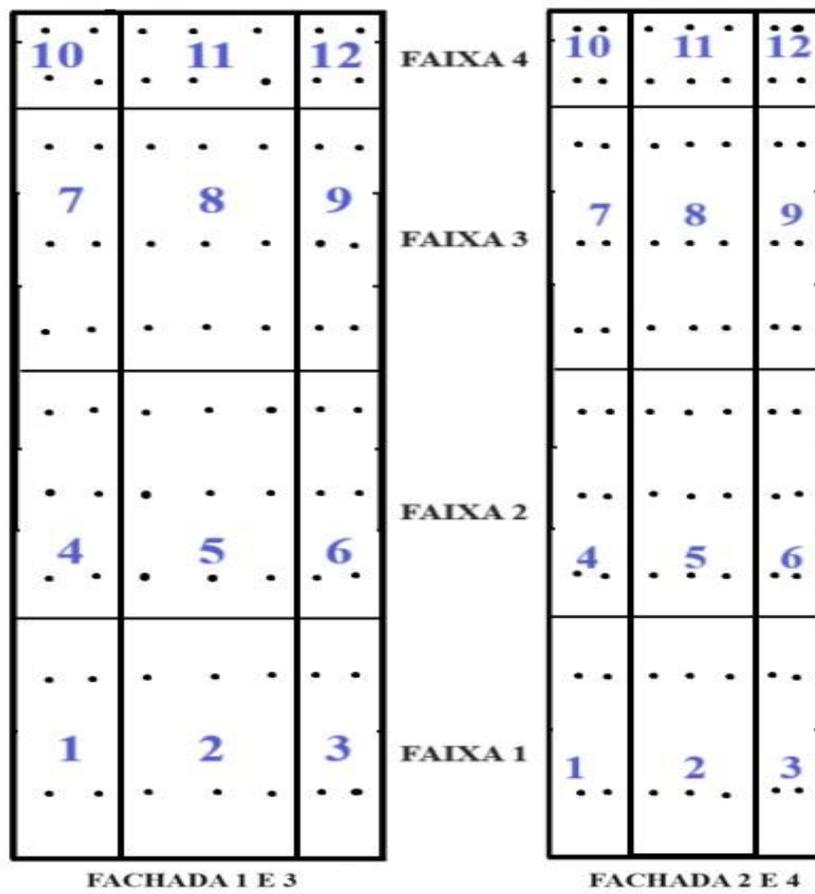


Figura 5.3-1 - Agrupamento de tomadas de pressão por região de máximos.

Cada ponto de tomada de pressão da fachada está associado a uma área de influência (A, t) , a qual é determinada a partir do ponto médio de uma tomada a outra nas quatro direções, conforme indicado em azul na fig. 5.3-2. Cada ponto de tomada de pressão possui uma área de influência diferente e, portanto, necessita ser calculada individualmente, tendo equivalência de área em pontos equidistantes das extremidades da fachada.

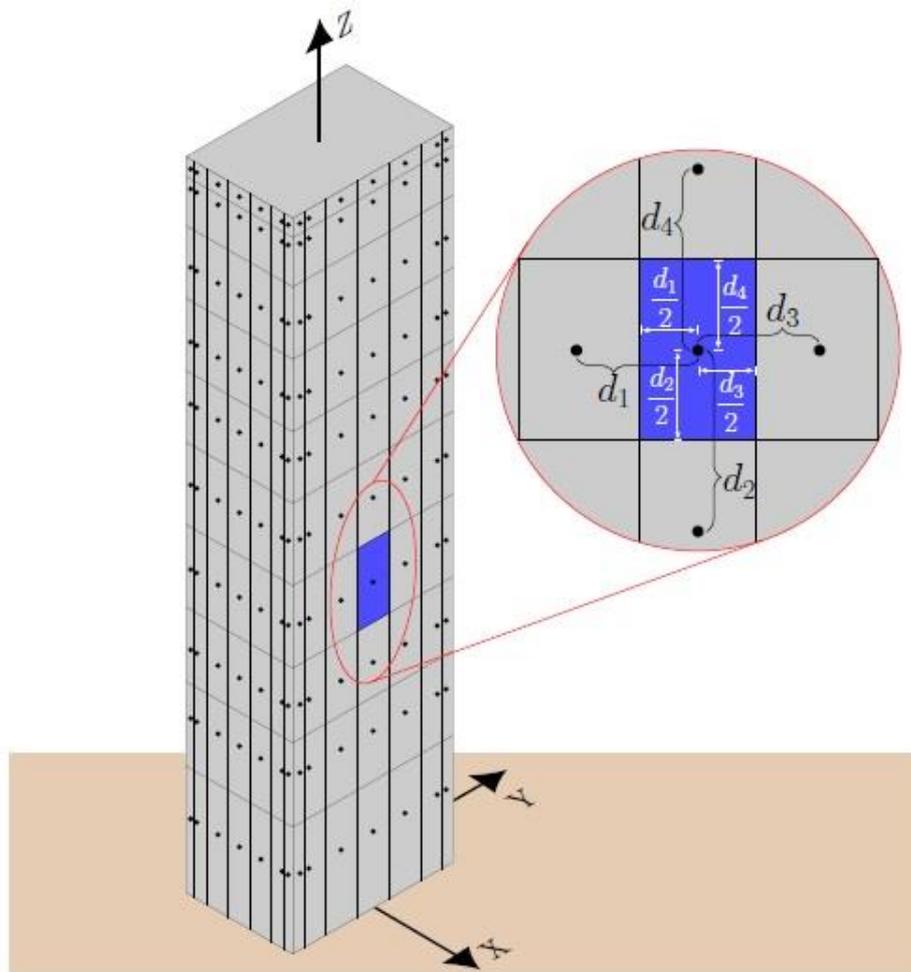


Figura 5.3-2 - Área de influência de um ponto de tomada de pressão do CAARC (Lavôr 2023)

Para obter os coeficientes de pressões médias por regiões ($C_{pmp,r}$), com “r” variando de 1 a 12 para cada fachada, será necessário recorrer ao cálculo de médias ponderadas definido pela eq. 5.6. Os Coeficientes de pressões médias ($C_{pe,t}$) foram determinados no item 5.2 e as área de influências (A,t) determinadas para os 280 pontos de pressão do CAARC, e, portanto, a eq. 5.6 foi inserida na rotina de cálculo para cada ensaio realizado.

$$C_{pmp,r} = \frac{\sum_i^n (C_{pe,t} \times A,t)}{\sum_i^n (A,t)} \quad (5.6)$$

Com “n” sendo a quantidade de tomadas de pressão da região selecionada.

A rotina de cálculo forneceu os resultados dos coeficientes de pressões médias por regiões através de matrizes, as quais foram representadas por gráficos de barras para melhor

compreensão e análise dos dados obtidos. A fig. 5.3-3 apresenta um exemplo dos coeficientes de pressões médias para o CAARC à 0° e o vizinho A1 à 0°, em que foi utilizado como referência normativa uma barra horizontal preta indicando o maior coeficiente de forma (C_e) da fachada.

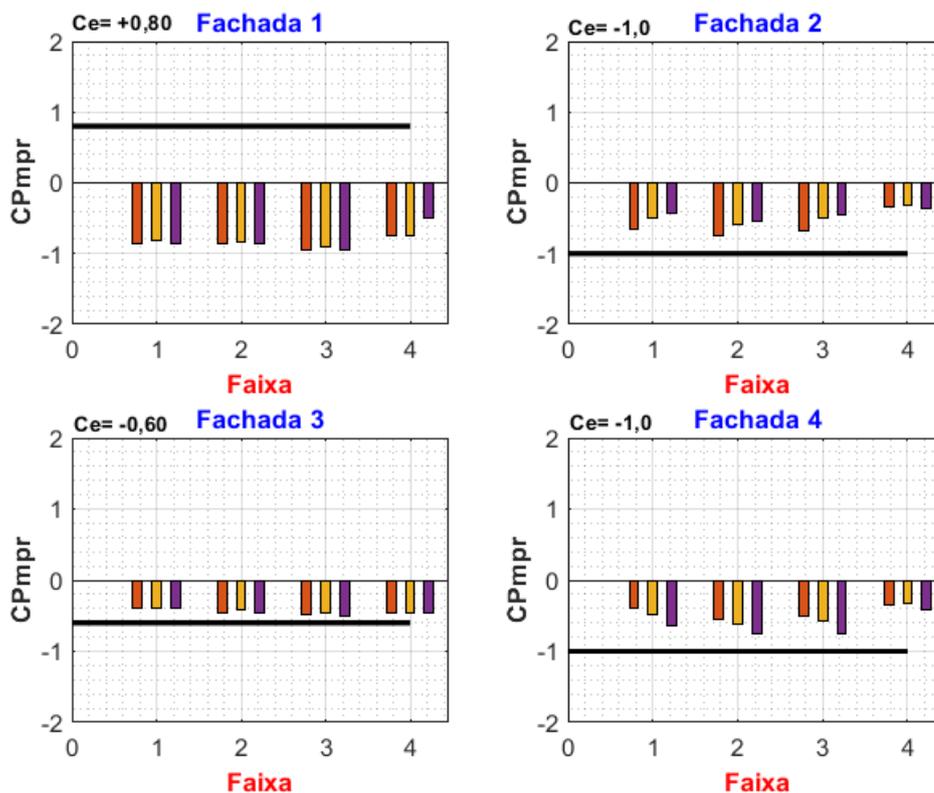


Figura 5.3-3 - Coeficientes de pressões médias por regiões – C0V0_A1

5.3.1 DETERMINAÇÃO DO COEFICIENTE DE PRESSÃO DE PICO POR REGIÃO – MÉTODO DE DAVENPORT

A determinação de um coeficiente de pressão de pico com representatividade adequada para a vida útil de uma edificação é um grande desafio para a engenharia, pois os esforços do vento apresentam muitos parâmetros a serem considerados de forma estatística e neste estudo optou-se pela utilização do método de Davenport (1967).

O presente estudo aplicou as eq. 2.6 e 2.7 na rotina de cálculo desenvolvida em programa numérico e para obter os valores mais adequados de pico, e, portanto, foram utilizados os dados referentes aos coeficientes de pressões médias por região, determinando 12 coeficientes de pico por fachada. Os coeficientes de pressões médias por regiões podem ser positivos para sobrepressões ou negativos para sucções, portanto há a necessidade de se adaptar a eq. 2.7 para as equações 5.7 e 5.8 e implementar estas equações na rotina de cálculo. O desvio padrão médio

por região $\sigma_{mpr,r}$ é determinado por meio do registro médio ponderado obtido para cada região.

Se, $C_{pmpr,r} > 0$, então

$$C_{pico,pr,r} = C_{pmpr,r} + g \cdot \sigma_{mpr,r} \quad (5.7)$$

Se, $C_{pmpr,r} < 0$, então

$$C_{pico,pr,r} = C_{pmpr,r} - g \cdot \sigma_{mpr,r} \quad (5.8)$$

O fator de pico g é obtido numericamente com a frequência natural $fn = 0,20$ e o período $T = 600s$, portanto, aplicando a eq. 2.6 é obtido:

$$g = \sqrt{(2 \cdot \ln(fn \cdot T))} + \frac{\gamma}{\sqrt{(2 \cdot \ln(fn \cdot T))}}$$

$$g = \sqrt{(2 \cdot \ln(0,20 \cdot 600))} + \frac{0,5772}{\sqrt{(2 \cdot \ln(0,20 \cdot 600))}}$$

$$g = 3,28$$

Os coeficientes de pressão de pico por região não são representados graficamente, mas são analisados a partir dos Fatores de Vizinhança F_v para determinar os efeitos de vizinhanças produzidos nas distribuições de pressões, observando assim como a vizinhança é capaz de influenciar nos picos de pressão.

5.4 DETERMINAÇÃO DOS FATORES DE VIZINHANÇA EXPERIMENTAL

Quando um edifício está inserido em uma vizinhança com um ou mais vizinhos, estes podem influenciar nos esforços solicitantes devido ao vento de forma desfavorável, e, portanto, há a necessidade de fazer correções nos coeficientes aerodinâmicos calculados inicialmente. A NBR 6123:2023 determina no item 6.4.4 dois procedimentos para determinação do fator de

vizinhança, um de acordo com a distância entre as edificações, e o segundo procedimento a partir dos coeficientes obtidos experimentalmente.

Para obter uma representação mais adequada dos efeitos de interferência de vizinhança, foram realizados os cálculos dos fatores de vizinhanças para os coeficientes de pressões médias por regiões e para os coeficientes de pressões de pico por regiões. Portanto, foi determinado um Fator de Vizinhança do coeficiente de pressão média por região ($F_v, C_{pmpr, r}$), definido na eq. 5.9 e um Fator de Vizinhança do coeficiente de pressão de pico por região ($F_v, C_{pico, pr, r}$), definido na eq. 5.10. Os resultados dos Fatores de Vizinhança são representados em módulo, pois há situações que os coeficientes de pressões médias e de pico por região podem indicar uma pressão de sinal oposto ao valor indicado no edifício isolado.

$$F_v, C_{pmpr, r} = \left| \frac{C_{pmpr, r} \text{ do edifício com vizinhança}}{C_{pmpr, r} \text{ do edifício isolado}} \right| \quad (5.9)$$

$$F_v, C_{pico, pr, r} = \left| \frac{C_{pico, r} \text{ do edifício com vizinhança}}{C_{pico, r} \text{ do edifício isolado}} \right| \quad (5.10)$$

Devido a quantidade de dados a serem processados foram implementados na rotina de cálculo as eq. 5.9 e 5.10 para determinação das matrizes dos Fatores de Vizinhança para cada configuração de posicionamento de vizinhos. Portanto, para representar o resultado obtido para cada fachada foi utilizado o gráfico de barras para compreender, interpretar e analisar os efeitos de interferência de vizinhança nas distribuições de pressões nas fachadas do CAARC devido ao vento.

A representação gráfica dos fatores de vizinhança indica duas barras horizontais de referência da NBR6123:2023 com valor mínimo ($F_v, \min = 1,0$) e máximo ($F_v, \max = 1,3$), estes determinados a partir do distanciamento entre as edificações e a largura da menor fachada. As barras verticais indicam os fatores de vizinhanças dos coeficientes de pressões médias por regiões ou dos coeficientes de pressões de pico por região. A fig. 5.4-1 indica os fatores de vizinhança dos coeficientes de pressões médias por regiões ($F_v, C_{pmpr, r}$) e a fig. 5.4-2 indica os fatores de vizinhança dos coeficientes de pressões de pico por regiões ($F_v, C_{pico, pr, r}$) para o ensaio realizado com o CAARC à 0° e o vizinho A1 à 0°.

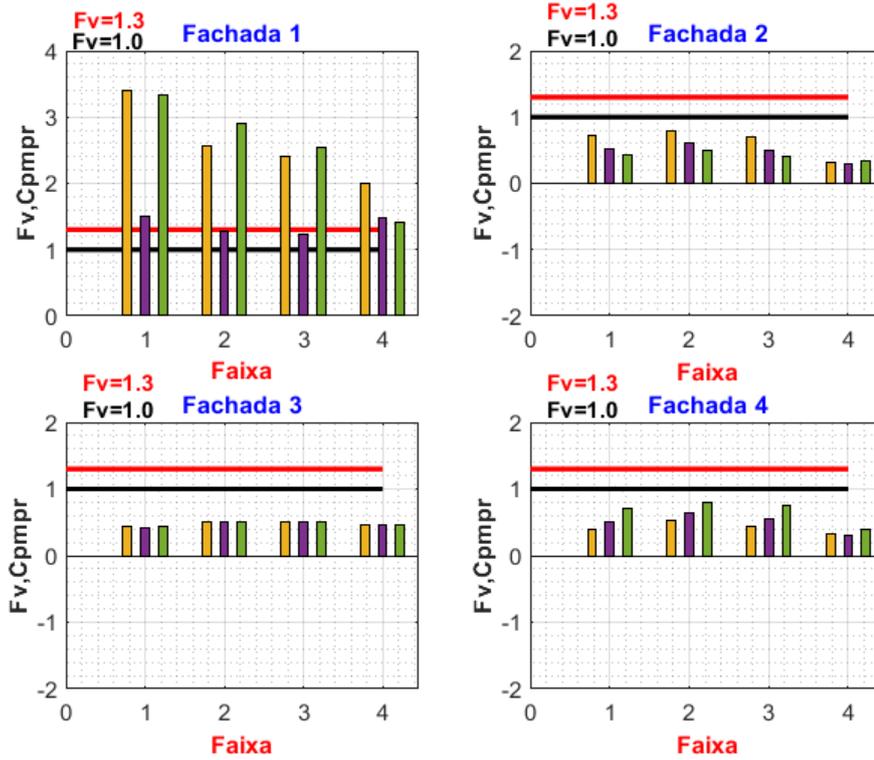


Figura 5.4-1 - Fator de vizinhança dos coef. de pressões médias por regiões – C0V0_A1

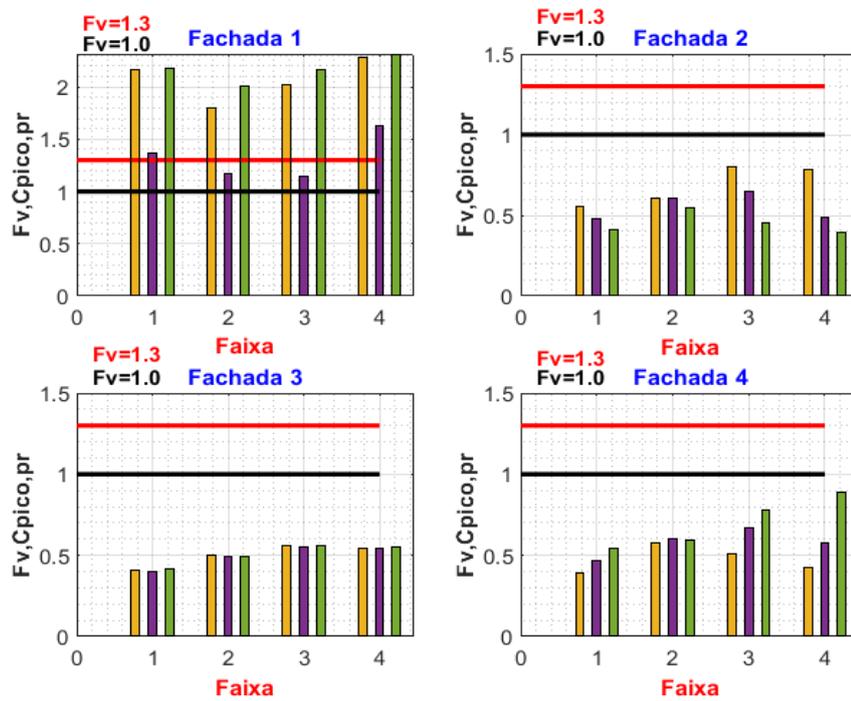


Figura 5.4-2 - Fator de vizinhança dos coef. de pressões de pico por regiões – C0V0_A1

6. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Para obter uma melhor representação técnica da interferência da vizinhança nas distribuições de pressões médias e de pico de forma ser possível uma avaliação, comparação normativa, e validação do estudo utilizou-se o gráfico de barras verticais. Serão apresentados os resultados de quatro situações distintas, a primeira será a representação gráfica dos coeficientes de pressões médias para cada um dos 280 pontos de tomada de pressão, a segunda representação será dos coeficientes de pressões médias por região, a terceira será dos fatores de vizinhança dos coeficientes de pressões médias por região e a quarta será dos fatores de vizinhança dos coeficientes de pressões de pico por região.

Devido a quantidade de resultados obtidos, foi selecionado para compor a parte principal do trabalho os casos mais relevantes, os demais casos constam no apêndice.

6.1 COEFICIENTES DE PRESSÕES MÉDIAS POR TOMADA DE PRESSÃO

No gráfico de barras dos coeficientes de pressões médias por tomada é possível observar o comportamento do escoamento do vento, as zonas mais solicitadas e as mudanças dos esforços atuantes do vento quando há inserção de um ou dois vizinhos. Para obter uma comparação com a NBR6123:2023 representou-se por uma barra horizontal preta o maior coeficiente de forma da fachada do CAARC, determinado no item 5.1. As fig. 6.1.1 e 6.1.2 apresentam respectivamente a situação com CAARC à 0° isolado e do CAARC à 90° isolado dos coeficientes de pressões médias por tomada.

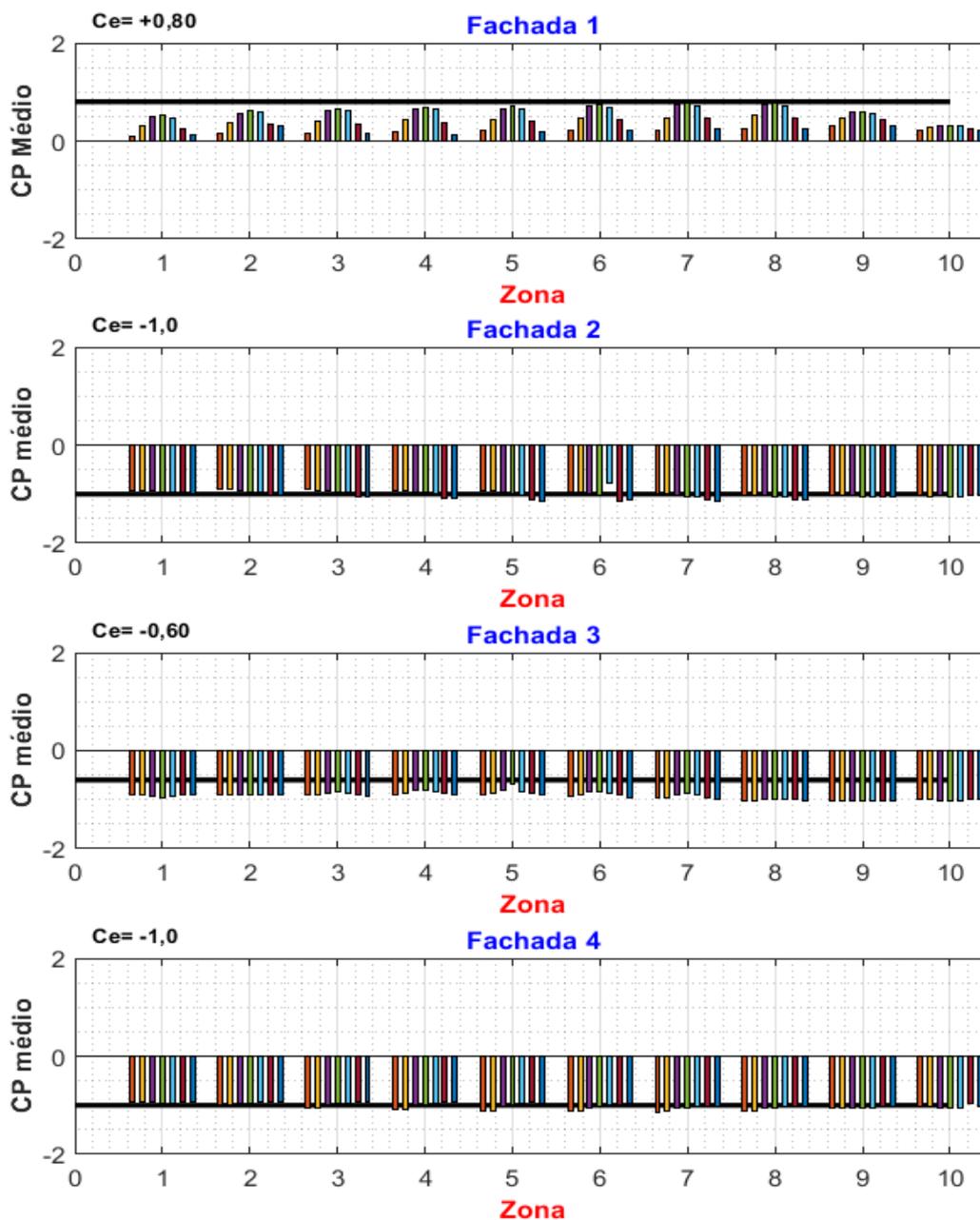


Figura 6.1-1 - Gráfico dos coeficientes de pressões médias por tomada – C0_ISO.

Os coeficientes de pressões médias apresentados para a situação do CAARAC à 0° isolado nas fachadas $F1$, $F2$ e $F4$ não ultrapassaram os coeficientes de forma máximo normativos, apresentando boa representatividade. Para a fachada $F3$ a norma indica um coeficiente de forma $C_e = -0,60$, enquanto os resultados experimentais apresentaram coeficientes de pressões médias $C_{pe,med} = -1,0$, resultado este aproximadamente 60% superior quando comparado com a NBR6123:2023.

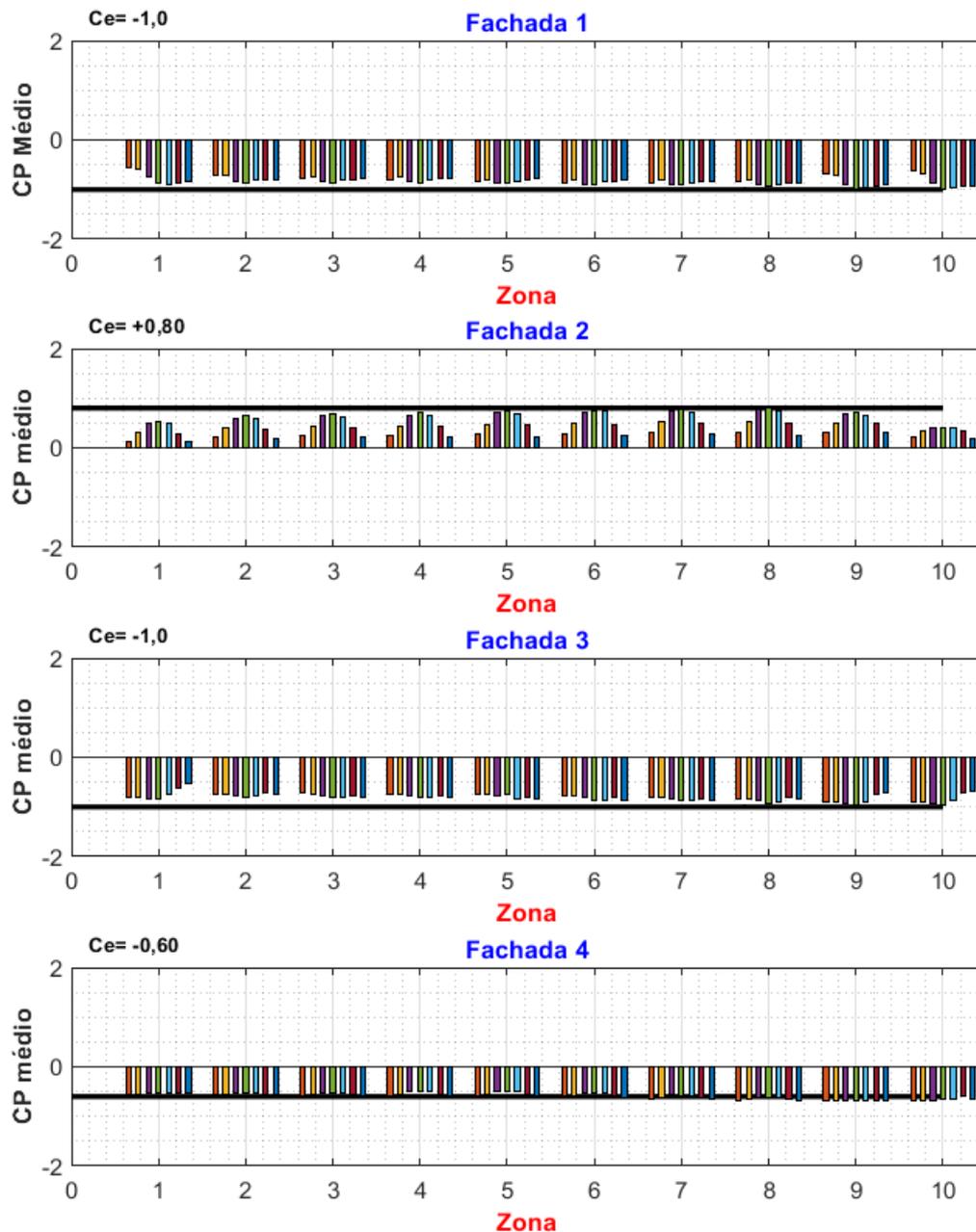


Figura 6.1-2 - Gráfico dos coeficientes de pressões médias por tomada – C90_ISO

O posicionamento do CAARC à 90° isolado apresentou coeficientes de pressões médias praticamente equivalentes aos maiores coeficientes de forma das fachadas, demonstrando boa representatividade.

Os gráficos dos ensaios apresentados posteriormente nos itens 6.1.1 até 6.1.4 serão discutidos e comparados com os ensaios experimentais do modelo isolado, além de ter a NBR6123:2023 como referência através dos coeficientes de forma de cada fachada.

6.1.1 Coeficiente de pressão média por tomada – CAARC à 0° e vizinho à 0°

As fig. 6.1.3 e 6.1.4 apresentam respectivamente os ensaios com os vizinhos alinhados A1 e A2 à 0°.

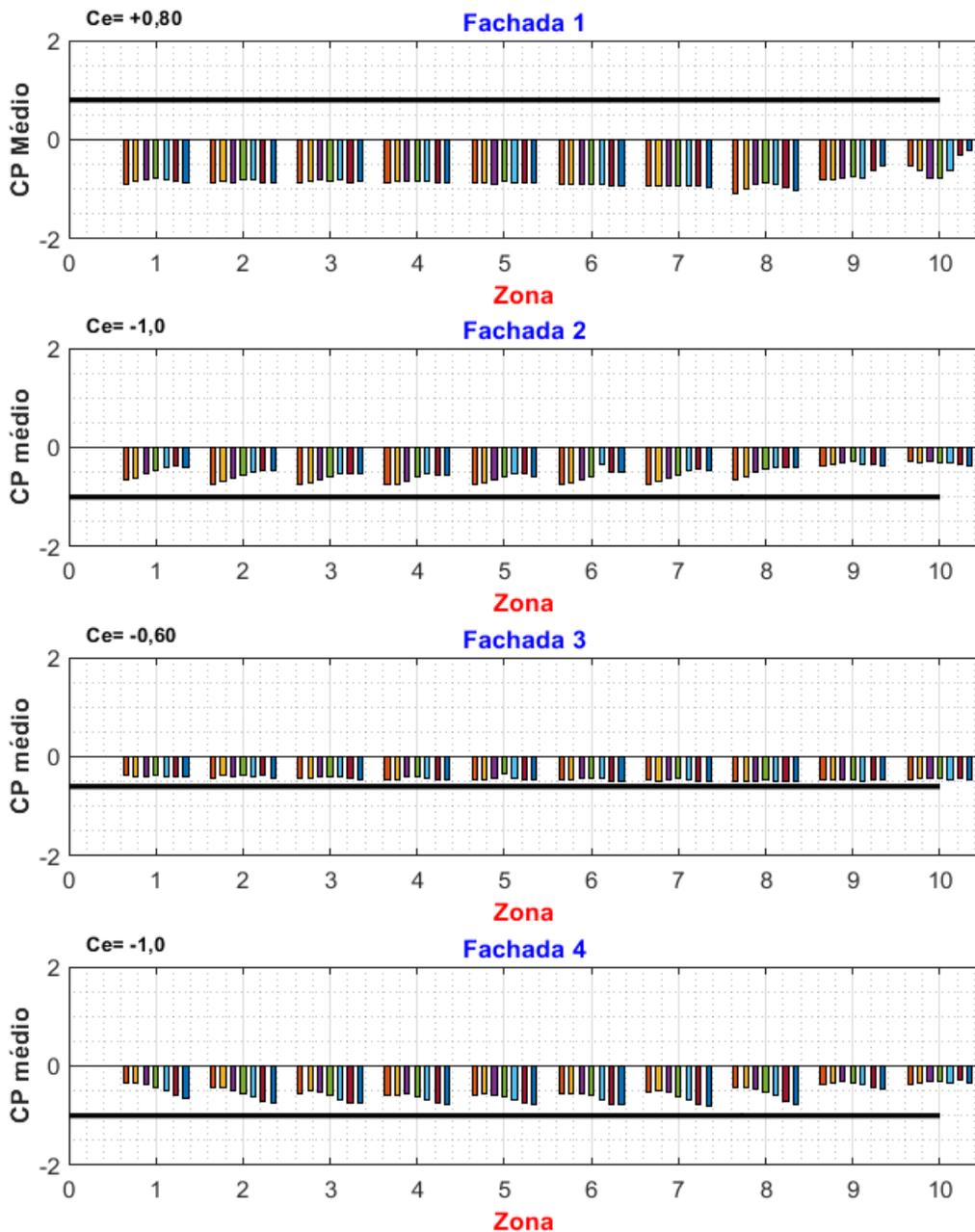


Figura 6.1-3 - Coeficientes de pressões médias por tomada – C0V0_A1

Com a inserção do vizinho A1 do ensaio na configuração C0V0_A1, houve a redução dos coeficientes de sucções das fachadas F2, F3 e F4, quando comparado com o ensaio isolado, atentando-se a redução de aproximadamente 50% dos coeficientes de pressões médias da fachada F3, resultando agora em valores inferiores à referência normativa do coeficiente de

forma $C_e = -0,60$. Na fachada de barlavento, $F1$, aconteceu uma grande interferência, pois o modelo CAARC está posicionado na esteira de turbulência do edifício $A1$, portanto devido a proximidade das faces essa região fica sujeita a grandes esforços de sucção, apresentando coeficientes de pressões médias de até $C_{pe,med} = -1,0$, deixando a fachada $F1$ de um edifício mais suscetível a arrancamento ou desprendimento de vedações.

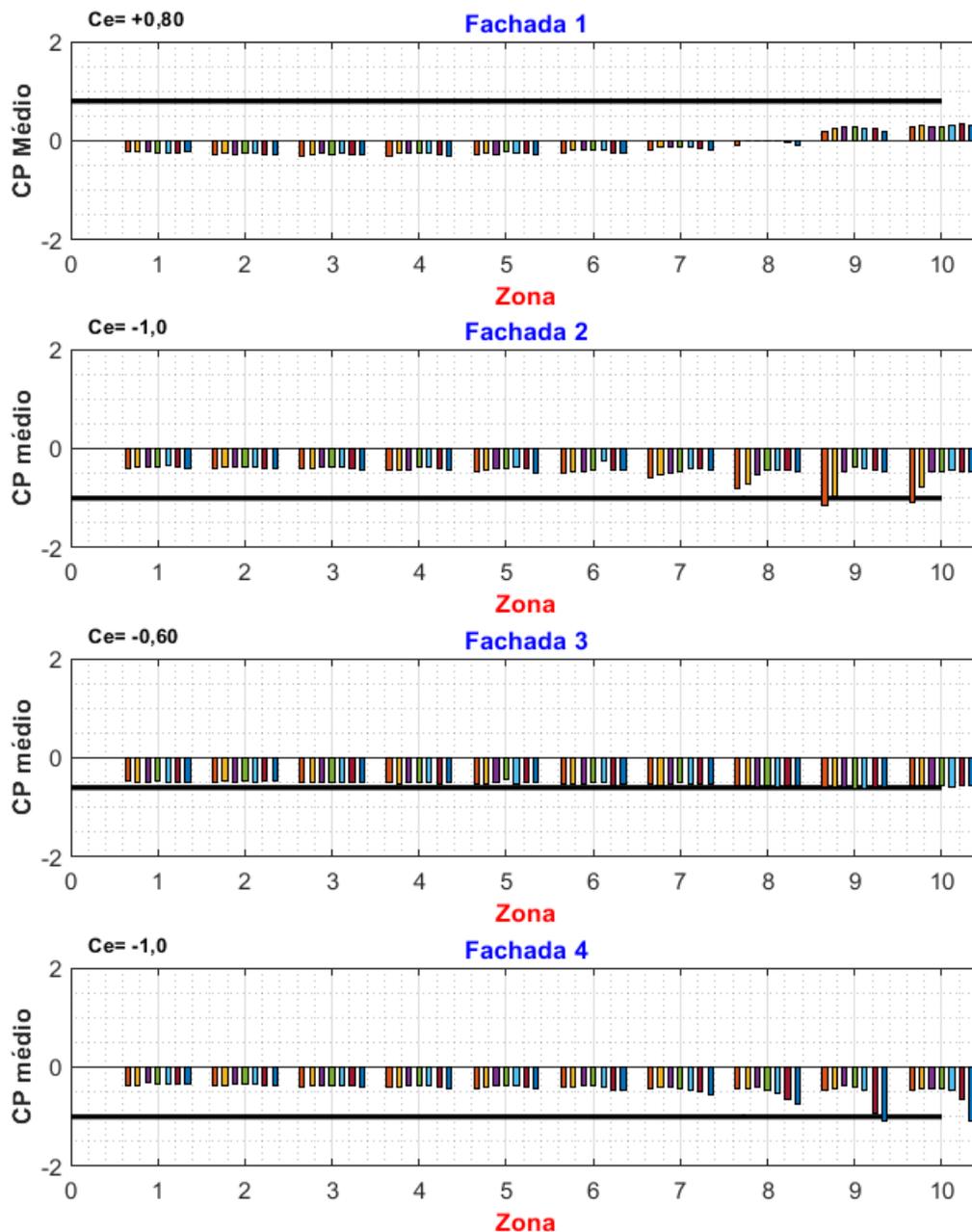


Figura 6.1-4 - Coeficientes de pressões médias por tomada – C0V0_A2

Analisando a configuração de vizinhança $C0V0_A2$, observa-se que o distanciamento das faces entre o CAARC e o edifício vizinho na posição $A2$ reduziram os efeitos da esteira de

turbulência, reduzindo conseqüentemente os coeficientes de pressões médias de sucções da fachada *F1*, apresentando inclusive na zona 9 e 10 do topo esforços de sobrepressão, enquanto nas zonas de 1 a 7 os coeficientes de pressões médias ficaram entre $C_e = -0,1$ e $-0,30$. Nas zonas de alta sucção das fachadas *F2* e *F4* houve dois pontos com valores próximos de $C_{pe,med} = -1,10$ estando dentro da faixa prevista pela NBR6123:2023 na tabela 6, que descreve um $C_{pe,med} = -1,20$.

6.1.2 Coeficiente de pressão média por tomada – CAARC à 0° e vizinho à 90°

As fig. 6.1-5 e 6.1-6, apresentam os coeficientes de pressões médias por tomada para a configuração de vizinhança *C0V90_B1* e *C0V90_C1* respectivamente.

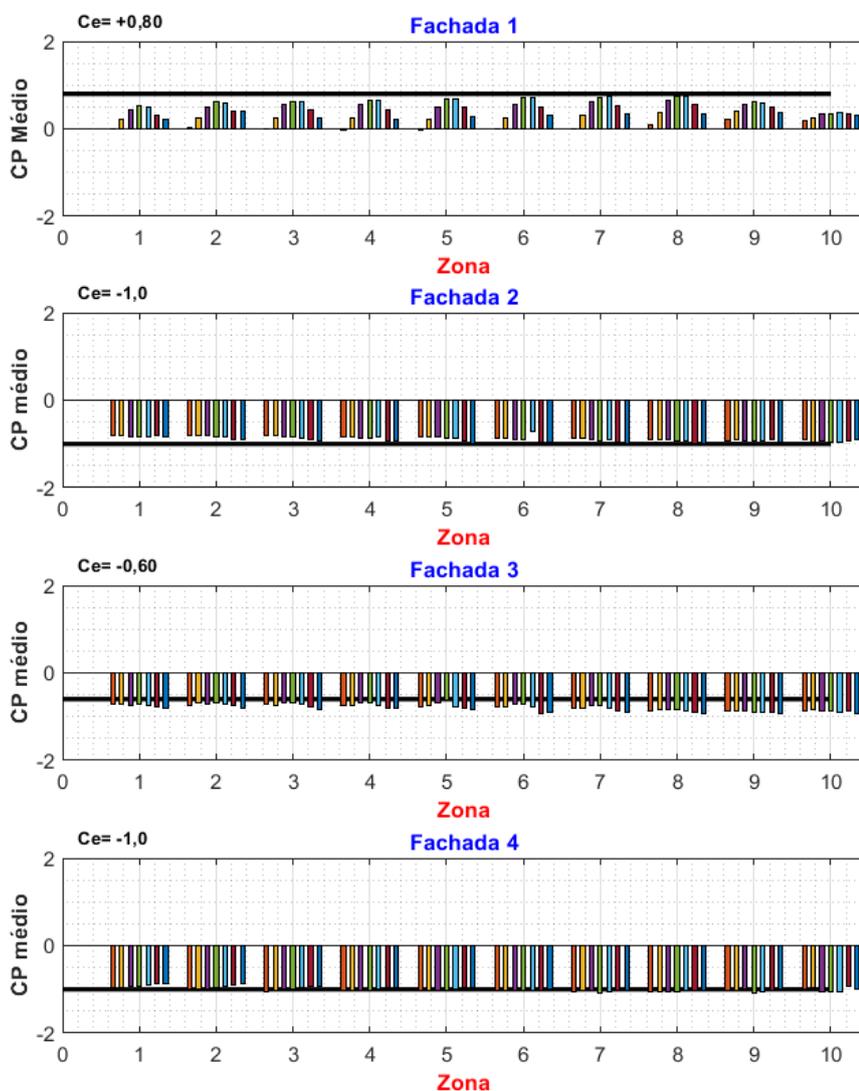


Figura 6.1-5 - Coeficientes de pressões médias por tomada – C0V90_B1

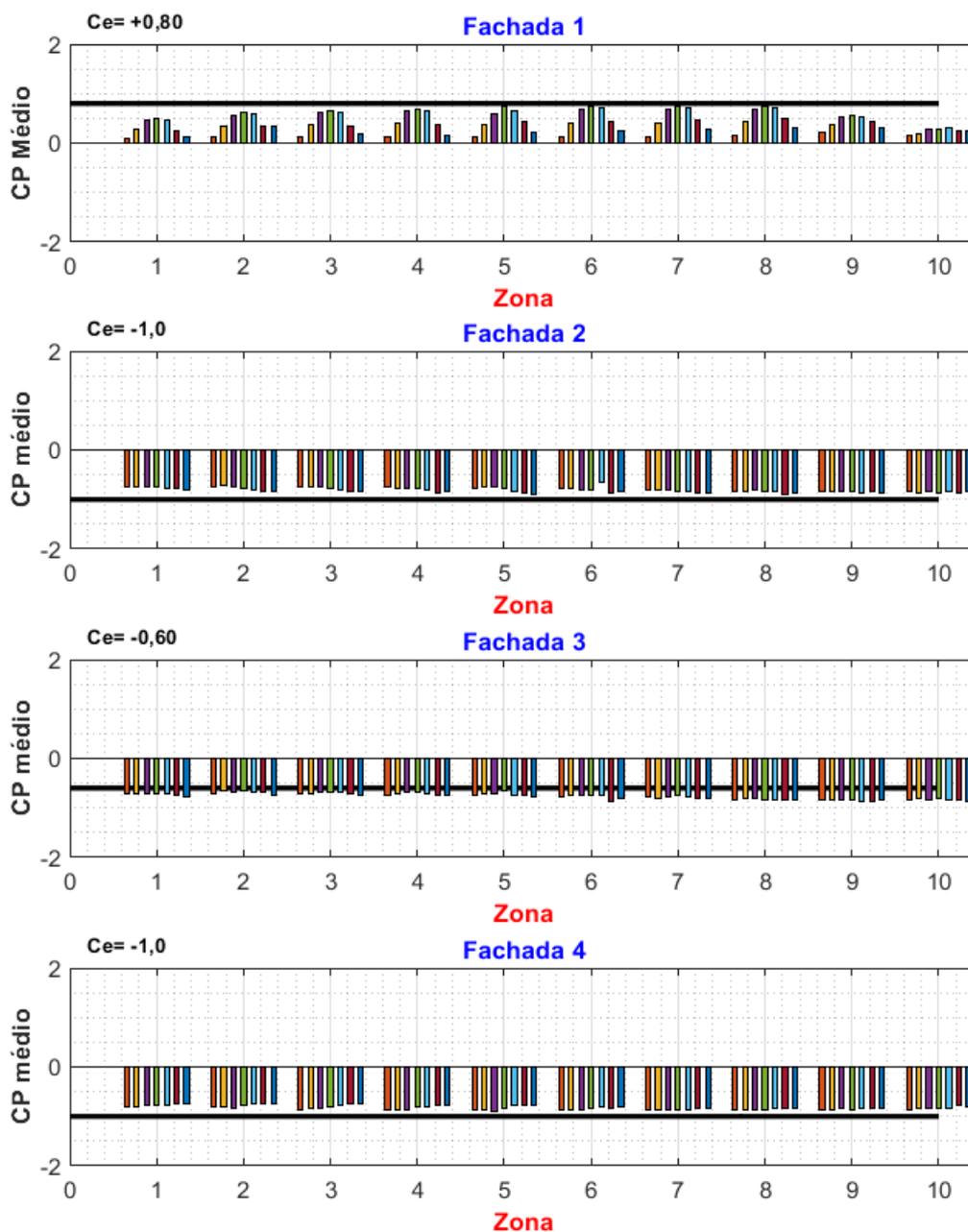


Figura 6.1-6 - Coeficientes de pressões médias por tomada – C0V90_C1

Os ensaios nas configurações C0V90_B1 e C0V90_C1, apresentaram coeficientes de pressões médias por tomada na fachada F1 de barlavento valores semelhantes ao modelo isolado à 0°, já nas demais fachadas houve uma leve redução dos coeficientes de pressões nas zonas mais próximas da base do edifício, e na fachada F3 todos os pontos de aferição de pressão apresentaram valores acima do normativo, atingindo $C_{pe, med} = -0,95$.

6.1.3 Coeficiente de pressão média por tomada – CAARC à 90° e vizinho à 0°

Nas fig. 6.1-7 e 6.1-8 foram apresentados os resultados experimentais com a inserção de dois vizinhos nas posições *C90V0_D2_A1* e *C90V0_D2_A2*. A posição do CAARC em 90° indica a fachada *F2* como de barlavento, *F4* de sotavento e *F1* e *F3* como fachadas laterais.

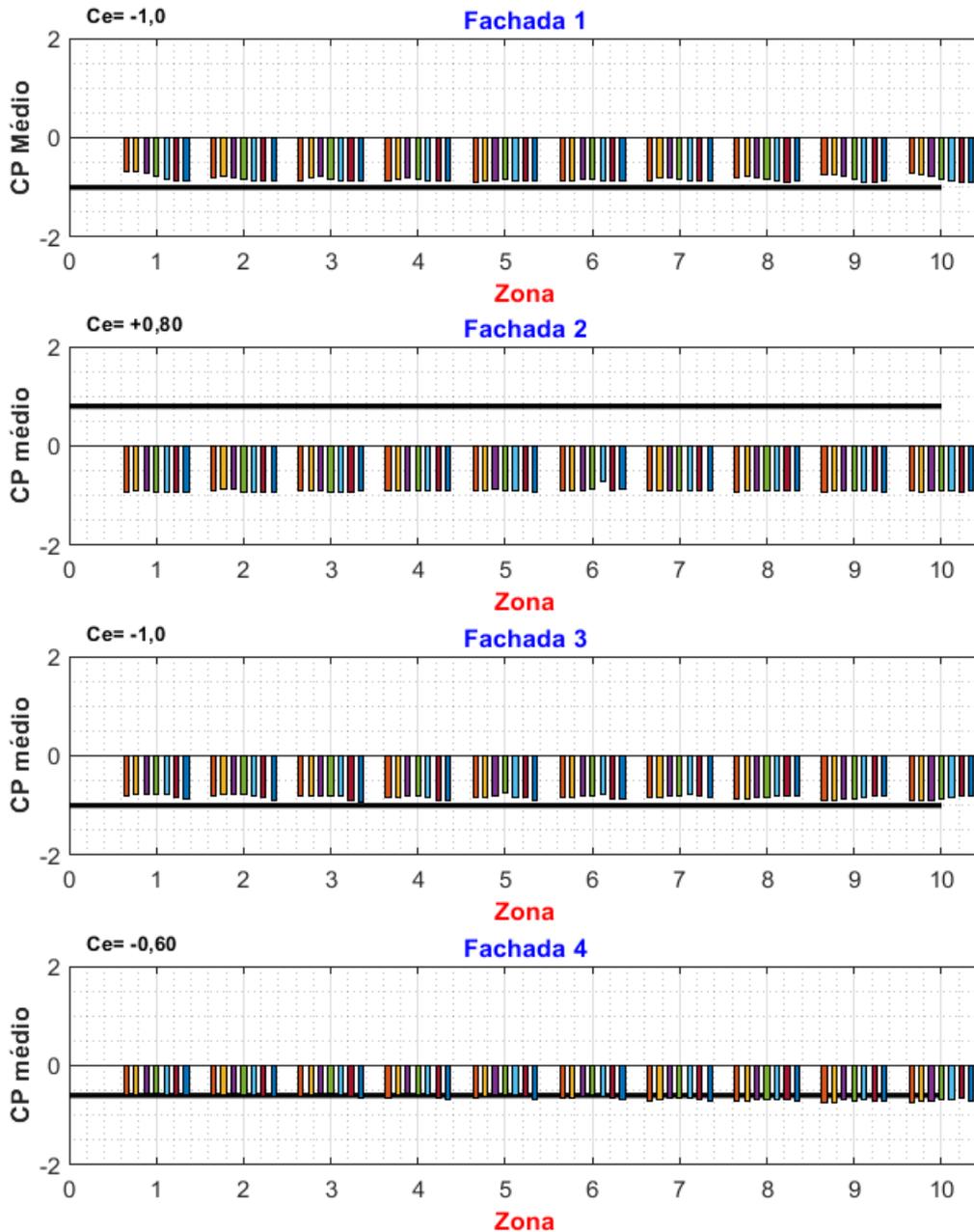


Figura 6.1-7 - Coeficientes de pressões médias por tomada – C90V0_D2_A1

A fachada de barlavento *F2* indica a principal interferência da vizinhança, obtendo coeficientes de pressões médias por tomada praticamente constante e equivalentes a

$C_{pe,med} = -1,0$, enquanto normativamente apresenta coeficiente de forma $C_e = +0,80$, alteração provocada devido a proximidade entre as faces dos edifícios. Nas demais fachadas foi observado valores abaixo dos coeficientes normativos, indicando pouca interferência na pressão atuante nas fachadas.

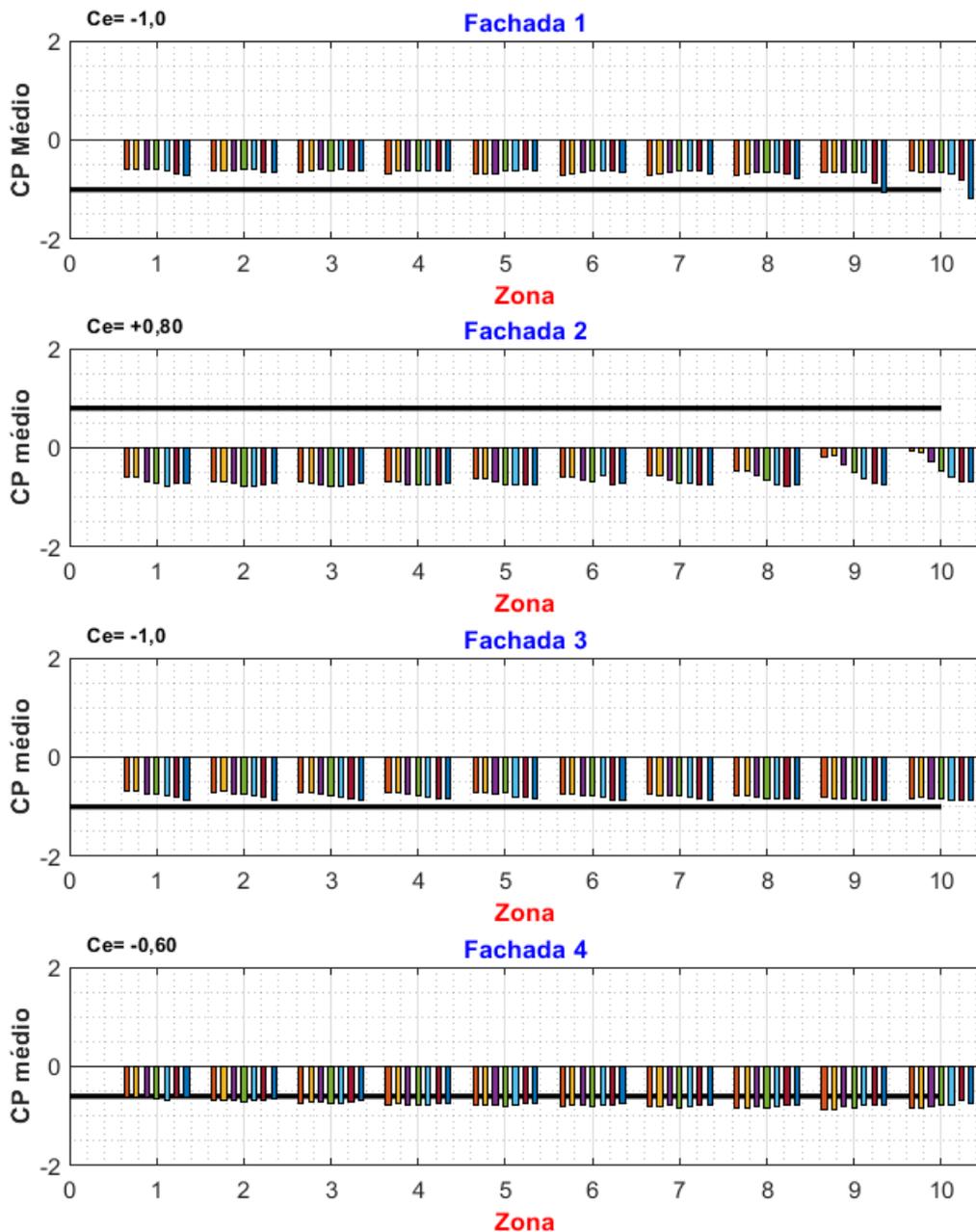


Figura 6.1-8 - Coeficientes de pressões médias por tomada – C90V0_D2_A2

O ensaio realizado com dois edifícios vizinhos já apresenta alterações no escoamento do vento, como observado na fachada *F2* que possui valores significativos de esforços de

sucções atingindo $C_{pe,med} = -0,80$. A fachada de sotavento $F4$ passa a apresentar valores acima do normativo a partir da zona 3 até a zona 10 com coeficientes de pressões médios próximos a $-0,90$, um aumento de 50%.

6.1.4 Coeficiente de pressão média por tomada – CAARC à 90° e vizinho à 90°

As figuras 6.1-9 e 6.1-10 apresentam os coeficientes de pressões médias por tomada para as configurações $C90V90_D2_B1$ e $C90V90_D2_C1$.

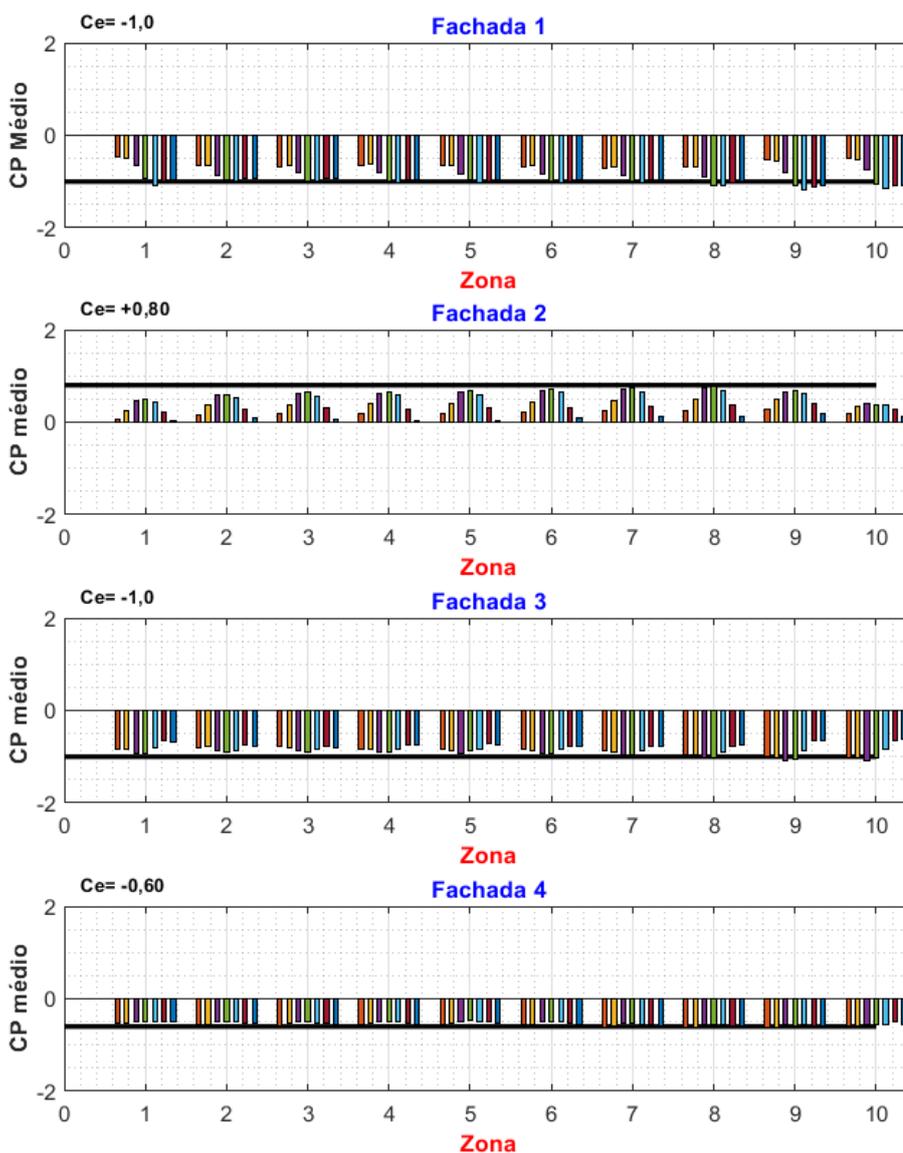


Figura 6.1-9 - Coeficientes de pressões médias por tomada – $C90V90_D2_B1$

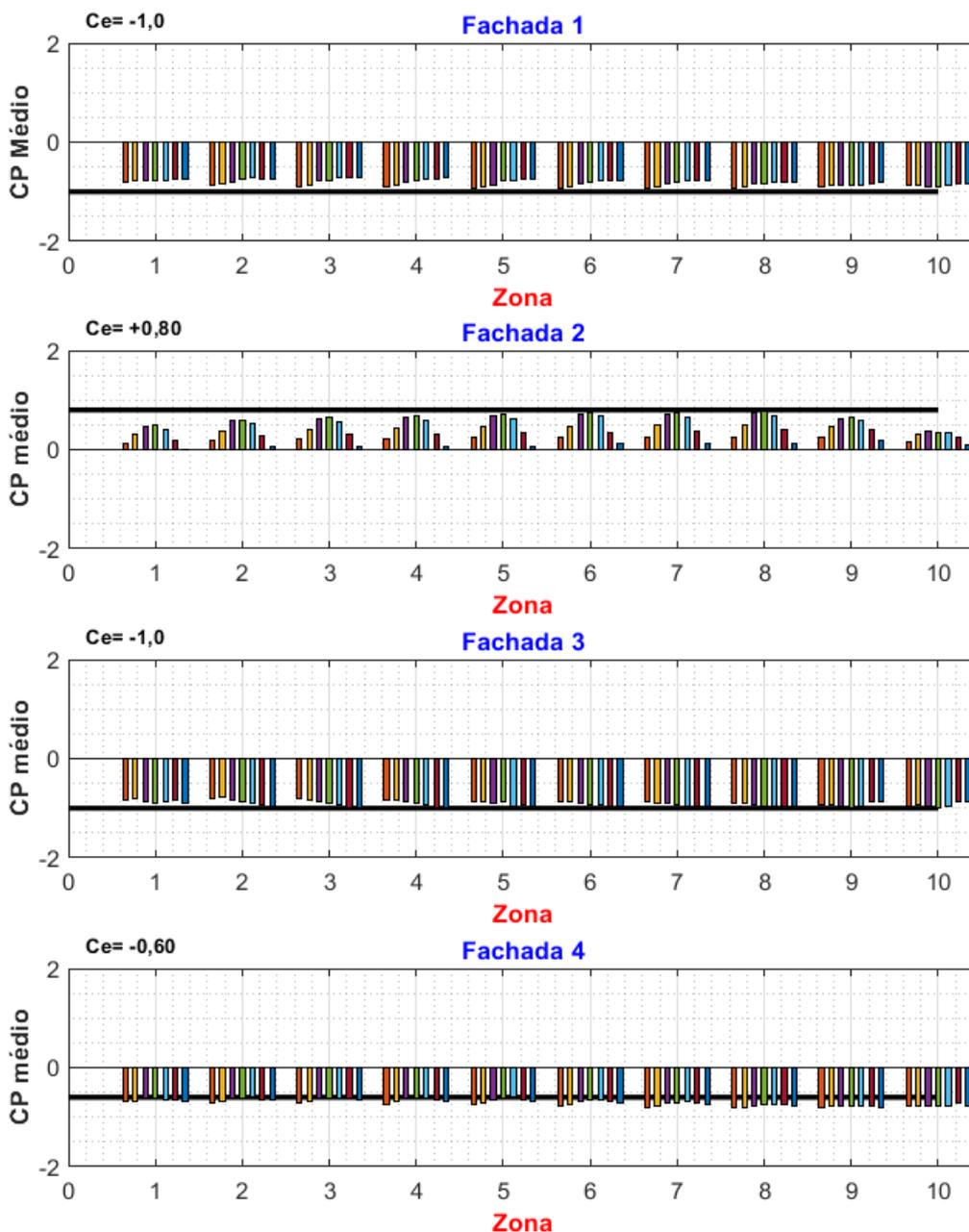


Figura 6.1-10 - Coeficientes de pressões médias por tomada – C90V90_D2_C1

A fachada *F3* das fig. 6.1-9 e 6.1-10 apresentaram um escoamento praticamente uniforme em toda região da fachada, com valores bem próximos do normativo, já a fachada *F4* da fig. 6.1-10 teve todos os pontos iguais ou acima dos normativos, com pontos de tomada mais próximos do topo 25% maior que a norma com $C_{pe,med} = -0,75$. Nos ensaios de *C90V90_D2_B1* e *C90V90_D2_C1*, na fachada *F2* é possível observar a variação do escoamento do vento incidindo na parte central da fachada e reduzindo os esforços para as extremidades, obtendo coeficientes de pressões médias próximos a zero na faixa da extremidade

esquerda e direita da fachada $F2$. A fachada $F1$ de $C90V90_D2_B1$ apresentou maiores esforços na zona de alta sucção atingindo valores de $C_{pe,med} = -1,0$.

6.2 COEFICIENTES DE PRESSÕES MÉDIAS POR REGIÃO

Os coeficientes de pressões médias por região (C_{pmpr}) foram propostos para avaliar a representatividade dos resultados obtidos, agrupando de 4, 6 ou 9 pontos de tomada de pressão por região com características semelhantes nas fachadas, facilitando a interpretação, compreensão e análise dos dados.

A rotina de cálculo foi implementada para as 34 situações de vizinhança deste estudo, e, portanto, foi utilizado o gráfico de barras para facilitar comparações e validações dos resultados. Na discussão de resultados é percebido as mudanças dos esforços atuantes na estrutura, efetuando comparações com o CAARC isolado, com a NBR 6123:2023 ou com outras vizinhanças analisando justamente como as vizinhanças pode interferir na distribuição das pressões médias.

As fig. 6.2-1 e 6.2-2 apresentam respectivamente os gráficos dos coeficientes de pressões médias por regiões para o CAARC à 0° isolado e o CAARC à 90° isolado, os quais serão utilizados como parâmetro comparativo experimental para determinar os efeitos de interferência de vizinhança nas distribuições de pressões médias por regiões de cada fachada. No gráfico será representado por uma barra horizontal preta o maior coeficiente de forma da fachada, obtidos a partir do item 5.1 como referência normativa.

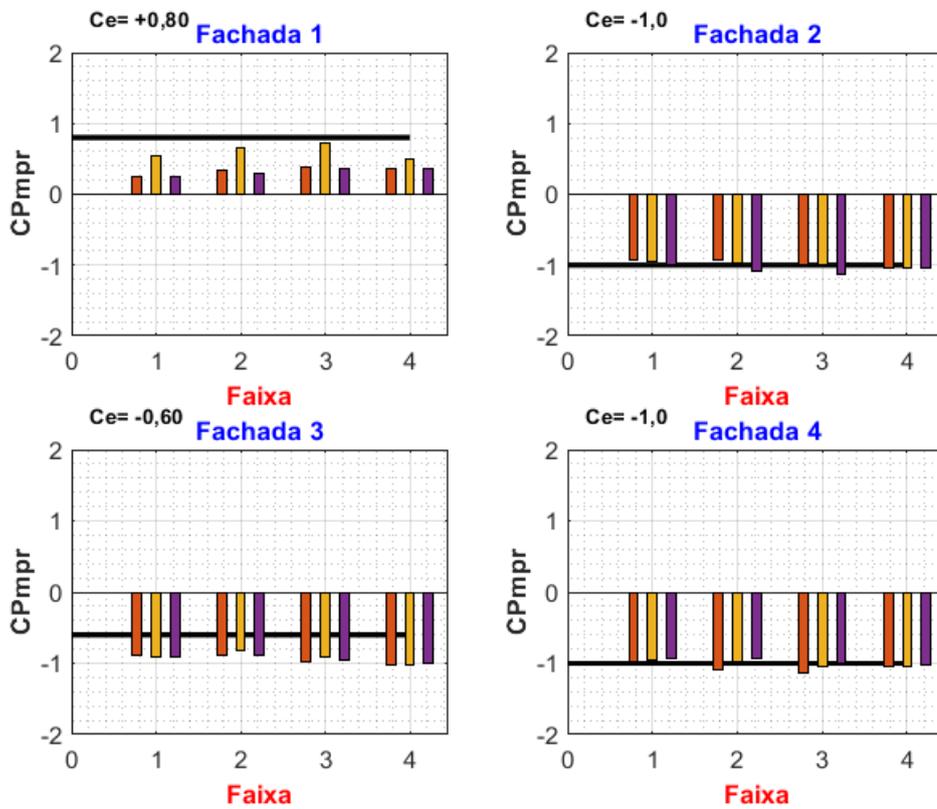


Figura 6.2-1 - Gráfico dos coeficientes de pressões médias por regiões - C0_ISO

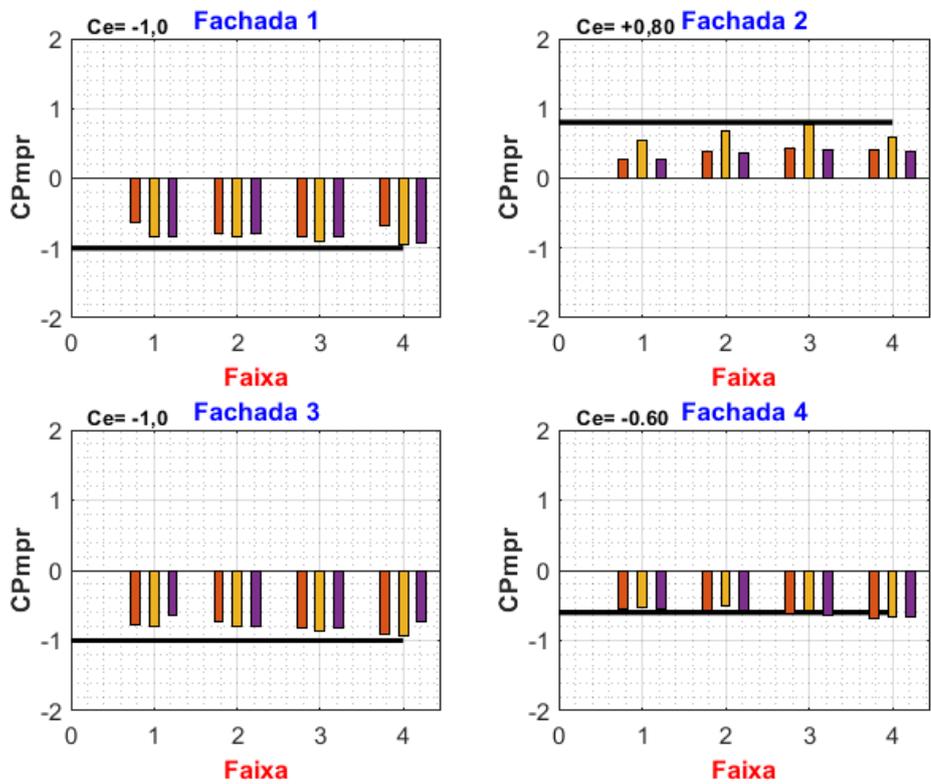


Figura 6.2-2 - Gráfico dos coeficientes de pressões médias por regiões – C90_ISO

6.2.1 Coeficiente de pressão média por região – CAARC à 0° e vizinho à 0°

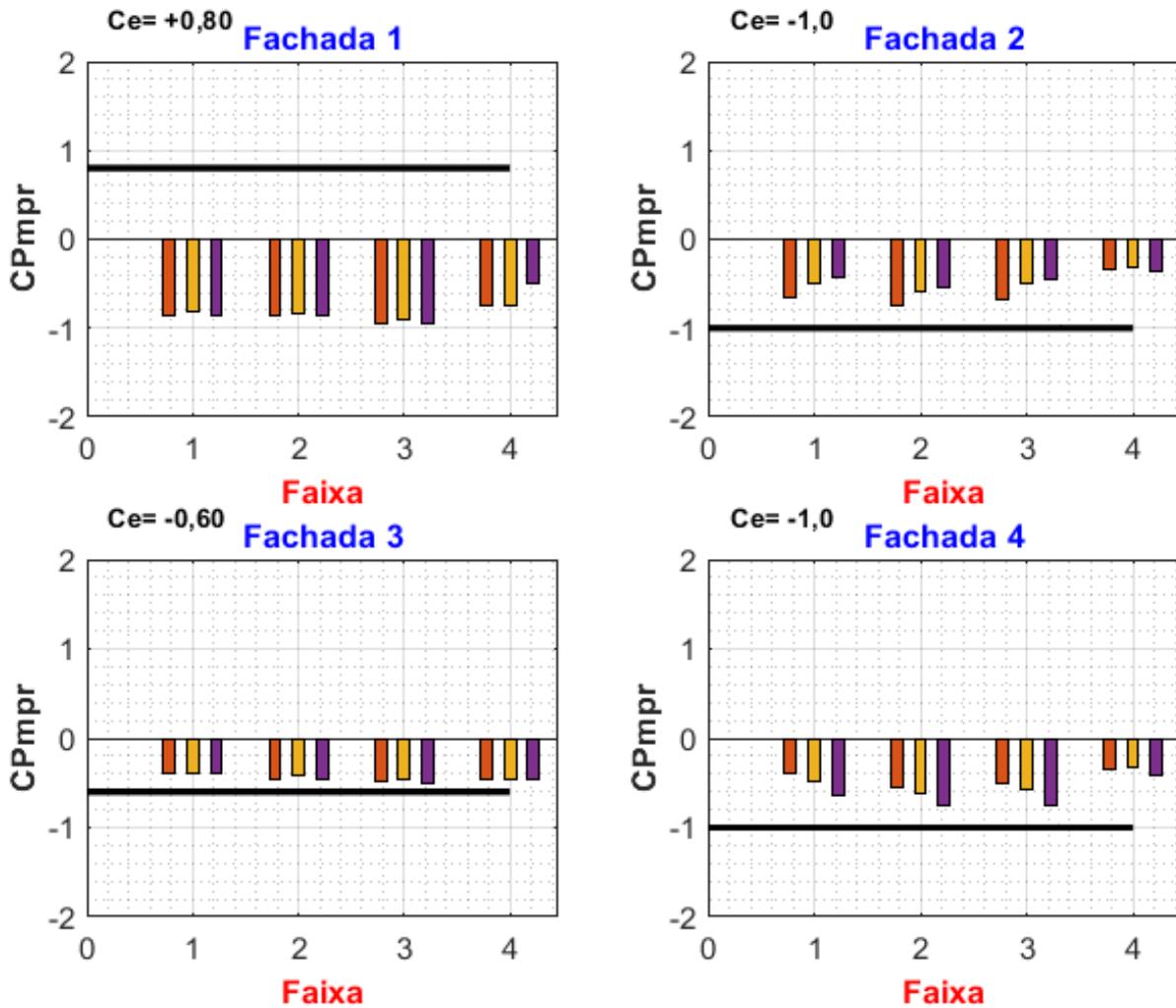


Figura 6.2-3 - Coeficientes de pressões médias por regiões - C0V0_A1

A inserção do vizinho A1 descrito na fig. 6.2-3 provocou uma alteração principalmente na fachada de barlavento com a mudança de esforços de sobrepressão para sucção, com coeficientes de pressões médias por regiões próximos a $-1,0$ nas faixas 1, 2 e 3. As fachadas laterais F2 e F4 apresentaram esforços solicitantes de $C_{pmpr} = -0,50$, 50% menor que o indicado normativamente apenas faixa 4, região mais próxima do topo do edifício.

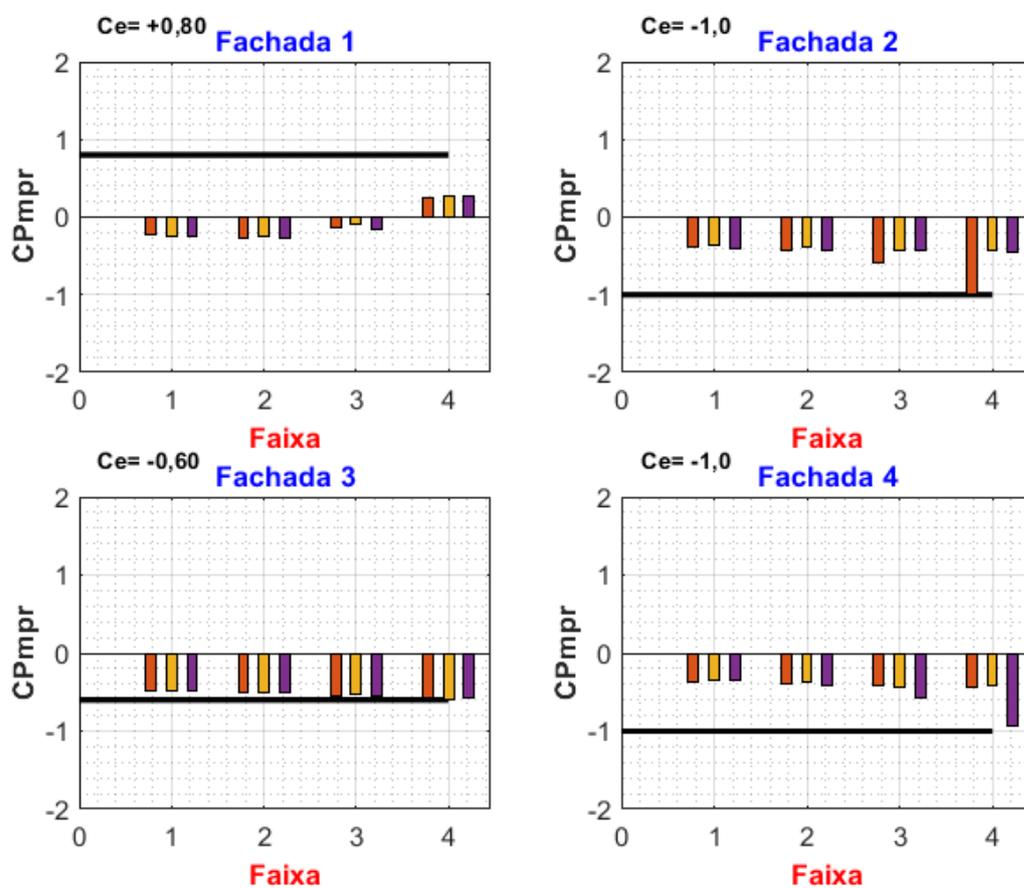


Figura 6.2-4 - Coeficientes de pressões médias por regiões - C0V0_A2

Com o posicionamento do edifício interferente na posição A2 (fig. 6.2-4), o modelo CAARC obteve na fachada de barlavento nas faixas 1, 2 e 3 coeficientes próximos a zero, reduzindo em torno de 80% quando comparado com o C0V0_A1 e quando comparado em valor absoluto com o CAARC à 0° isolado uma redução de 30% a 60%, evidenciando um efeito de proteção da fachada F1. Deve-se atenção nas outras fachadas somente na região do topo do edifício na zona de alta sucção o qual atinge o dobro do valor das demais regiões da fachada F2 e F4.

6.2.2 Coeficiente de pressão média por região – CAARC à 0° e vizinho à 90°

Os ensaios com C0V90_B1 e C0V90_C1, fig. 6.2-5 e 6.2-6 respectivamente, apresentaram os coeficientes de pressões médias por regiões, em que é observado que as fachadas F1, F2 e F4, não apresentam regiões acima dos valores normativos, enquanto que a fachada F3 de sotavento apresenta todas as regiões com coeficientes acima dos valores normativos, atingindo $C_{pmpr} = -0,80$, valor este 33% maior.

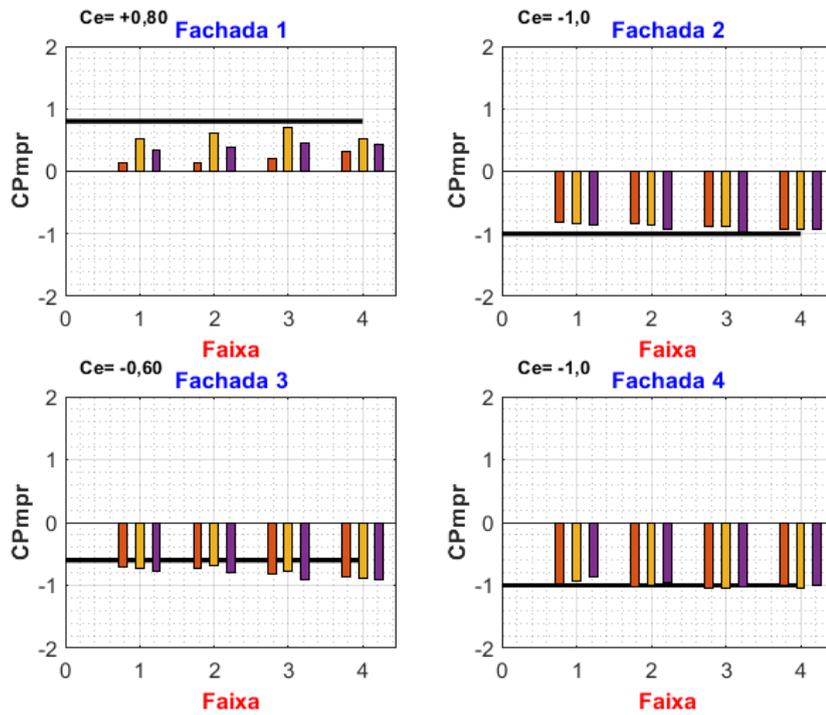


Figura 6.2-5 - Coeficientes de pressões médias por regiões - C0V90_B1

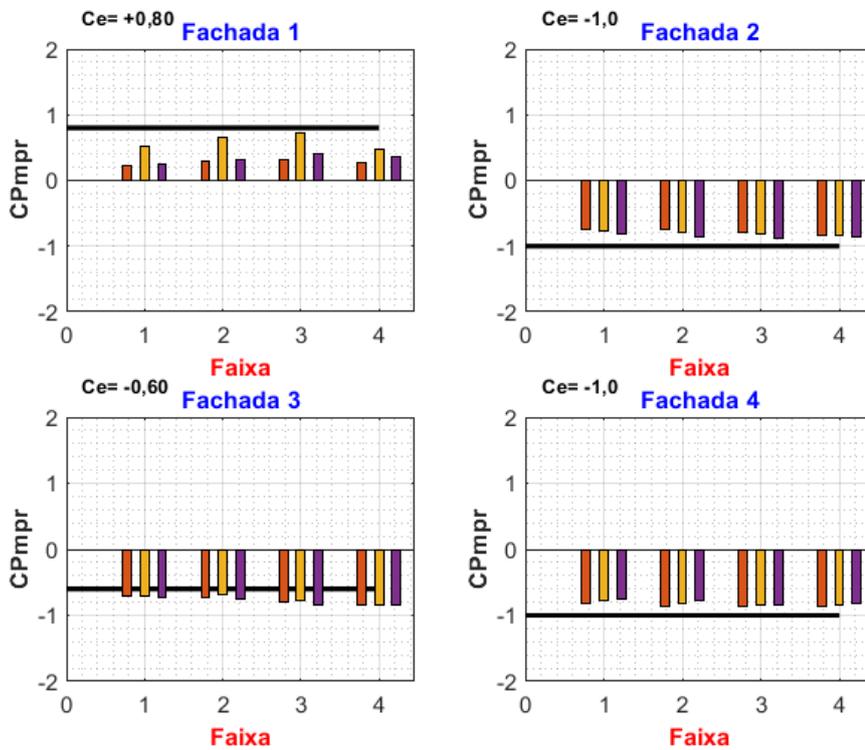


Figura 6.2-6 - Coeficientes de pressões médias por regiões - C0V90_C1

6.2.3 Coeficiente de pressão média por região – CAARC à 90° e vizinho à 0°

As fig. 6.2-7 e 6.2-8 indicam os coeficientes de pressões médias por regiões para os ensaios C90V0_D2_A1 e C90V0_D2_A2.

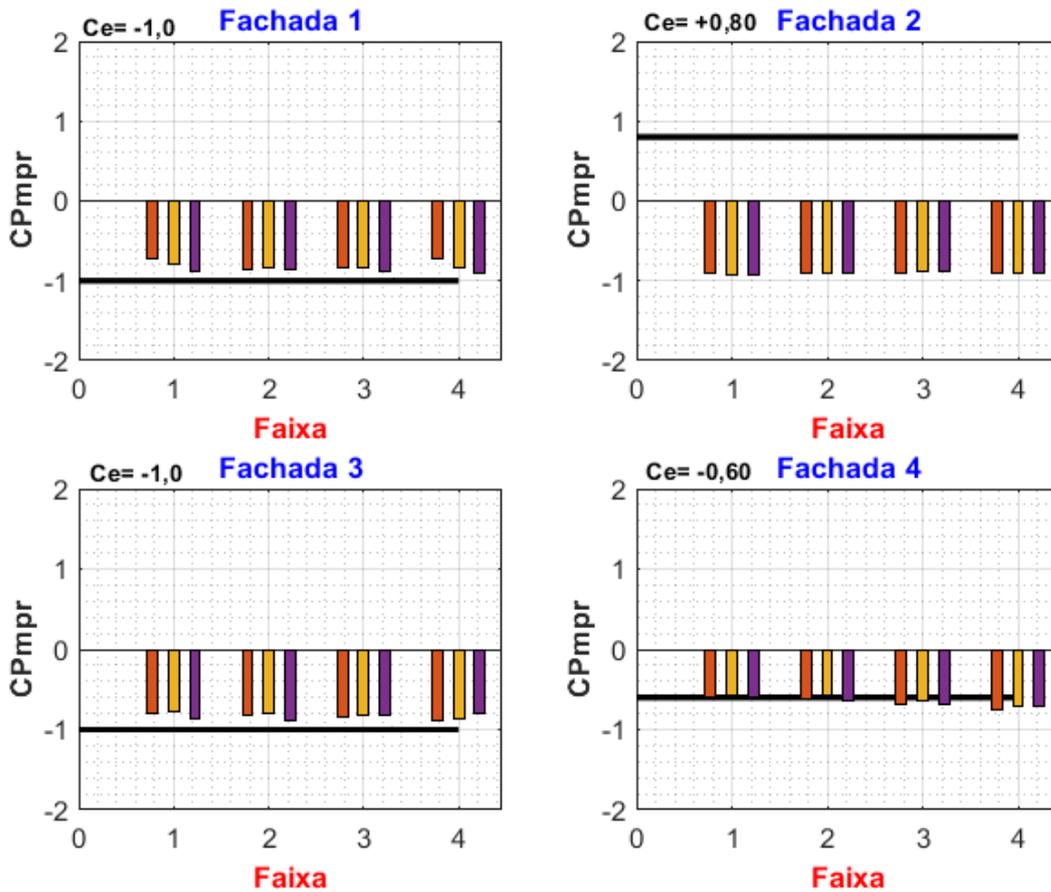


Figura 6.2-7 - Coeficientes de pressões médias por regiões – C90V0_D2_A1

A esteira de turbulência da edificação posicionada em A1 provoca a mudança dos esforços de sobrepressão para sucção em todas as regiões da fachada de barlavento F2, atingindo sucções com $C_{pmpr} = -1,0$. As demais fachadas possuem escoamento do vento com distribuição de pressões uniformes em todas as regiões, obtendo coeficientes de pressões por regiões praticamente constantes e abaixo dos valores normativos.

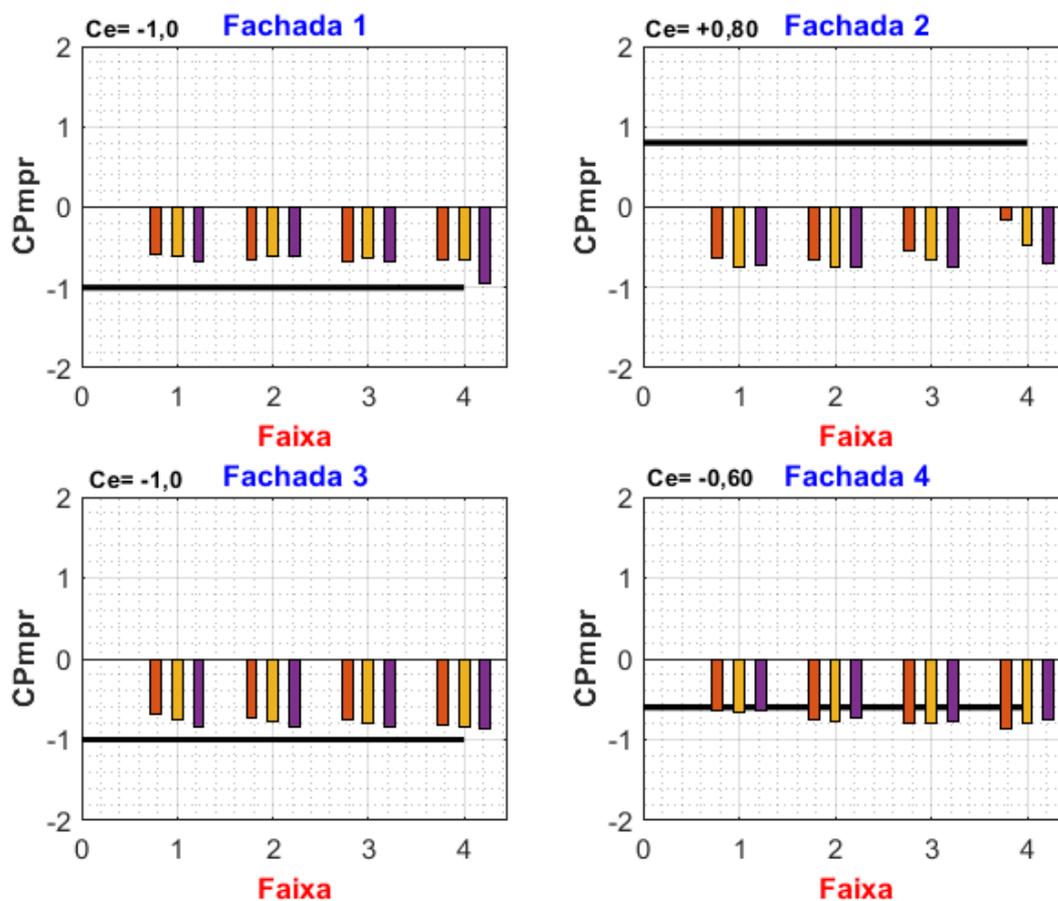


Figura 6.2-8 - Coeficientes de pressões médias por regiões – C90V0_D2_A2

Devido ao fato do vizinho *A2* estar rotacionado em 0° , esta edificação proporciona um bloqueio completo da fachada *F2* de barlavento do CAARC, ficando dentro da esteira de turbulência de *A2*, acarretando esforços de sucções relevantes atingindo $C_{pmpr} = -0,80$. A fachada *F4* tem uma amplificação dos esforços próximos ao topo, com $C_{pmpr} = -0,80$, 30% superior ao normativo. As demais fachadas não sofrem mudanças relevantes devido aos edifícios vizinhos.

6.2.4 Coeficiente de pressão média por região – CAARC à 90° e vizinho à 90°

As fig. 6.2-9 e 6.2-10 representam os ensaios com o C90V90_D2_B1 e C90V90_D2_C1.

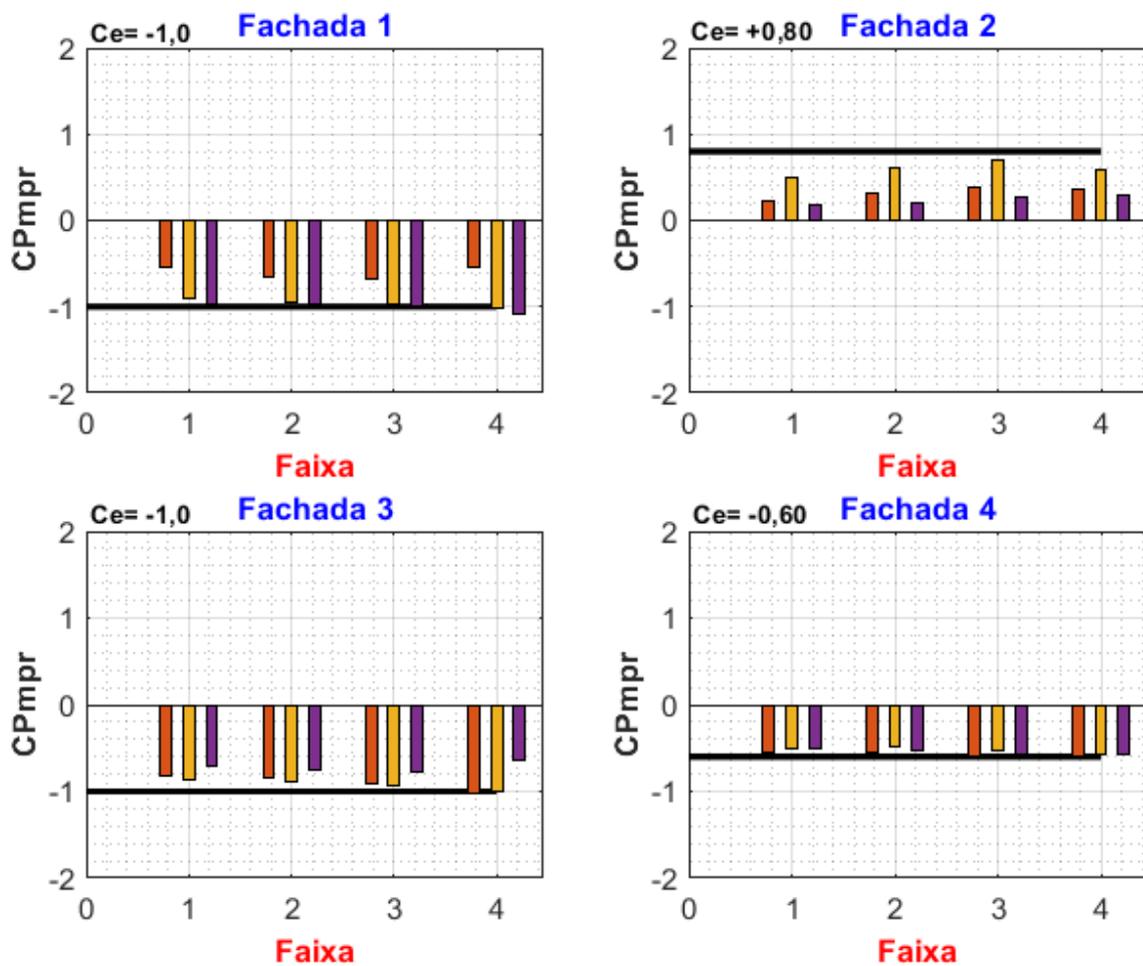


Figura 6.2-9 - Coeficientes de pressões médias por regiões – C90V90_D2_B1

No ensaio com os vizinhos *D2* e *B1* observa-se que a fachada *F2* de barlavento tem a incidência direta do vento semelhante a situação com o CAARC à 90° isolado, não havendo interferência significativa no escoamento do vento em nenhuma das fachadas do CAARC

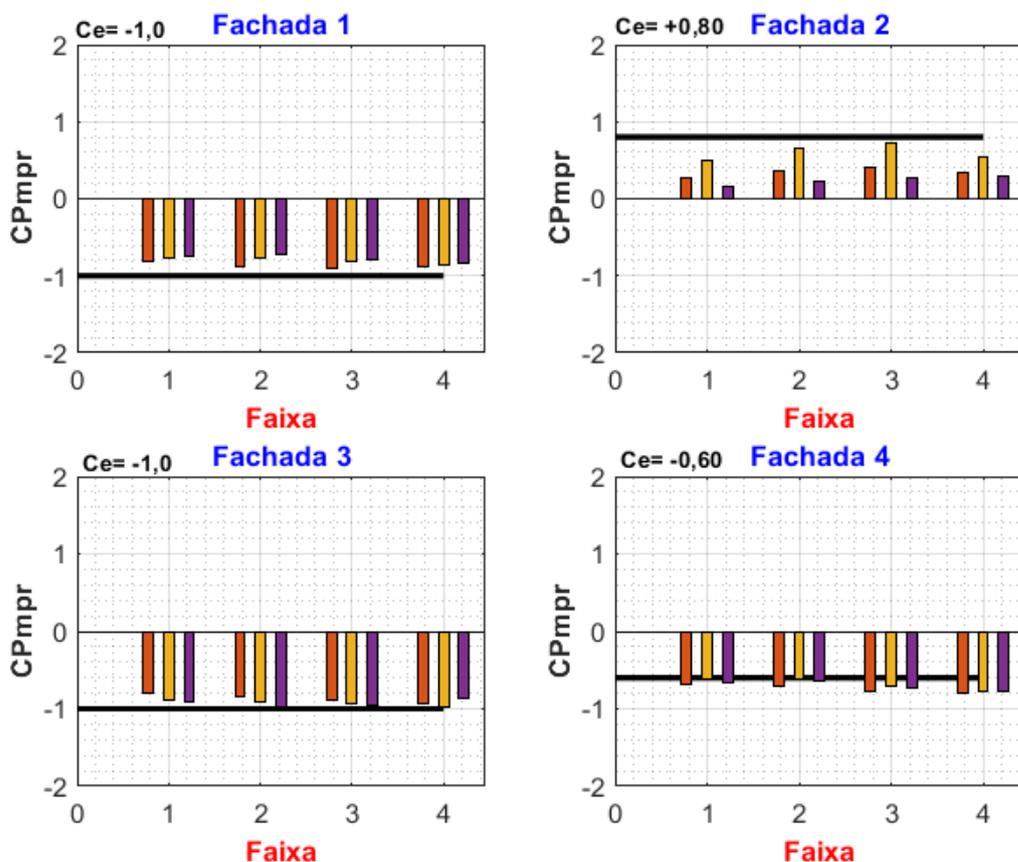


Figura 6.2-10 - Coeficientes de pressões médias por regiões – C90V90_D2_C1

A inserção da vizinhança *D2* e *C1* à 90° não fazem bloqueio na fachada de barlavento, portanto, o escoamento do vento fica próxima da situação com modelo simulado isoladamente, mas há uma interferência a ser verificada na extremidade esquerda da fachada *F1* (barra vermelha), com aumento em torno 30% dos coeficientes de pressões, já a extremidade direita da fachada *F3* (barra roxa) apresenta um aumento em torno de 25% nos coeficientes de pressões médias por regiões. Estas amplificações podem ser responsáveis pelo aumento de 20% a 25% dos esforços de sucções na fachada *F4* de sotavento, a qual apresenta $C_{pmp} = -0,78$.

7. FATOR DE VIZINHANÇA – GRÁFICOS F_v

O Fator de Vizinhança é o principal parâmetro utilizado por diversos pesquisadores em seus estudos para avaliar a interferência que obstáculos ou edificações vizinhas podem provocar no escoamento do vento, alterando de forma favorável ou desfavorável as distribuições de pressões ao longo das fachadas. O Fator de Vizinhança indica o quanto variou o esforço em uma determinada região devido a inserção de uma vizinhança ou obstáculo quando se compara com o caso isolado.

Neste estudo foi calculado o Fator de Vizinhança em módulo para os coeficientes de pressões médias e de pico por regiões, e posteriormente foi representado por gráfico de barras o Fator de Vizinhança de cada região. A NBR 6123:2023 no item 6.4.4 indica o Fator de vizinhança mínimo ($F_v, min = 1,0$) e o Fator de Vizinhança máximo ($F_v, max = 1,30$), portanto, será indicado no gráfico como referência normativa, uma barra horizontal preta do F_v, min e uma barra horizontal vermelha do F_v, max , desta forma foi possível identificar quais e quantas regiões apresentaram resultados dentro do previsto e quais ultrapassaram valores normativos.

O estudo utilizou na rotina de cálculo das equações 5.9 e 5.10 os coeficientes de pressões médias e de pico por região para o CAARC isolado à 0° ou 90° , obtidos no ensaio experimental, e utilizados como referência para identificar uma amplificação ou redução dos esforços solicitantes. Portanto, quando o Fator de Vizinhança é superior à 1, indica que a vizinhança provocou uma amplificação dos esforços de pressão da região, e quando o Fator de Vizinhança é inferior à 1, indica que a vizinhança provocou uma redução dos esforços de pressões da região analisada, mas o Fator de Vizinhança não indica se o esforço solicitante da região está acima ou abaixo dos valores normativos, pois para esta conclusão devem ser calculados os coeficientes de pressões das médias das regiões.

7.1 FATOR DE VIZINHANÇA (F_v) DOS COEFICIENTES DE PRESSÕES MÉDIAS POR REGIÕES

Serão apresentados abaixo os gráficos dos Fatores de Vizinhança dos coeficientes de pressões médias por regiões para quatro combinações de rotação do CAARC e da vizinhança, sendo os itens 7.1.1 (CAARC À 0° e VIZINHO À 0°), 7.1.2 (CAARC À 0° e VIZINHO À 90°), 7.1.3 (CAARC À 90° e VIZINHO À 0°) e o item 7.1.4 (CAARC À 90° e VIZINHO À 90°).

7.1.1 Fator de vizinhança do Cpe média por região – CAARC à 0° e vizinho à 0°

As fig. 7.1-1 e 7.1-2 representam graficamente os Fatores de Vizinhança dos coeficientes de pressões médias por regiões.

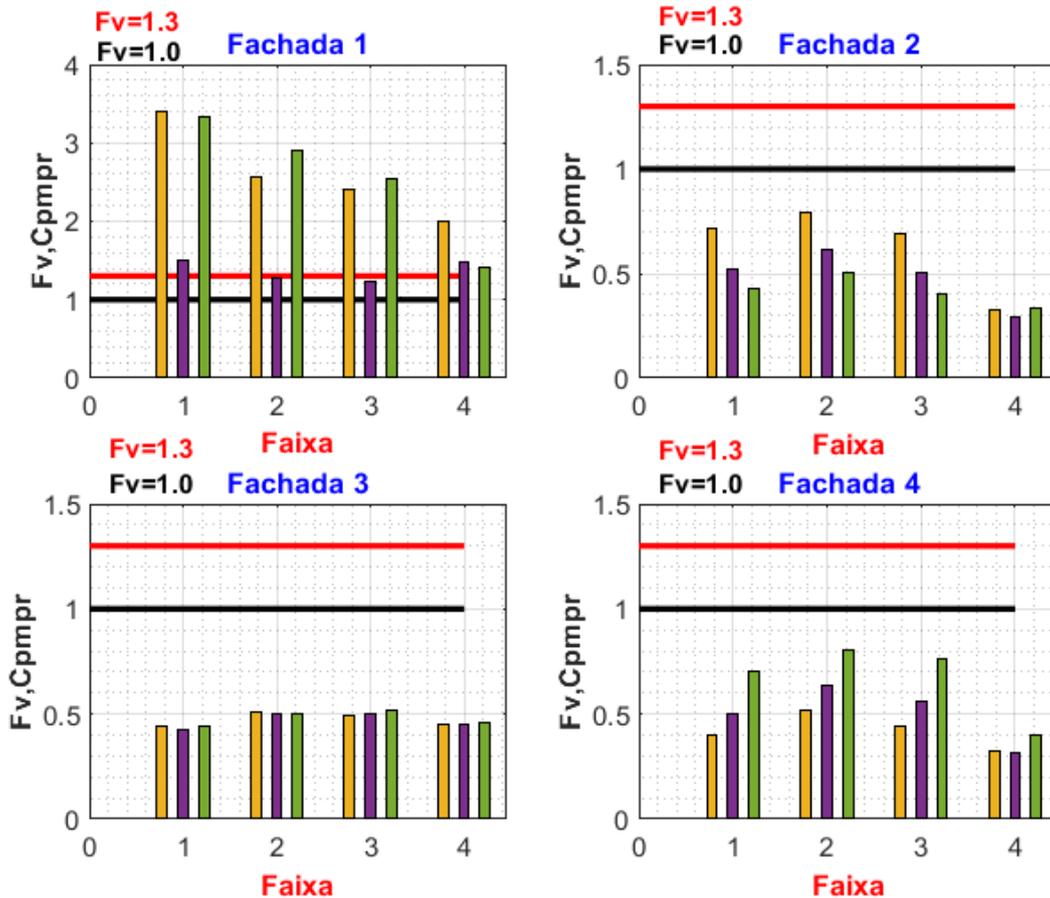


Figura 7.1-1 - Fator de vizinhança F_v dos coeficientes de pressões médias por regiões – C0V0_A1

A partir do gráfico acima observa-se que as fachadas F_2 , F_3 e F_4 possuem reduções dos esforços solicitantes devido a vizinhança, não havendo necessidade de correções dos valores obtidos experimentalmente no CAARC isolado. Já a fachada F_1 que está na esteira de turbulência de A_1 há amplificações em todas as regiões, com duas regiões no intervalo de 1,0 a 1,30 e as outras dez regiões com F_v acima de 1,30 atingindo $F_v, Cpmpr = 3,40$. Logo, 83% dos coeficientes de pressões médias por regiões da fachada F_1 estão acima do fator de vizinhança máximo determinado pela NBR6123:2023. A tabela 2 representa o percentual de variação dos Fatores de Vizinhança do $Cpmpr$ – C0V0_A1.

Tabela 2 – Percentual de variação dos Fatores de Vizinhança dos C_{pmpr} – C0V0_A1

Fator de Vizinhança $F_v, C_{pmpr} - C0V0_A1$	Quantidade de regiões	Porcentagem %
$F_v, C_{pmpr} \leq 1,0$	36	75,00%
$1,0 \leq F_v, C_{pmpr} \leq 1,3$	2	4,17%
$F_v, C_{pmpr} > 1,30$	10	20,83%

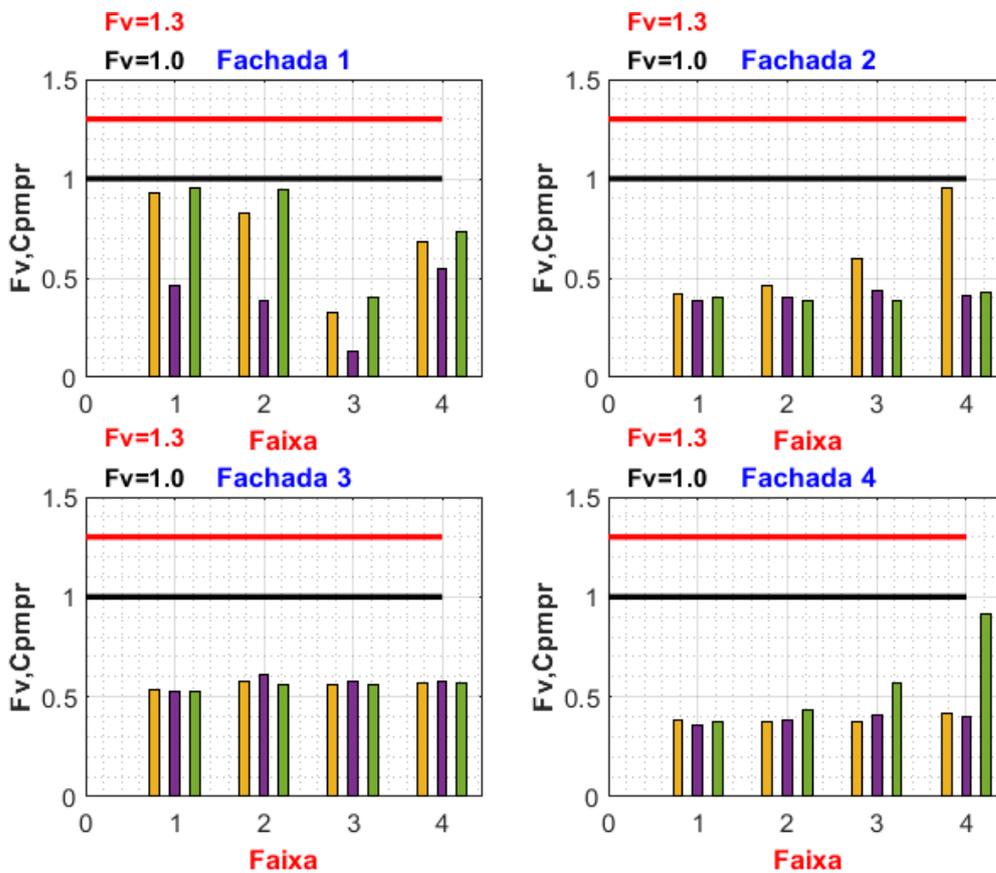


Figura 7.1-2 - Fator de vizinhança F_v dos coeficientes de pressões médias por regiões – C0V0_A2

Com o distanciamento do vizinho interferente houve uma redução significativa dos esforços solicitantes, caracterizando a partir dos Fatores de Vizinhança um efeito de proteção em todas as fachadas do modelo CAARC, pois todas as regiões apresentaram reduções de cargas do vento.

7.1.2 Fator de vizinhança do Cpe média por região – CAARC à 0° e vizinho à 90°

As fig. 7.1-3 e 7.1-4 representam os Fatores de Vizinhança dos coeficientes de pressões médias por regiões das configurações de vizinhos *C0V90_B1* e *C0V90_C1*, sendo um vizinho desalinhado e um oblíquo respectivamente.

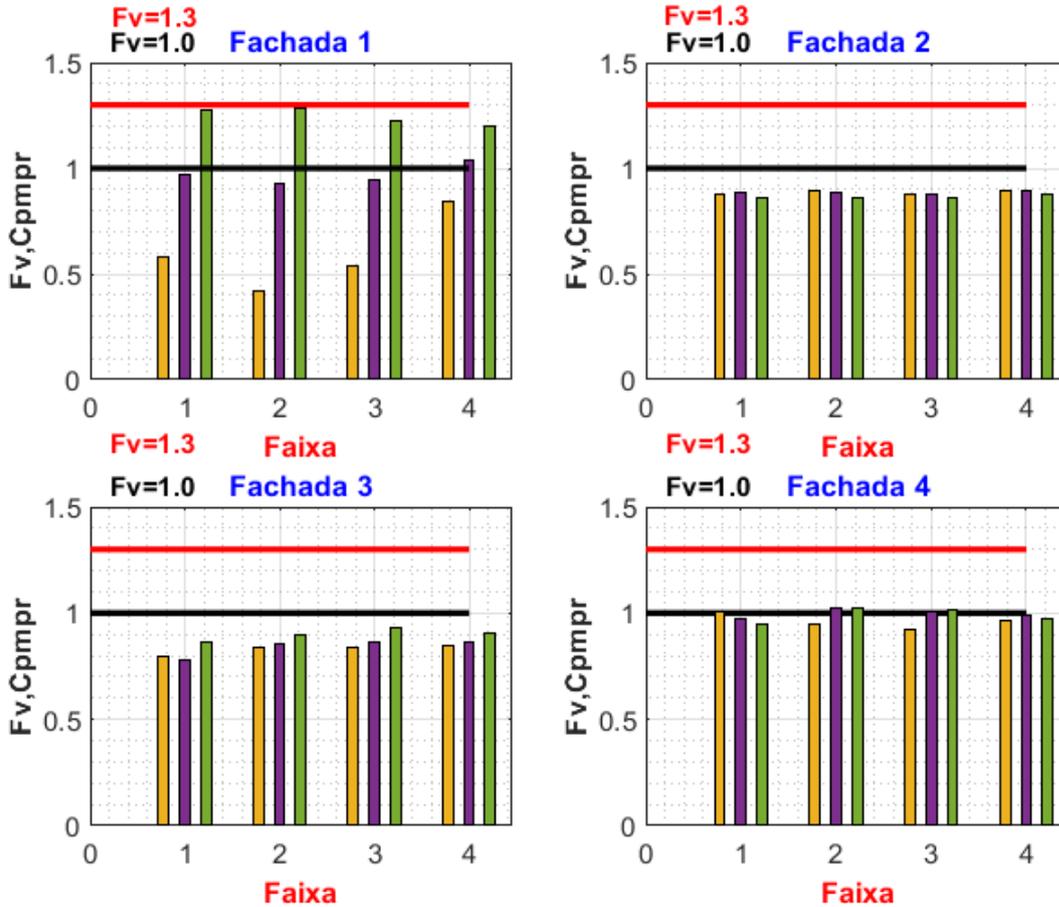


Figura 7.1-3 - Fator de vizinhança F_v dos coeficientes de pressões médias por regiões – *C0V90_B1*

Com a inserção de um vizinho *B1* desalinhado ao CAARC, há um aumento da turbulência do vento incidente na fachada *F1* de barlavento, e pelo fato do vizinho *B1* estar desalinhado a esquerda do CAARC há uma redução dos esforços atuantes na região esquerda da fachada *F1* ($F_v, C_{pmp} < 1,0$), já na região direita próxima a extremidade há uma amplificação dos esforços com o F_v dentro do intervalo de 1,0 a 1,30 conforme indicado pela norma. As demais regiões apresentaram somente reduções dos esforços solicitantes. A tabela 3 apresenta o percentual de variação dos Fatores de Vizinhança do C_{pmp} – *C0V90_B1*.

Tabela 3 - Percentual de variação dos Fatores de Vizinhaça dos C_{pmpr} – C0V90_B1

Fator de Vizinhaça $F_v, C_{pmpr} - C0V90_B1$	Quantidade de regiões	Porcentagem %
$F_v, C_{pmpr} \leq 1,0$	42	87,50%
$1,0 \leq F_v, C_{pmpr} \leq 1,3$	6	12,50%
$F_v, C_{pmpr} > 1,30$	0	0,00%

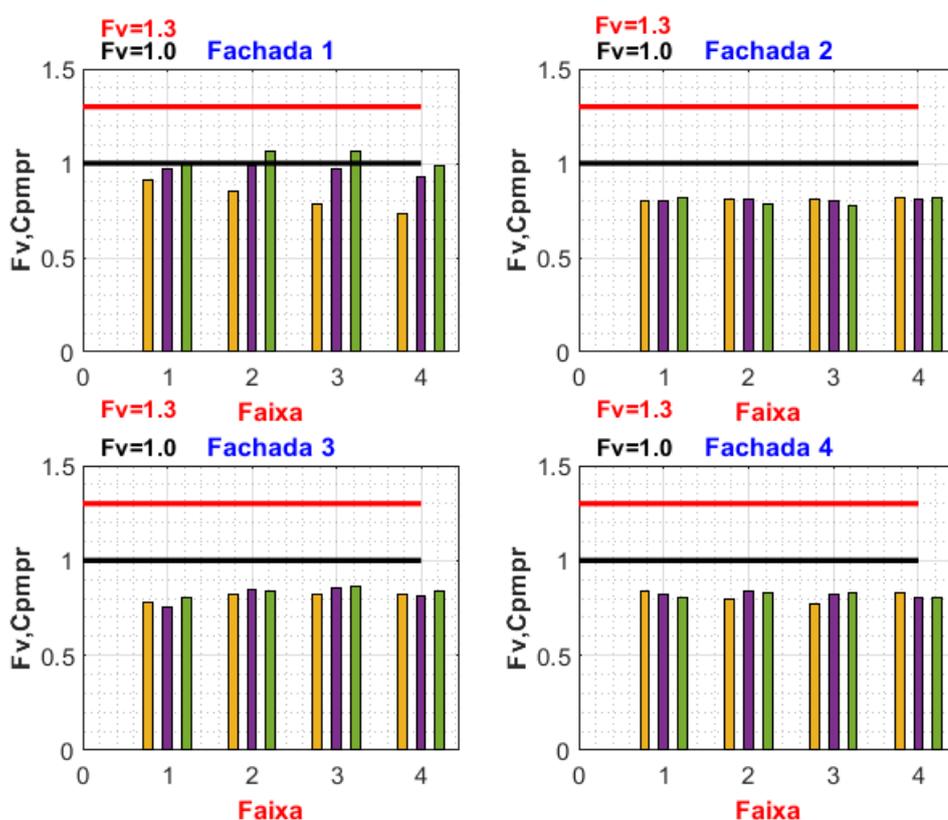


Figura 7.1-4 - Fator de vizinhaça F_v dos coeficientes de pressões médias por regiões – C0V90_C1

O vizinho C1 oblíquo apresenta somente duas regiões com Fator de Vizinhaça no intervalo normativo, com valor $F_v, C_{pmpr} = 1,08$, aumento de apenas 8% comparado com a norma. As demais regiões apresentaram valores iguais ou inferiores a 1,0 do Fator de Vizinhaça.

7.1.3 Fator de vizinhança do Cpe média por região – CAARC à 90° e vizinho à 0°

As fig. 7.1-5 e 7.1-6 apresentam agora situações do Fator de Vizinhança para o posicionamento de dois edifícios vizinhos com rotação de 0°.

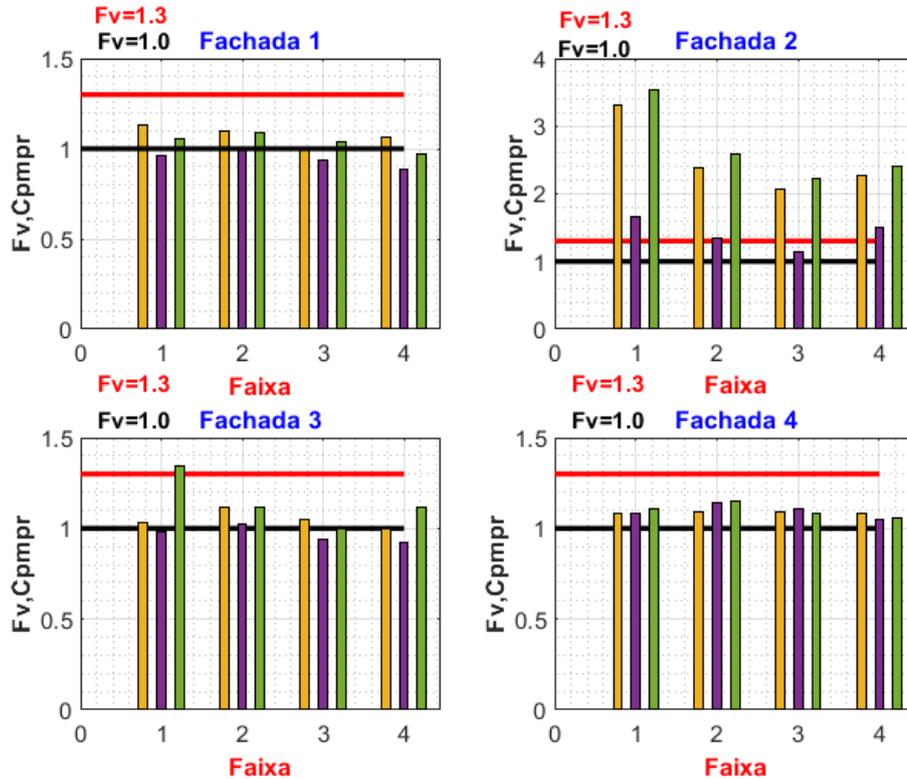


Figura 7.1-5-Fator de vizinhança F_v dos coeficientes de pressões médias por regiões – C90V0_D2_A1

A inserção de dois vizinhos provocou na situação apresentada uma grande turbulência no escoamento do vento, proporcionando Fatores de Vizinhança de até $F_v, C_{pmp} = 3,60$ nas regiões extremas na base da fachada F_2 de barlavento. A tabela 3 apresenta o percentual de variação dos Fatores de vizinhança do C_{pmp} – C90V0_D2_A1.

Tabela 4 - Percentual de variação dos Fatores de Vizinhança dos C_{pmp} – C90V0_D2_A1

Fator de Vizinhança F_v, C_{pmp} - C90V0_D2_A1	Quantidade de regiões	Porcentagem %
$F_v, C_{pmp} \leq 1,0$	11	22,92%
$1,0 \leq F_v, C_{pmp} \leq 1,3$	26	54,17%
$F_v, C_{pmp} > 1,30$	11	22,92%

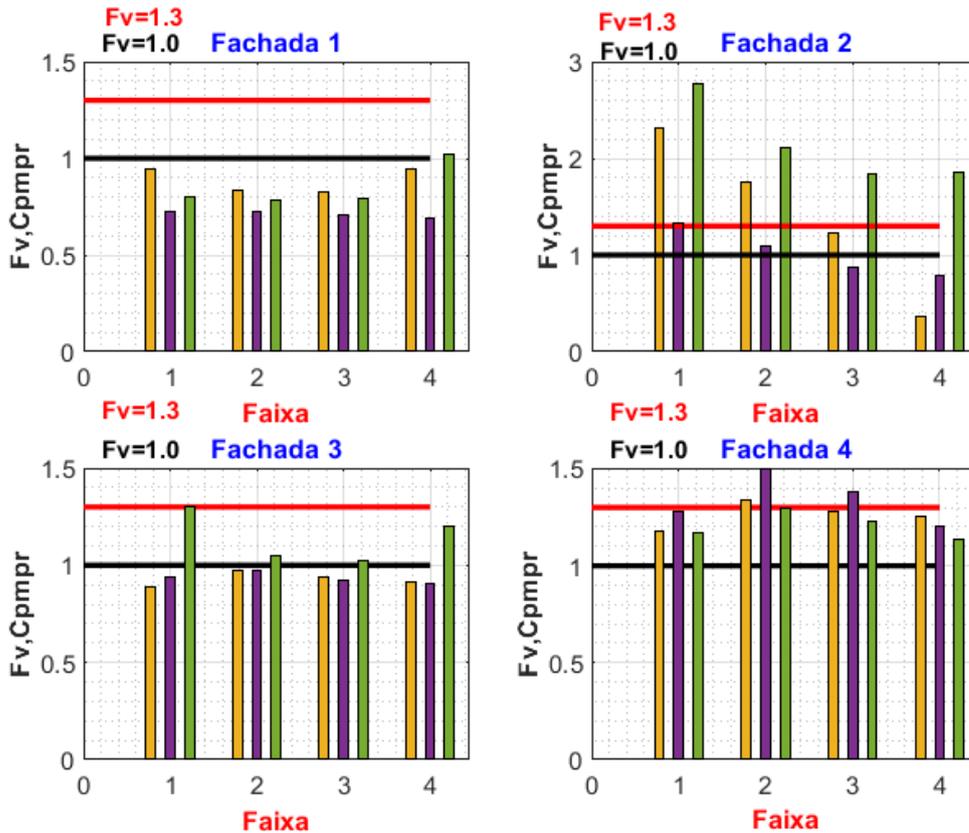


Figura 7.1-6 - Fator de vizinhança F_v dos coeficientes de pressões médias por regiões – C90V0_D2_A2

O ensaio de C90V0_D2_A2 apresenta uma maior turbulência na região direita do CAARC, apresentando na fachada F1 lateral somente $F_v, C_{pmp} \leq 1,0$, já nas fachadas de barlavento e sotavento apresentam respectivamente 6 e 3 regiões com Fator de vizinhança acima de 1,30. A maior interferência produzida neste ensaio ocorreu nas extremidades esquerda e direita da fachada de barlavento alcançando um $F_v, C_{pmp} = 2,80$. A tabela 5 indica o percentual de variação dos intervalos dos Fatores de Vizinhança de C_{pmp} – C90V0_D2_A2.

Tabela 5 - Percentual de variação dos Fatores de Vizinhança dos C_{pmp} – C90V0_D2_A2

Fator de Vizinhança F_v, C_{pmp} - C90V0_D2_A2	Quantidade de regiões	Porcentagem %
$F_v, C_{pmp} \leq 1,0$	22	45,83%
$1,0 \leq F_v, C_{pmp} \leq 1,3$	17	35,42%
$F_v, C_{pmp} > 1,30$	9	18,75%

7.1.4 Fator de vizinhança do Cpe média por região – CAARC à 90° e vizinho à 90°

As fig. 7.1-7 e 7.1-8 apresentam os Fatores de Vizinhança dos coeficientes de pressões médias por regiões para C90V90_D2_B1, com vizinho desalinhado, e C90V90_D2_C1, com vizinho oblíquo.

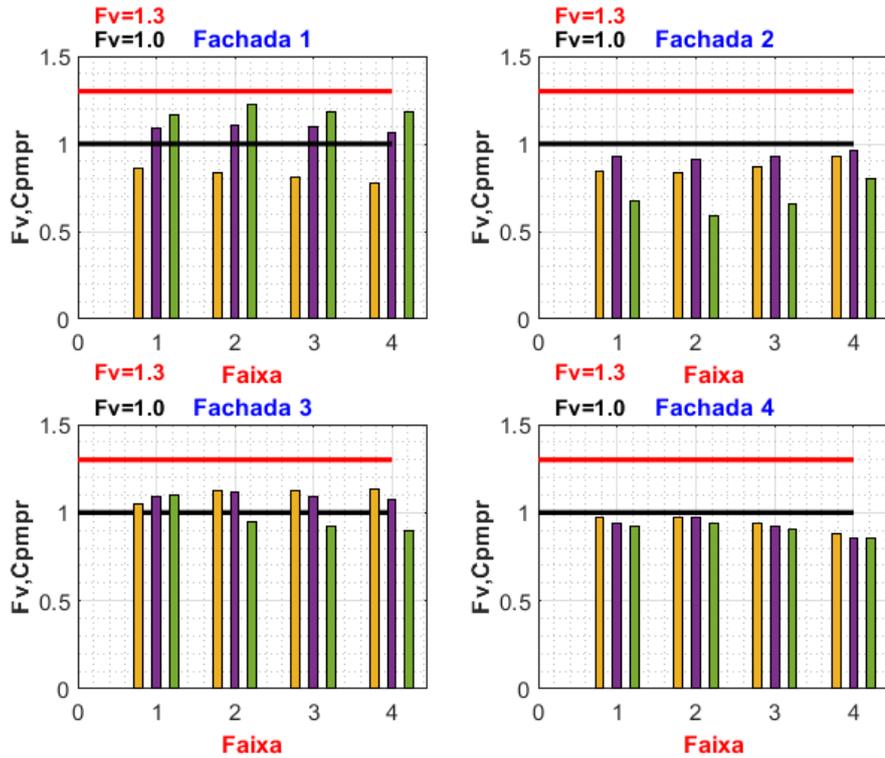


Figura 7.1-7 - Fator de Vizinhança – Coef. de pressões médias por regiões – C90V90_D2_B1

O ensaio com dois vizinhos um fixo e outro desalinhado, não tiveram Fator de vizinhança que ultrapassou o Fv, max delimitado pela norma, apresentando amplificações aerodinâmicas somente nas fachadas $F1$ e $F3$. A tabela 6 representa o percentual de variação dos intervalos do Fatores de Vizinhança de $Cpmpr$ – C90V90_D2_B1.

Tabela 6 - Percentual de variação dos Fatores de Vizinhança dos $Cpmpr$ – C90V90_D2_B1

Fator de Vizinhança $Fv, Cpmpr - C90V90_D2_B1$	Quantidade de regiões	Porcentagem %
$Fv, Cpmpr \leq 1,0$	31	64,58%
$1,0 \leq Fv, Cpmpr \leq 1,3$	17	35,42%
$Fv, Cpmpr > 1,30$	0	0,00%

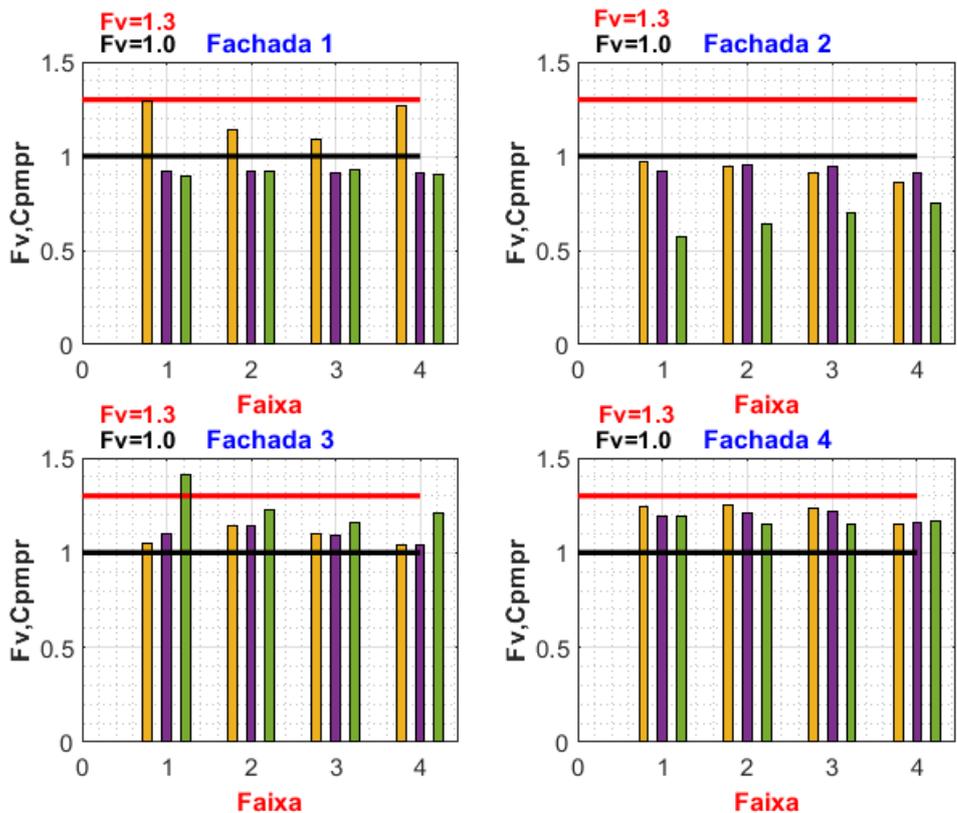


Figura 7.1-8 - Fator de Vizinhança – Coef. de pressões médias por regiões – C90V90_D2_C1

A inserção do vizinho oblíquo apresentou uma única região com Fator de Vizinhança acima de 1,30, localizado na extremidade direita da fachada lateral *F3*. Somente as fachadas *F1* e *F2* apresentaram reduções dos esforços solicitantes, quando comparado com o modelo isolado. A tabela 7 apresenta o percentual de variação dos intervalos dos Fatores de Vizinhança dos coeficientes de pressões médias por região de *C90V90_D2_C1*.

Tabela 7 - Percentual de variação dos Fatores de Vizinhança dos *Cpmpr* -C90V90_D2_C1

Fator de Vizinhança <i>Fv,Cpmpr - C90V90_D2_C1</i>	Quantidade de regiões	Porcentagem %
$Fv,Cpmpr \leq 1,0$	20	41,67%
$1,0 \leq Fv,Cpmpr \leq 1,3$	27	56,25%
$Fv,Cpmpr > 1,30$	1	2,08%

7.2 FATOR DE VIZINHANÇA (F_v) DOS COEFICIENTES DE PRESSÕES DE PICO POR REGIÕES

Os coeficientes de pressões de pico estão diretamente relacionados com as flutuações do escoamento do vento, influenciando na determinação do valor máximo de projeto durante o período de vida útil da edificação. Em um edifício sem vizinhança o escoamento do vento incide diretamente na fachada de barlavento apresentando pequenas flutuações durante o intervalo de tempo de registro dos esforços solicitantes do vento, mas quando há inserção de vizinhança nos ensaios percebe-se como o escoamento do vento passa a ter em algumas situações flutuações excessivas, apresentando uma variância de registro de pressão maior do que registrado no modelo isolado.

O desenvolvimento gráfico dos Fatores de Vizinhança teve como objetivo analisar como a vizinhança ao redor de um edifício pode alterar de forma favorável ou desfavorável os esforços solicitantes máximos que poderão atuar na estrutura.

O coeficiente de pressão de pico por região foi obtido a partir do método de Davenport (1967) e a partir deste foi calculado o Fator de Vizinhança. Na análise dos resultados a região com o maior valor de Fator de Vizinhança não significa que a mesma região possui o maior pico de pressão, mas mostra que essa região foi a que sofreu maior interferência da vizinhança na pressão de pico.

Serão apresentados abaixo os gráficos dos Fatores de Vizinhança dos coeficientes de pressão de pico por região (F_v , C_{pico} , pr) para quatro combinações de rotação do CAARC e da vizinhança, sendo os itens 7.2.1 (CAARC À 0° e VIZINHO À 0°), 7.2.2 (CAARC À 0° e VIZINHO À 90°), 7.2.3 (CAARC À 90° e VIZINHO À 0°) e o item 7.2.4 (CAARC À 90° e VIZINHO À 90°)

7.2.1 Fator de vizinhança do Cpe de pico por região – CAARC à 0° e vizinho à 0°

As fig. 7.2-1 e 7.2-2 apresentam os Fatores de Vizinhança dos coeficientes de pressões de pico por região para as configurações de posicionamento C0V0_A1 e C0V0_A2, os dois vizinhos alinhados ao CAARC produzindo bloqueio total.

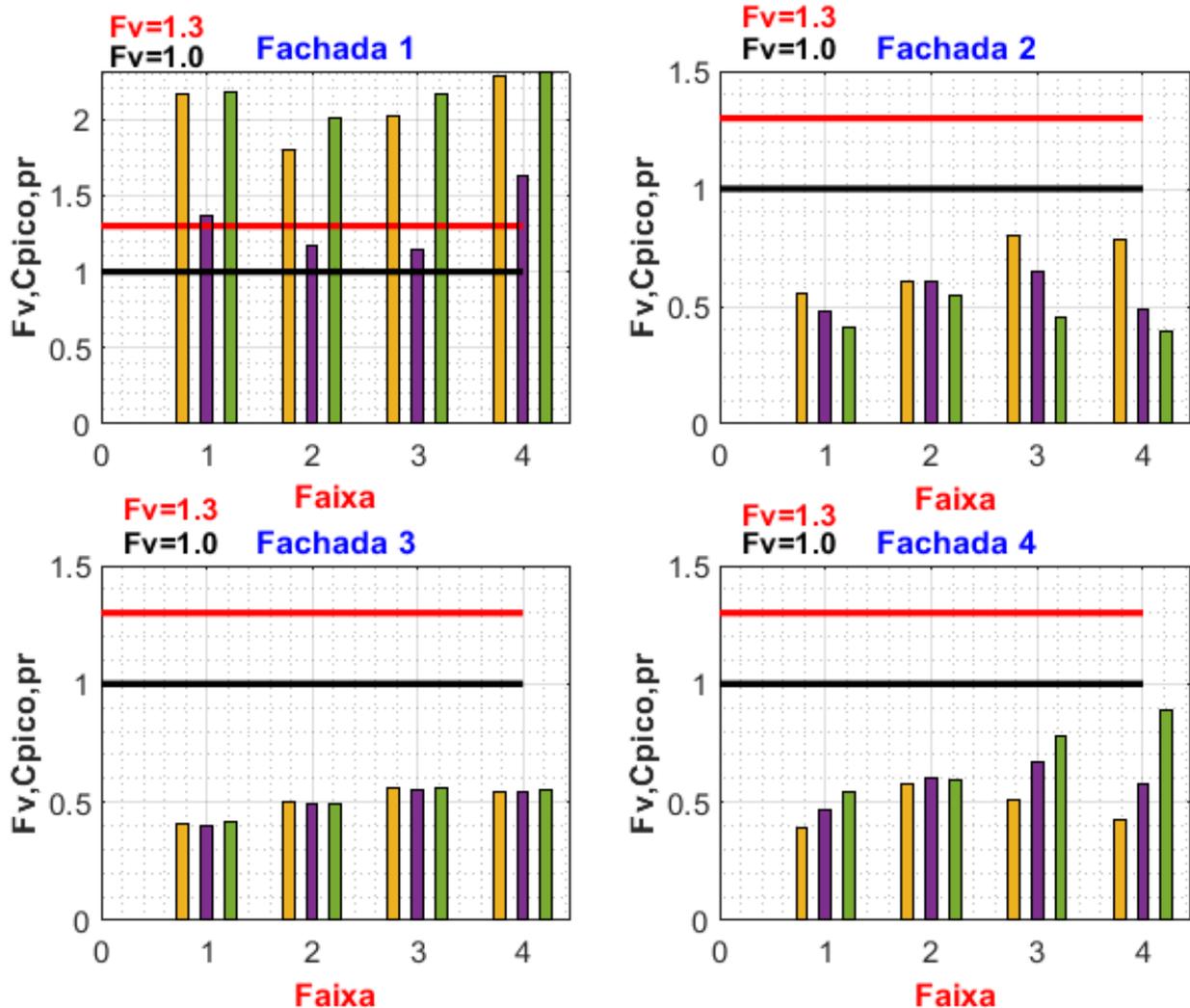


Figura 7.2-1 - Fator de vizinhança dos Coef. de pressões de pico por regiões – COV0_A1

A fachada F1 representa a fachada de barlavento, a qual ocorre alteração de esforços de sobrepressão para sucção em todas as regiões, pois a distância de face a face do CAARC ao vizinho interferente é muito pequena, portanto, essa fachada possui os maiores Fatores de Vizinhança atingindo $F_{v,Cpico,pr} = 2,30$ na extremidade direita do topo do CAARC. As demais fachadas têm reduções das solicitações em todas as regiões, e a tabela 8 apresenta o percentual de variação de cada intervalo do Fator de Vizinhança dos coeficientes de pressão de pico de COV0_A1.

Tabela 8 - Percentual de variação dos Fatores de Vizinhança dos *Cpico,pr* – C0V0_A1

Fator de Vizinhança <i>Fv,Cpico,pr</i> - C0V0_A1	Quantidade de regiões	Porcentagem %
$Fv,Cpico,pr \leq 1,0$	36	75,00%
$1,0 \leq Fv,Cpico,pr \leq 1,3$	2	4,17%
$Fv,Cpico,pr > 1,30$	10	20,83%

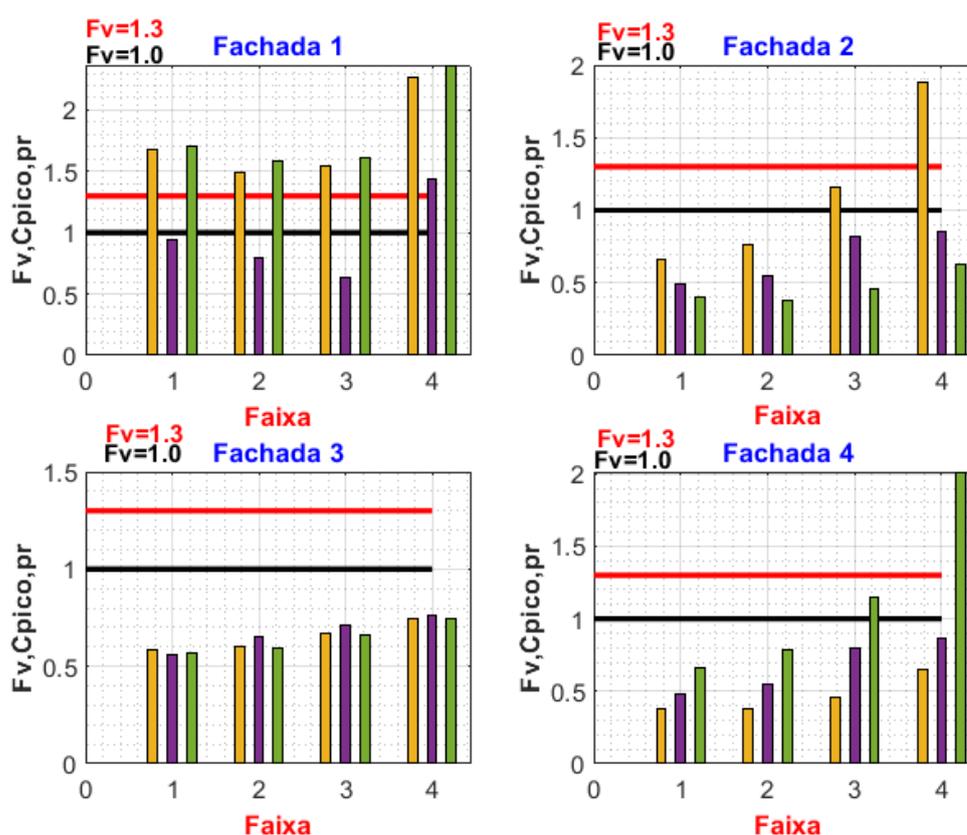


Figura 7.2-2 - Fator de vizinhança dos coef. de pressões de pico por regiões – C0V0_A2

Na situação com o vizinho alinhado A2 a distância entre as faces aumenta, diminuindo os efeitos da esteira de turbulência no CAARC, mas neste ensaio surge ampliações nas fachadas F2 e F4, as quais não tinham com o vizinho A1. O maior $Fv,Cpico,pr = 2,35$ acontece na mesma região do ensaio com o vizinho alinhado A1, na fachada F1, mas surge também um $Fv,Cpico,pr = 2,0$ na fachada lateral F4 localizado na extremidade direita do topo do CAARC. A tabela 9 apresenta o percentual da variação dos intervalos dos Fatores de Vizinhança dos coeficientes de pressões de pico C0V0_A2.

Tabela 9 - Percentual de variação dos Fatores de Vizinhança dos ***Cpico,pr*** – C0V0_A2

Fator de Vizinhança <i>Fv,Cpico,pr</i> - C0V0_A2	Quantidade de regiões	Porcentagem %
$Fv,Cpico,pr \leq 1,0$	35	72,92%
$1,0 \leq Fv,Cpico,pr \leq 1,3$	2	4,17%
$Fv,Cpico,pr > 1,30$	11	22,91%

7.2.2 Fator de vizinhança do Cpe de pico por região – CAARC à 0° e vizinho à 90°

São representadas nas fig. 7.2-3 e 7.2-4 os Fatores de Vizinhança dos coeficientes de pressões de pico por região dos ensaios com C0V90_B1 e C0V90_C1, um vizinho desalinhado e outro oblíquo respectivamente.

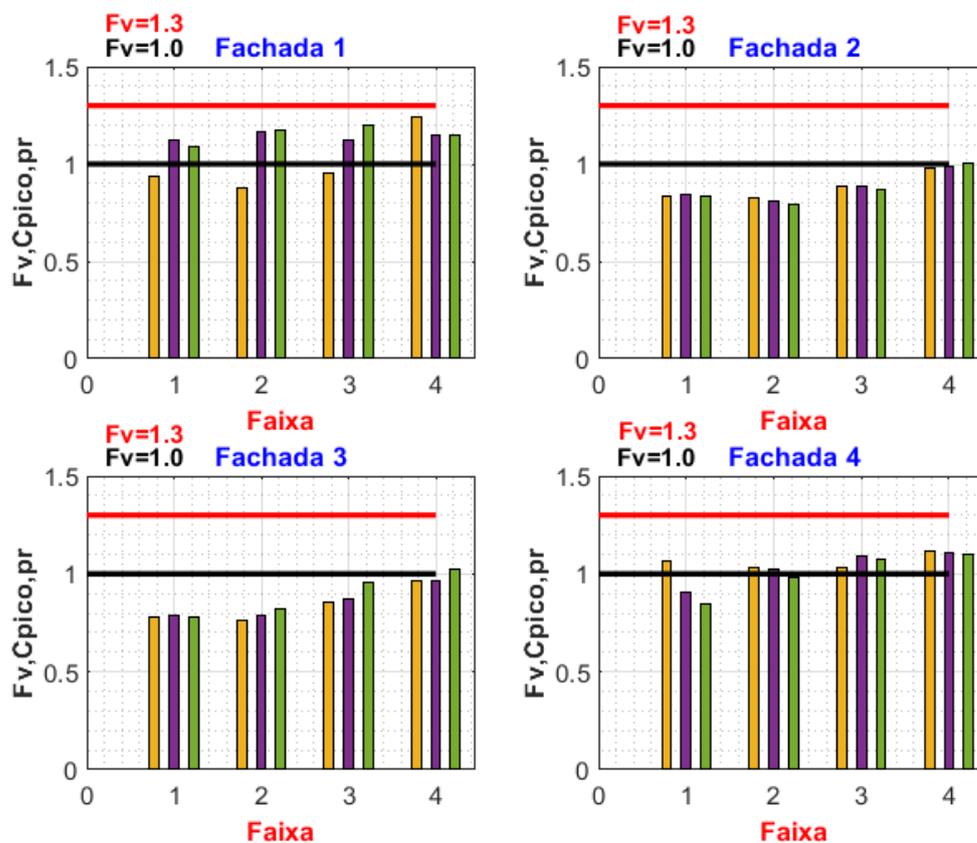


Figura 7.2-3 - Fator de vizinhança dos coef. de pressões de pico por regiões – C0V90_B1

A simulação apresentada na fig. 7.2-3 não teve nenhuma região com uma interferência superior a 30% de amplificação, mas apresentou reduções na maioria das regiões das fachadas F2 e F3. Portanto, na tabela 10 pode-se observar os percentuais de variações de reduções e amplificações dos esforços solicitantes das regiões do ensaio com C0V90_B1.

Tabela 10 - Percentual de variação dos Fatores de Vizinhaça dos **Cpico,pr** – C0V90_B1

Fator de Vizinhaça <i>Fv,Cpico,pr</i> - C0V90_B1	Quantidade de regiões	Porcentagem %
$Fv,Cpico,pr \leq 1,0$	28	58,34%
$1,0 \leq Fv,Cpico,pr \leq 1,3$	20	41,66%
$Fv,Cpico,pr > 1,30$	0	0,0%

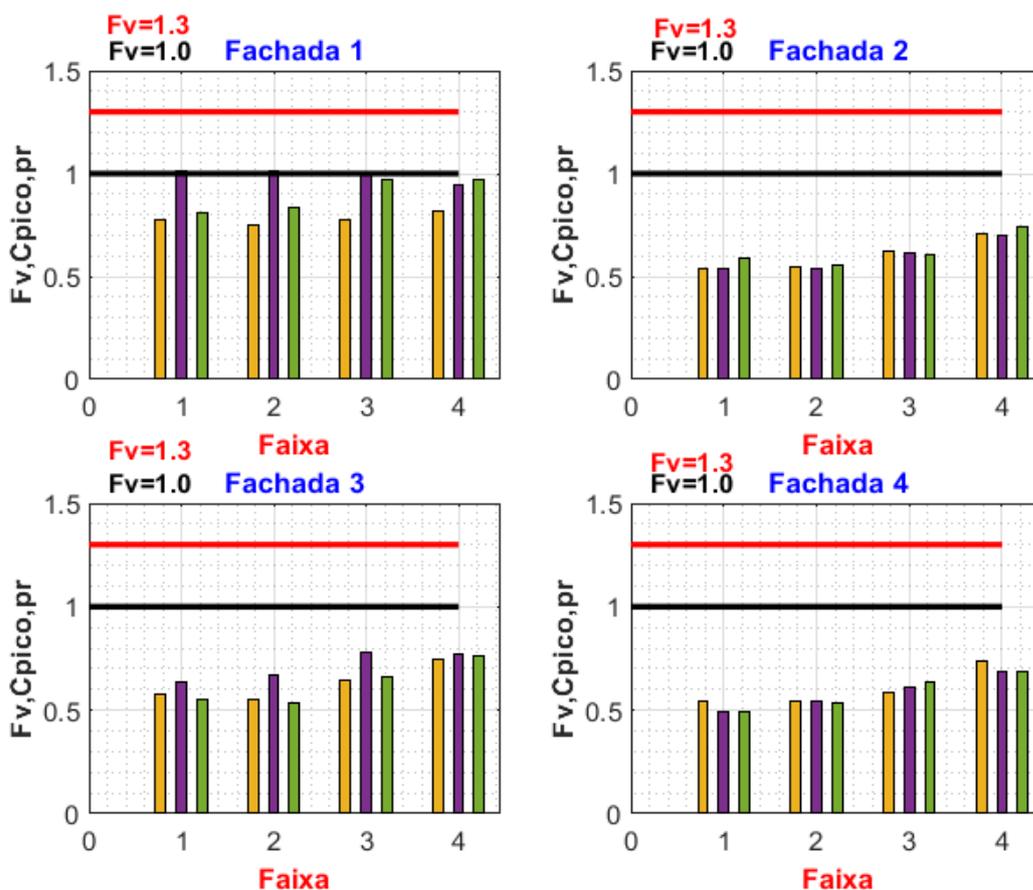


Figura 7.2-4 - Fator de vizinhaça dos coef. de pressões de pico por regiões – C0V90_C1

A simulação com o vizinho oblíquo C1 não apresentou nenhuma amplificação das solicitações de pico das regiões, portanto, provocou apenas efeitos de proteção ao CAARC, atingindo reduções de até 50% dos coeficientes de pico, logo o coeficiente obtido para o modelo isolado atende com total segurança esta configuração de vizinho oblíquo.

7.2.3 Fator de vizinhança do Cpe de pico por região – CAARC à 90° e vizinho à 0°

O ensaio descrito nas fig. 7.2-5 e 7.2-6 apresentam agora dois vizinhos interferentes, com uma posição fixa em D2 e outra variável, exibindo respectivamente os gráficos dos Fatores de Vizinhança de pressão de pico para C90V0_D2_A1 e C90V0_D2_A2.

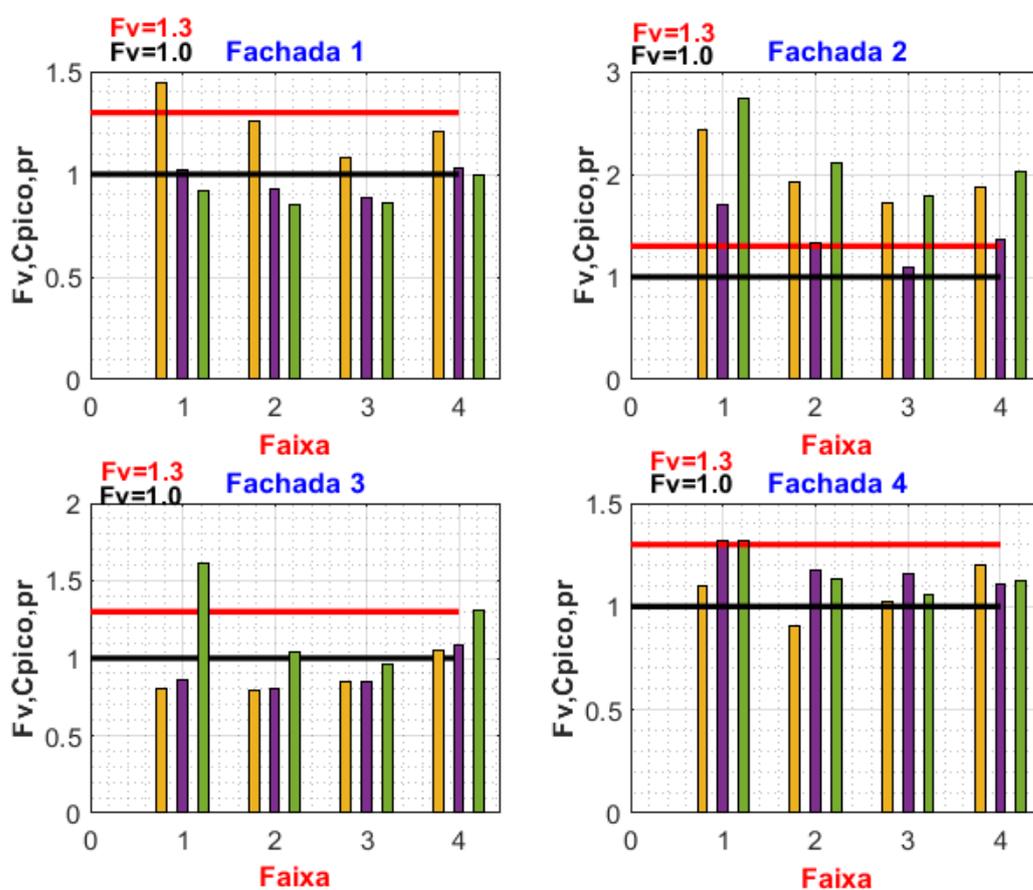


Figura 7.2-5 - Fator de vizinhança dos coef. de pressões de pico por regiões – C90V0_D2_A1

No ensaio realizado com dois vizinhos foi observado uma interferência desfavorável em todas as fachadas, com valores ultrapassando o limite adotado pela norma nas fachadas F_1, F_2, F_3 e F_4 , apontando o maior Fator de Vizinhança na fachada de barlavento F_2 com $F_v, C_{pico}, pr = 2,78$, na fachada F_1 um máximo de $F_v, C_{pico}, pr = 1,45$ e na fachada F_3 um máximo de $F_v, C_{pico}, pr = 1,60$. A tabela 11 apresenta o percentual de variação dos Fatores de Vizinhança dos coeficientes de pico C90V0_D2_A1.

Tabela 11-Percentual de variação dos Fatores de Vizinhança dos *Cpico,pr* – C90V0_D2_A1

Fator de Vizinhança <i>Fv,Cpico,pr</i> - C90V0_D2_A1	Quantidade de regiões	Porcentagem %
$Fv,Cpico,pr \leq 1,0$	13	27,08%
$1,0 \leq Fv,Cpico,pr \leq 1,3$	19	39,58%
$Fv,Cpico,pr > 1,30$	16	33,33%

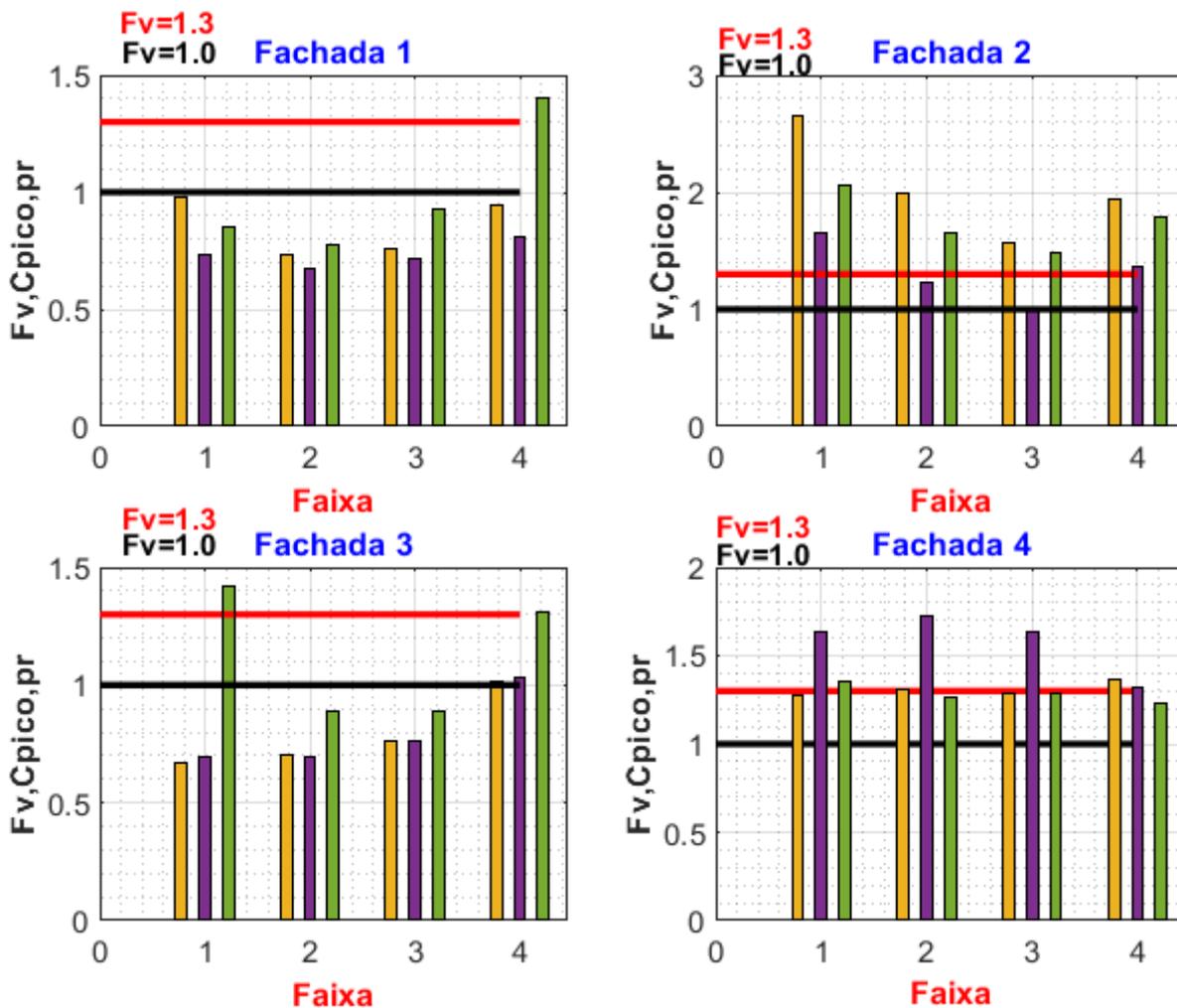


Figura 7.2-6 - Fator de vizinhança dos coef. de pressões de pico por regiões – C90V0_D2_A2

Apesar do distanciamento entre as faces dos edifícios alinhados terem aumentado, os efeitos de interferência acima do limite estabelecido pela norma está presente em todas as fachadas, em que o maior Fator de Vizinhança ocorre na fachada $F2$ de barlavento com $F_v, C_{pico,pr} = 2,65$. A fachada $F1$ apresentou apenas uma região com amplificação dos esforços, localizado na zona de alta sucção do topo do CAARC, já a fachada de sotavento apresentou maiores efeitos interferentes nas regiões centrais das faixas 1, 2 e 3. A tabela 12 apresenta o percentual de variação dos intervalos dos Fatores de Vizinhança dos coeficientes de pico de C90V0_D2_A2.

Tabela 12 Percentual de variação dos Fatores de Vizinhança dos $C_{pico,pr}$ – C90V0_D2_A2

Fator de Vizinhança $F_v, C_{pico,pr}$ - C90V0_D2_A2	Quantidade de regiões	Porcentagem %
$F_v, C_{pico,pr} \leq 1,0$	19	39,58%
$1,0 \leq F_v, C_{pico,pr} \leq 1,3$	9	18,75%
$F_v, C_{pico,pr} > 1,30$	20	41,66%

7.2.4 Fator de vizinhança do Cpe de pico por região – CAARC à 90° e vizinho à 90°

Os Fatores de Vizinhança dos coeficientes de pressões de pico por região apresentados nas fig. 7.2-7 e 7.2-8 correspondem a simulações com dois vizinhos um fixo e um variável, correspondendo respectivamente aos ensaios C90V90_D2_B1 e C90V90_D2_C1.

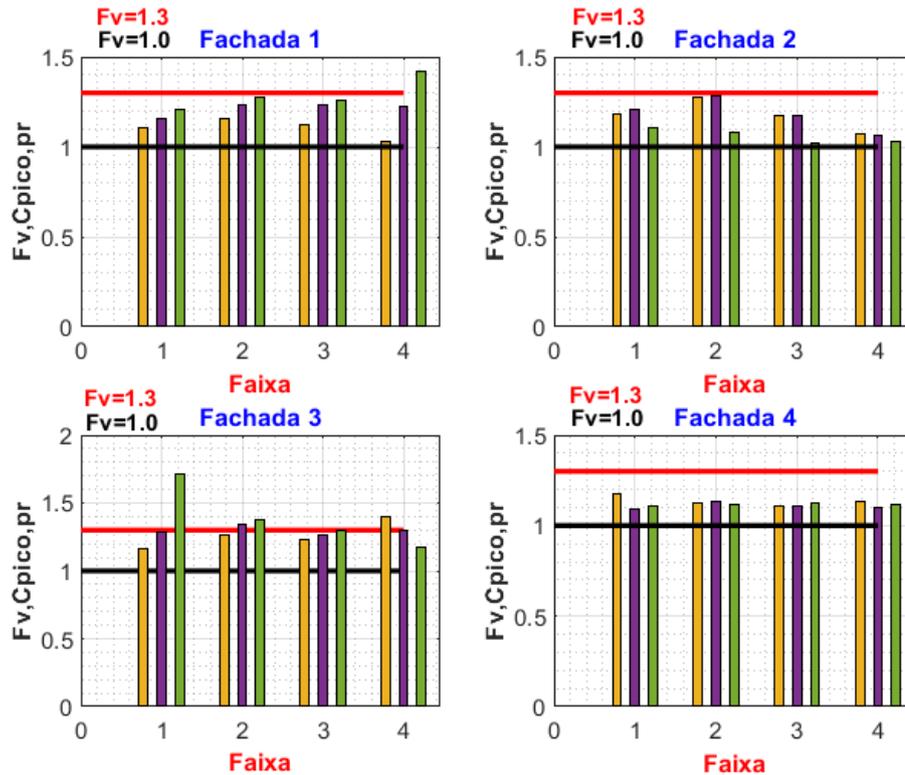


Figura 7.2-7- Fator de vizinhança dos coef. de pressões de pico por regiões – C90V90_D2_B1

O ensaio apresentado indicou somente regiões com efeitos de interferência de vizinhança com amplificação dos esforços solicitantes de pico, não havendo nenhuma região com redução dos coeficientes de pressão de pico. A fachada lateral $F3$ foi a que apresentou o maior efeito interferente de amplificação com $F_v, C_{pico}, pr = 1,70$. A tabela 13 apresenta o percentual de variação dos intervalos dos Fatores de Vizinhança dos coeficientes de pressão de pico C90V90_D2_B1.

Tabela 13 -Percentual de variação dos Fatores de Vizinhança do **Cpico, pr**– C90V90_D2_B1

Fator de Vizinhança $F_v, C_{pico}, pr - C90V90_D2_B1$	Quantidade de regiões	Porcentagem %
$F_v, C_{pico}, pr \leq 1,0$	0	0,00%
$1,0 \leq F_v, C_{pico}, pr \leq 1,3$	43	89,58%
$F_v, C_{pico}, pr > 1,30$	5	10,42%

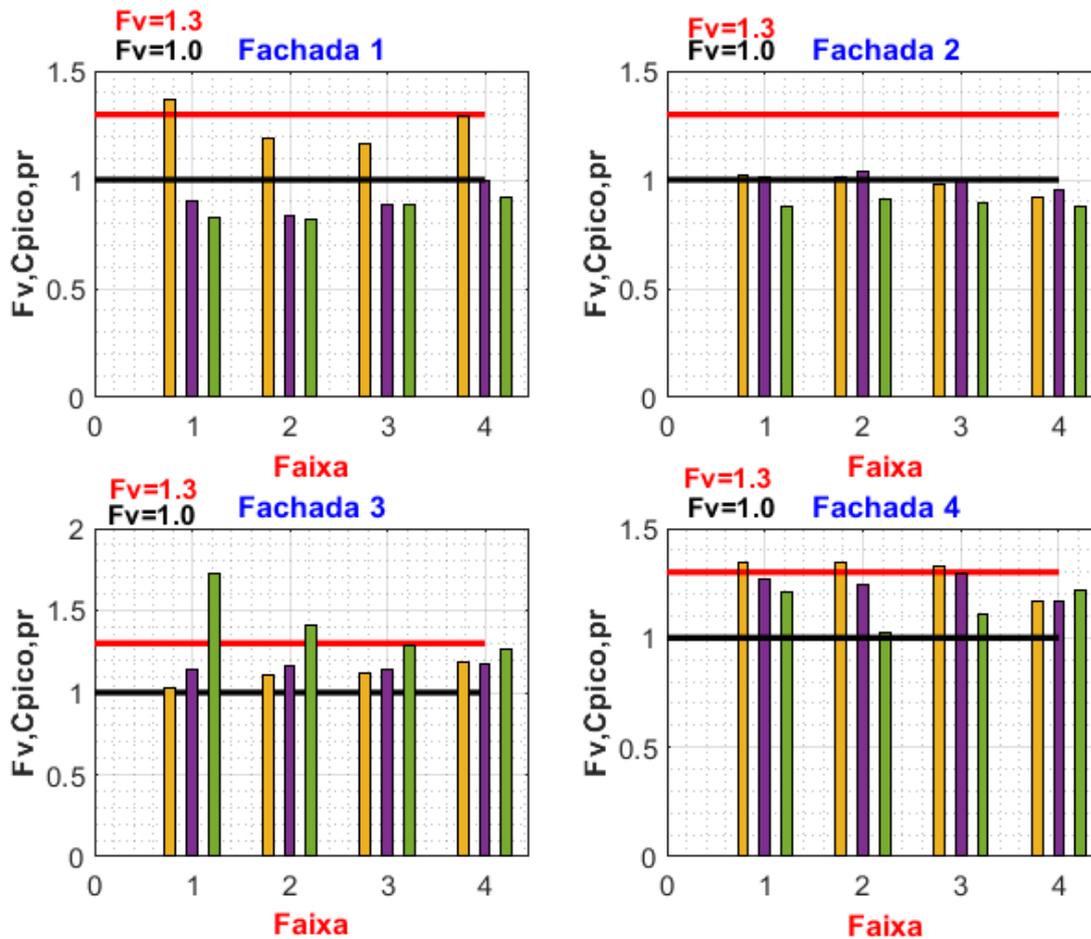


Figura 7.2-8- Fator de vizinhança dos coef. de pressões de pico por regiões – C90V90_D2_C1

A fig. 7.2-8 apresenta nas fachadas *F3* e *F4* somente Fatores de Vizinhança de amplificação dos esforços atuantes, atingindo um valor máximo em *F3* com $Fv, Cpico, pr = 1,73$. Este ensaio apresenta uma situação que os maiores efeitos de vizinhanças acontecem nas fachadas laterais e de sotavento. A tabela 14 apresenta o percentual das variações dos Fatores de Vizinhança dos coeficientes de pressões de pico por região de C90V90_D2_C1.

Tabela 14-Percentual de variação dos Fatores de Vizinhança do ***Cpico, pr*** –C90V90_D2_C1

Fator de Vizinhança <i>Fv,Cpico,pr</i> - C90V90_D2_C1	Quantidade de regiões	Porcentagem %
$Fv, Cpico, pr \leq 1,0$	15	31,25%
$1,0 \leq Fv, Cpico, pr \leq 1,3$	27	56,25%
$Fv, Cpico, pr > 1,30$	6	12,50%

8. CONCLUSÕES

O presente estudo realizou um processamento numérico dos dados obtidos em ensaios experimentais no túnel de vento Joaquim Blessmann realizados por Lâvor (2023). Das posições dos edifícios vizinhos ensaiados por Lâvor (2023) foram selecionados apenas as posições A1, A2, B1 e C1, e nos ensaios para dois edifícios vizinhos fixou-se um edifício na posição D2, variando apenas o segundo edifício em A1, A2, B1 e C1 novamente. Desta forma foram processados pela rotina de cálculo desenvolvida em programa numérico 34 configurações diferentes de posicionamentos e rotações dos edifícios vizinhos.

No presente estudo foi realizado uma nova divisão das fachadas por regiões, totalizando 12 regiões por fachada com agrupamento de 4, 6 ou 9 pontos de tomada de pressão. A partir da divisão em regiões foi implementado o método estatístico de Davenport (1967) para determinar os coeficientes de pressões de pico por regiões. Os Fatores de Vizinhaça foram determinados para os coeficientes de pressões médias e de pico por regiões possibilitando identificar quais regiões sofreram ampliações ou reduções dos esforços solicitantes das fachadas, quando comparados com o edifício isolado.

Portanto para compreender e interpretar de forma simples os efeitos interferentes de vizinhanças foram elaborados quatro gráficos de barras para cada ensaio, sendo respectivamente dos coeficientes de pressões médias por tomadas, coeficientes de pressões médias por regiões, Fatores de Vizinhaças dos coeficientes de pressões médias por regiões e do Fatores de Vizinhaças das pressões de pico por regiões. A partir das análises técnicas dos resultados apresentados pode-se concluir de forma mais relevante:

- (1) Os ensaios realizados com o modelo CAARC isolado apresentaram valores equivalentes aos determinados na NBR6123:2023, com exceção da fachada *F3* (sotavento) do ensaio *C0_ISO* que apresentou coeficientes de pressões médias 60% maiores que os indicados normativamente.
- (2) A inserção de vizinhança ao redor de um modelo de edifício pode provocar na mesma situação ensaiada, efeitos de proteção, com redução dos coeficientes de pressão média e efeitos de ampliações, com aumento dos coeficientes. Esta situação pode ser observada no ensaio com *C90V0_D2_B1*, onde na fachada *F1* ocorre redução dos coeficientes de pressões médias por tomada na extremidade próxima a fachada de sotavento, mas ocorre simultaneamente uma ampliação dos

coeficientes de pressões médias por tomada na zona de alta sucção da mesma fachada *F1*, com coeficientes de sucções de até $-1,35$. Desta forma, fica evidente a alta complexidade da determinação dos coeficientes de pressões médias com interferência de vizinhança.

- (3) A inserção de vizinhos alinhados com bloqueio total do vento produz a princípio efeitos de proteção em todas as fachadas, mas foi observado que quando as faces das edificações estão muito próximas como é visto no ensaio *C0V0_A1*, o modelo CAARC fica posicionado na esteira de turbulência do edifício *A1*, acarretando grandes esforços solicitantes de pressões de sucções na fachada de barlavento. Já quando há um distanciamento maior como apresentado no ensaio *C0V0_A2* estes esforços são reduzidos em todas as fachadas, apresentando a maior redução na fachada de barlavento com coeficientes de pressões próximos de zero.
- (4) Situações como a apresentada na configuração *C0V90_A2*, mostram que, mesmo em situações com reduções dos esforços na fachada à barlavento abaixo do ponto de estagnação do escoamento do vento, ainda ocorrem efeitos de ampliações nas zona de alta sucção das fachadas laterais, apresentando sucção com coeficientes de pressão média de até $-1,50$, correspondente a um aumento de 25% quando comparado ao valor da NBR6123:2023 para a zona de alta sucção, e quando comparado com o valor obtido de forma isolada apresenta um aumento de 50%.
- (5) Foi constatado que ensaios com dois vizinhos produzem maiores turbulências no escoamento do vento, apresentando inclusive as maiores flutuações de pressões ao longo do tempo. Este fato pode ser observado quando se compara os ensaios somente com o vizinho *A2*, o qual apresenta na fachada de barlavento coeficientes próximos de zero, já em ensaios com *D2* e *A2* há coeficientes de pressões médias de sucções próximos a $-0,80$.
- (6) As principais interferências com ampliações ocorrem nas zonas 8, 9 e 10 das fachadas laterais e de barlavento do edifício padrão CAARC, em que esta zona representa o topo do edifício acima do ponto de estagnação do escoamento do vento representando em média 20% a 30% da altura do edifício.
- (7) Analisando os Fatores de Vizinhanças dos coeficientes de pressões médias por região, pode-se concluir que a inserção de um ou dois vizinhos ao redor de um

edifício provoca mais reduções dos esforços solicitantes do que ampliações quando comparado com modelo isolado.

Nos Fatores de Vizinhança dos coeficientes de pressões médias por regiões apresentados e discutidos no corpo do trabalho 66,66% das regiões apresentaram reduções dos coeficientes, enquanto 25,26% das regiões apresentaram ampliações dentro do intervalo previsto pela NBR6123:2023 ($1,0 \leq F_v, C_{pmpr} \leq 1,3$) e por fim 8,08% regiões apresentaram ampliações superiores as correções propostas pela norma.

- (8) Quando analisamos os Fatores de Vizinhança dos coeficientes de pressões de pico por região é observado que praticamente 50% das regiões sofrem reduções dos coeficientes de pico e 50% sofrem ampliações dos esforços de pressão.

Nos Fatores de Vizinhança dos coeficientes de pressões de pico por regiões apresentados e discutidos no corpo do trabalho 50,52% das regiões apresentaram reduções dos coeficientes, já para o intervalo normativo $1,0 \leq F_v, C_{pico,pr} \leq 1,3$ foi observado em 31,77% das regiões e 17,71% das regiões tiveram ampliações acima do previsto pela NBR6123:2023.

- (9) A fachada de sotavento é a região que sofre a menor interferência nas distribuições de pressões médias e de pico. Mas é necessário atenção a esta região pois a inserção de um vizinho a sotavento do CAARC pode produzir efeitos de martelamento em ambas as estruturas, necessitando, portanto, de maiores estudos com vizinhos a sotavento.

- (10) Os maiores efeitos de interferência de vizinhança com ampliações dos esforços solicitantes ocorrem na região de barlavento, quando há bloqueio total do CAARC, isto é, quando há edificação na posição A1 ou A2 (vizinhança alinhada). Quando não há bloqueio total as regiões que apresentam maiores efeitos de interferência de vizinhança com ampliações são as fachadas laterais, principalmente nas zonas de alta sucção.

- (11) A inserção de dois edifícios vizinhos ao redor do CAARC acarretam maiores flutuações das pressões ao longo do tempo quando comparado a ensaios somente com um vizinho, portanto, situações com dois vizinhos produzem maiores efeitos

de interferência de vizinhança com ampliações dos esforços solicitantes, apresentando mais regiões com Fatores de Vizinhança no intervalo de $1,0 \leq F_v, C_{pico,pr} \leq 1,3$) e superiores com $F_v, C_{pico,pr} > 1,30$.

Sabendo que o presente estudo é uma contribuição para a análise dos efeitos de interferência de vizinhança nas distribuições de pressões médias e de pico, fica evidente que é necessária uma grande quantidade de estudos para conseguir abordar e elaborar adequadamente técnicas experimentais e numéricas para auxiliar os projetos estruturais para suportar os esforços horizontais do vento, principalmente devido a aumento constante de edifícios cada vez mais altos. Portanto, serão apresentadas, a seguir sugestões para trabalhos futuros em análises dos efeitos interferentes de vizinhança, com os seguintes temas de pesquisa:

- Estudo experimental dos efeitos interferentes com edifícios vizinhos próximos a fachada de sotavento;
- Elaboração de procedimento numérico para determinação dos coeficientes de pressões de pico utilizando o método Cook and Mayne (1980);
- Elaboração de estudo experimental com dois edifícios alinhados ao CAARC;
- Elaboração de estudo experimental com a inserção de 4 edifícios vizinho simultâneos posicionados nos ângulos 0° , 90° , 180° e 270° em relação a incidência do vento, variando o distanciamento do CAARC com as edificações vizinhas.

REFERÊNCIAS

- ALBERTI, F. A. **Determinação experimental em túnel de vento dos efeitos estáticos de proteção causados por edificações vizinhas: Contribuição para a revisão dos fatores de vizinhança da NBR-6123.** Dissertação de mestrado, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Porto Alegre. 123p. 2015.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6123: Forças devidas ao vento em edificações.** Rio de Janeiro. 2023.
- BAILEY, P. A. e KWOK, K. C. S. **Interference excitation of twin tall buildings.** Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, 21 ed., p. 323-338. 1985
- BARTOLI, G., MANNINI, C. e MASSAI, T. **Quasi-static combination of wind loads: A copula-based approach.** Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, 99 ed., p. 672-681. 2011.
- BENIA, M. C. D. **Determinação dos Efeitos de Vizinhança na Resposta Dinâmica de Edifícios Altos sob a Ação do Vento.** Dissertação de mestrado, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Porto Alegre. 111p. 2013.
- BLESSMANN, J. **Ação do vento em edifícios.** Ed. UFRGS, Porto Alegre, 1989.
- **Aerodinâmica das Construções.** Sagra, Porto Alegre, 1990.
- **Intervalo de tempo para cálculo da velocidade básica do vento.** 3ª. Ed. UFRGS, Porto Alegre, 1988.
- **Introdução ao estudo das ações dinâmicas do vento.** 2ª. Ed. UFRGS, Porto Alegre, 2005.
- **Buffeting effects on neighbouring tall buildings.** Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, 18 ed., p. 105-110. 1985. 123 — **Neighbouring wind effects on two tall buildings.** Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, 41-44 ed., p. 1041-1052. 1992.
- **O vento na engenharia estrutural.** Ed. UFRGS, Porto Alegre, 1995.
- BLESSMANN, J., e RIERA, J. D. **Interaction effects in neighbouring tall buildings.** FIFHT INTERNATIONAL CONFERENCE. Pergamon Press Inc. Amsterdam, v. I, p. 381-396. 1979.
- **Wind Excitation of Neighbouring Tall Buildings.** Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, v. 18, p. 91-103. 1985.
- BORTOLI, M. E. **Efeito do entorno urbano sobre as ações do vento em edifícios.** Tese de doutorado, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Porto Alegre. 214p. 2005.

CAMPBELL, R. “Builder Faced Bigger Crisis Than Falling Windows.” Artigo publicado no periódico *The Boston Globe*, 3 de Março de 1995.

CARPEGGIANI, E. A. **Determinação dos Efeitos Estáticos de Torção em Edifícios Altos Devidos à Ação do Vento.** Dissertação de mestrado, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Porto Alegre. 160p. 2004.

COOK, N. J., e MAYNE, J. R. **A novel working approach to the assessment of wind loads for equivalent static design.** *Journal of Industrial Aerodynamics*, 4 ed., p. 149-164. 1979.

COOK, N.J., MAYNE, J.R., 1980. A refined working approach to the assessment of wind loads for equivalent static design. *J. Wind Eng. Ind. Aerodyn.* 6, 125–137.

DAVENPORT, A. G. Note on the distribution of the largest value of a random function with application to gust loading. in *Proc. Institution of Civil Engineers*, v. 28, paper 6739, p. 187-196, 1964.

DAVENPORT, A.G., 1967, Gust loading factors, *Journal of Structural Division*, ASCE, v.93, pp. 11-34.

EUROCODE. EN 1990: Basis of Structural Design – Annex C: Basis for Partial Factor Design and Reliability Analysis, European Committee for Standardization, Brussels. 2002.

FONTES, A. C. D. **Importância dos efeitos de vizinhança na resposta dinâmica de um edifício à ação do vento.** Dissertação de mestrado, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Porto Alegre. 155p. 2003.

FONTOURA, P. C. C. N. O. **Estudo experimental em túnel de vento dos efeitos de vizinhança em edifícios altos.** Tese de doutorado, Universidade de Brasília, Programa de Pós-Graduação em Estruturas e Construção Civil. Brasília. 318p. 2014.

Fundo de População das Nações Unidas. **Situação da população mundial 2007: Desencadeando o Potencial do Crescimento Urbano.** Nova Iorque, 2008.

HARRIS, C. L. **Influence of neighboring structures on the wind pressure on tall buildings.** *Bureau of Standards Journal of Research*, p. 103-118. 1934.

HOLMES, J. D. **Effective static load distributions in wind engineering.** *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 90 ed., p. 91-109. 2002.

—. **Wind loading of structures.** Spon Press. London. 2004.

H. CUI, H. AN, M. MA, Z. HAN, S. C. SAHA, AND Q. LIU. Experimental Study on Wind Load and Wind-Induced Interference Effect of Three High-Rise Buildings. *Journal of Applied Fluid Mechanics*, Vol. 16, No. 11, pp. 2101-2114, 2023. <https://doi.org/10.47176/jafm.16.11.1897>.

HUI, Y., TAMURA, Y., YOSHIDA, A. e KIKYCHI, H. **Pressure and flow field investigation of interference effects on external pressures between high-rise 125 buildings.** Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, 115 ed., p. 150-161. 2013.

INSTITUTO PORTUGUÊS DA QUALIDADE. EUROCÓDIGO. **Eurocódigo 1 - Ações em estruturas. Parte 1-4: Ações gerais - Ações do vento.** Caparica. 162p. 2010.

KAREEM, A. **The effect of aerodynamic interference on the dynamic response of prismatic structures.** Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, 25 ed., p. 365-372. 1987.

KHANDURI, A. C., STATHOPOULOS, T. e BEDARD, C. **Wind-induced interference effects on buildings - a review of the state-of-the-art.** Engineering Structures, 7 ed. p. 617-630. 1998.

KIM, W., TAMURA, Y. e YOSHIDA, A. Interference effects on local peak pressures between two buildings. Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, 99 (2011) 584–600.

KIM, W., YOSHIDA, A. e TAMURA, Y. **Variability of Local Wind Forces on Tall Buildings due to Neighboring Tall Building.** 14th International Conference on Wind Engineering. Porto Alegre, 12p. 2015.

KIM, W., TAMURA, Y. e YOSHIDA, A. **Interference effects on aerodynamic wind forces between two buildings.** Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, 147 ed., p. 186-201. 2015.

LAVÔR, T. F. A. Efeitos de vizinhança associados a fenômenos aerodinâmicos quase estáticos e ressonantes. Tese (doutorado), Universidade de Brasília, Faculdade de Tecnologia, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, 2023.

LAVÔR, T.F.A.; de Brito, J.L.V.; Loredó-Souza, A.M. Interference effects mapping on the static wind loading of a tall building. Lat. Am. J. Solids Struct. 2023, 20, e484. <https://doi.org/10.1590/1679-78257330>.

LOREDO-SOUZA, A. M., SCHETTINI, E. B. C. e PALUCH, M. J. **Simulação da camada limite atmosférica em túnel de vento.** IV Escola de Primavera de Transição e Turbulência. Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. 27p. 2004.

LOREDO-SOUZA, A. M., NUNEZ, G. J. Z., OLIVEIRA, M. G. K., SIQUEIRA, G. M. e BENIA, M. C. D. **Majorações e Reduções nas Cargas de Vento em Edifícios Altos de Concreto Armado: Influência de Prédios Vizinhos.** 51º Congresso Brasileiro de Concreto CBC 2009 - IBRACON. Curitiba. 16p. 2012.

MELBOURNE, W. H. **Comparison of measurements on the CAARC Standard Tall Building model in simulated model wind flows.** *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 6 ed., p. 79-88. 1980.

MING GU. ZHUANG-NING XIE. Interference effects of two and three super-tall buildings under wind action. *Acta Mech. Sin.* (2011) 27(5):687–696. DOI 10.1007/s10409-011-0498-9.

NAGAR, S. K., RAJ, R. & DEY, N. (2022). Proximity effects between two plus-plan shaped high-rise buildings on mean and RMS pressure coefficients. *Scientia Iranica, A* 29(3), 990-1005. <https://doi.org/10.24200/sci.2021.55928.4484>.

OLIVEIRA, M. G. K. **Desenvolvimento de uma Balança Dinâmica de Três Graus de Liberdade para Estudos dos Efeitos de Flexo-Torção em Edifícios Altos Submetidos à Ação do Vento.** Tese de doutorado, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Porto Alegre. 207p. 2009.

REIS, M. N.; LAVÔR, T. F. A.; PANTOJA, J. C.; BRITO, J. L. V. Numerical-experimental study of neighboring wind effects on tall buildings related to serviceability via reliability. *IBRACON Structures and Materials Journal* 2021.

SALES, J. J., MALITE, M. e GONÇALVES, R. M. **Ação do Vento nas Edificações.** EDUSP, São Carlos. 111P. 1994.

TANIIKE, Y. **Interference mechanism for enhanced wind forces on neighboring tall buildings.** *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 41-44 ed., p. 1073-1083. 1992.

TANIIKE, Y., e INAOKA, H. **Aeroelastic behavior of tall buildings in wakes.** *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, v. 28, p. 317-327. 1988.

THEPMONGKORN, S., WOOD, G. S. e KWOK, K. C. S. **Interference effects on wind-induced coupled motion of a tall building.** *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, v. 90, p. 1807-1815. 2002.

VIEIRA, G. S. Estudo experimental dos esforços solicitantes em um edifício alto devidos à ação do vento considerando a influência de edificações vizinhas. 2016. 205p. Tese (Doutorado). Universidade de Brasília, Faculdade de Tecnologia, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, 2016.

WISE, A. F. E. Effects due to groups of buildings. *Philosophical Transactions of the Royal Society, Grã-Bretanha*, v. 269, p. 469-485, 1971.

YU, X.F., XIE, Z.N., ZHU, J.B., et al. \Interference effects on wind pressure distribution between two high-rise buildings, J. Wind Eng. Ind. Aerodyn. 142 (2015) 188-197. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jweia.2015.04.008>.

APÊNDICE A (GRÁFICOS COM EDIFÍCIOS INTERFERENTES)

O desenvolvimento deste estudo forneceu uma grande quantidade de dados a serem analisados, dos quais foram selecionados e apresentadas somente 32 situações para inclusão no corpo da dissertação, discussão e análises dos gráficos obtidos, sendo 8 gráficos dos coeficientes de pressões médias por tomada, 8 gráficos dos coeficientes de pressões médias por regiões, 8 gráficos dos Fatores de Vizinhaça dos coeficientes de pressões médias por regiões e 8 gráficos dos Fatores de Vizinhaça dos coeficientes de pressões de pico por regiões. Portanto será agora anexado a este estudo todos os resultados obtidos, inclusive os já apresentados e discutidos no corpo da dissertação, a fim de fornecer dados suficientes para estudos comparativos e validações de resultados.

Para devida organização e compreensão o apêndice será dividido em quatro partes, em que cada uma apresentará respectivamente os coeficientes de pressões médios por tomada e por região e os fatores de vizinhanças dos coeficientes de pressões médias e de pico por regiões.

APÊNDICE A.1 – COEFICIENTES DE PRESSÕES MÉDIAS POR TOMADA

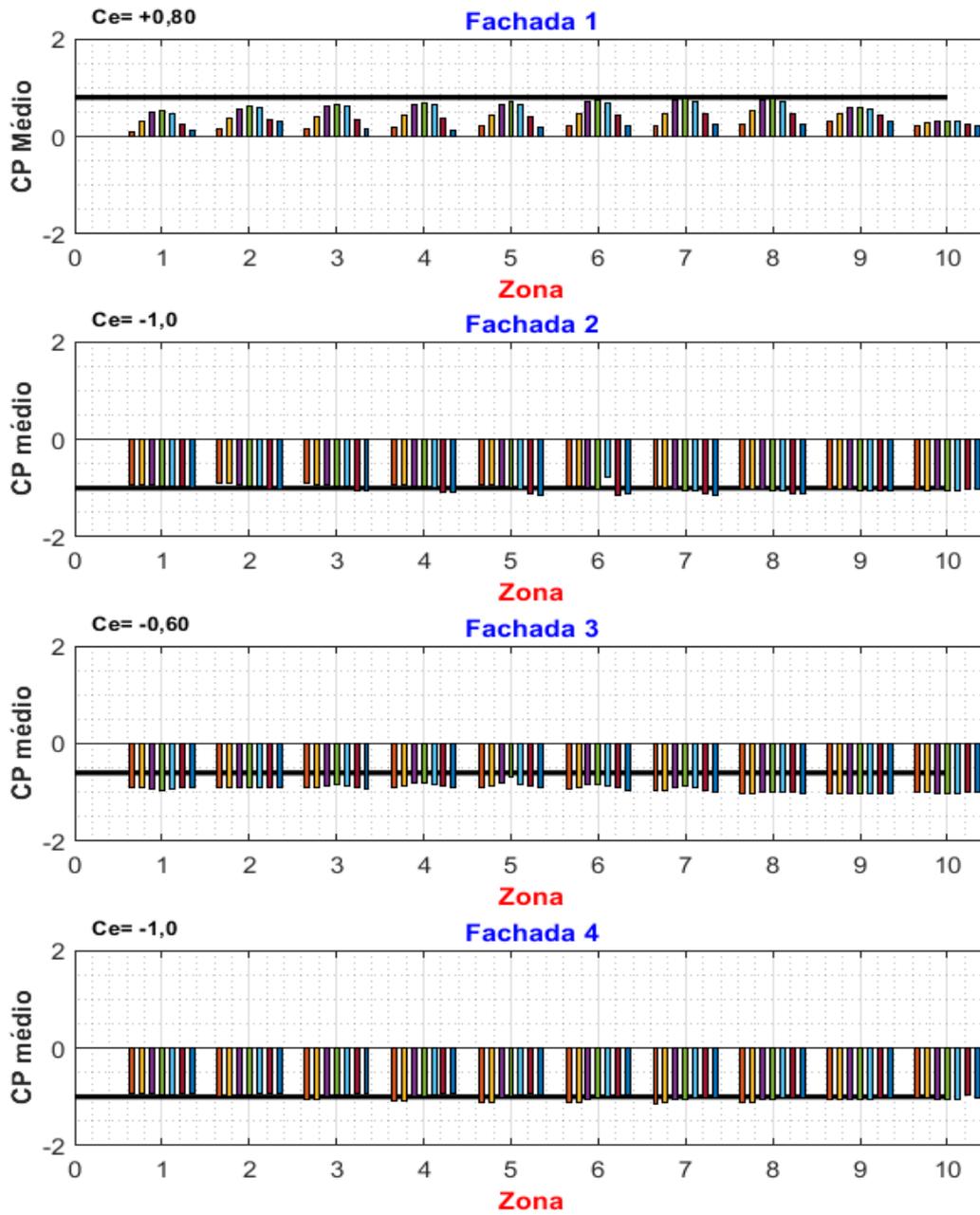


Figura A-1 - Gráfico dos coeficientes de pressões médias por tomada – C0_ISO

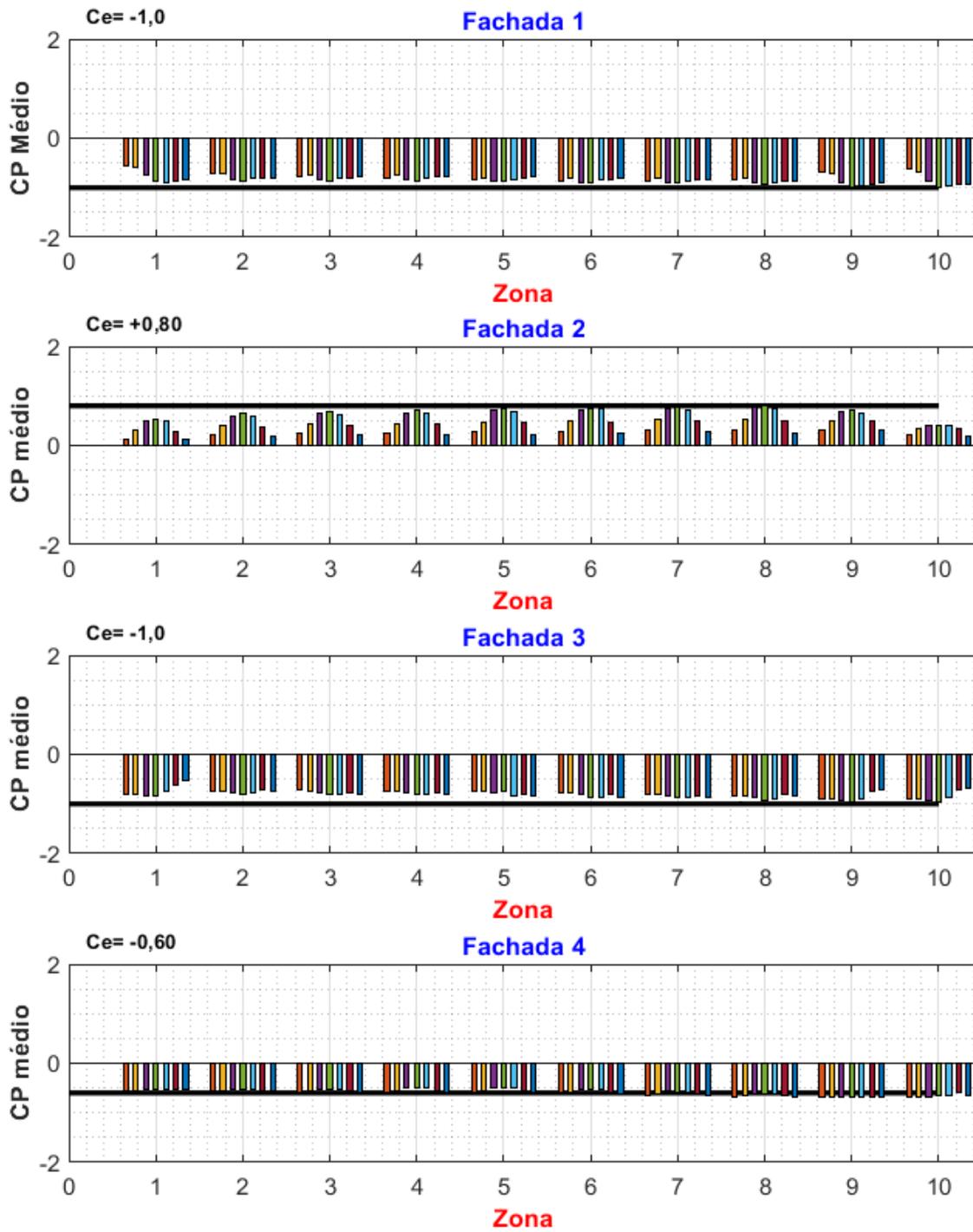


Figura A-2 - Coeficientes de pressões médias por tomada – C90_ISO

A.1.1 - Coeficiente de pressão média por tomada – CAARC à 0° e vizinho à 0°

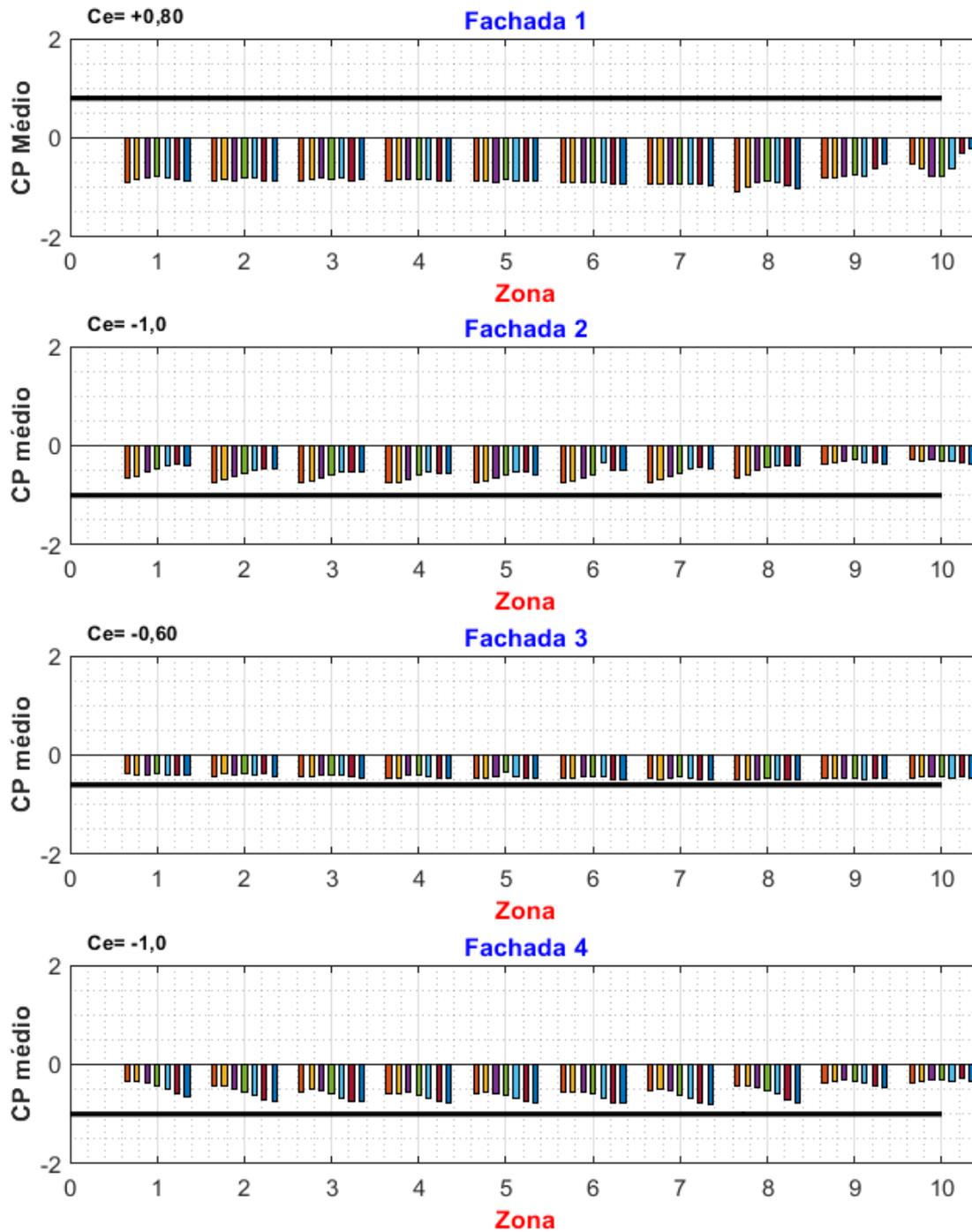


Figura A-3 - Coeficientes de pressões médias por tomada – C0V0_A1

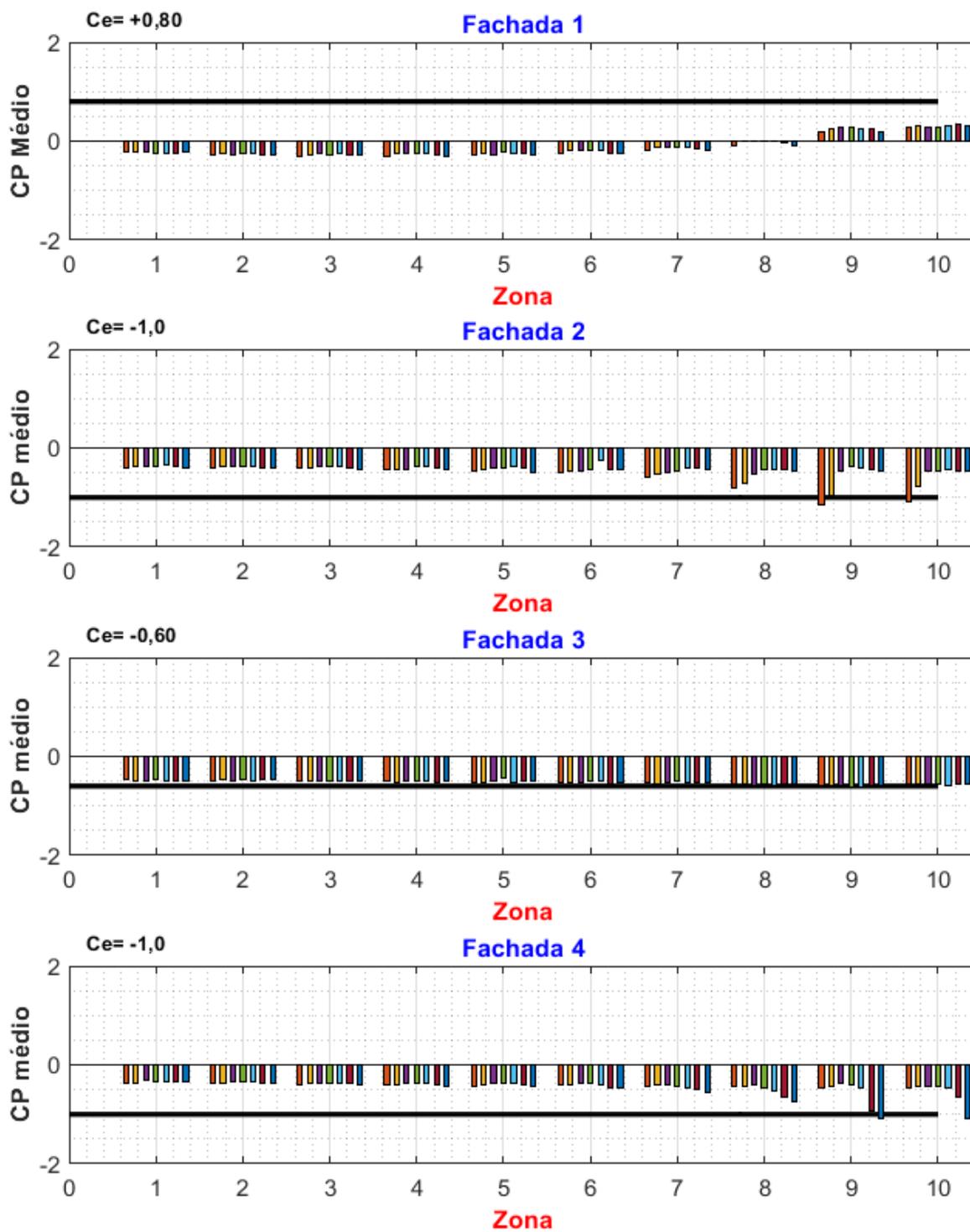


Figura A-4 - Coeficientes de pressões médias por tomada – C0V0_A2

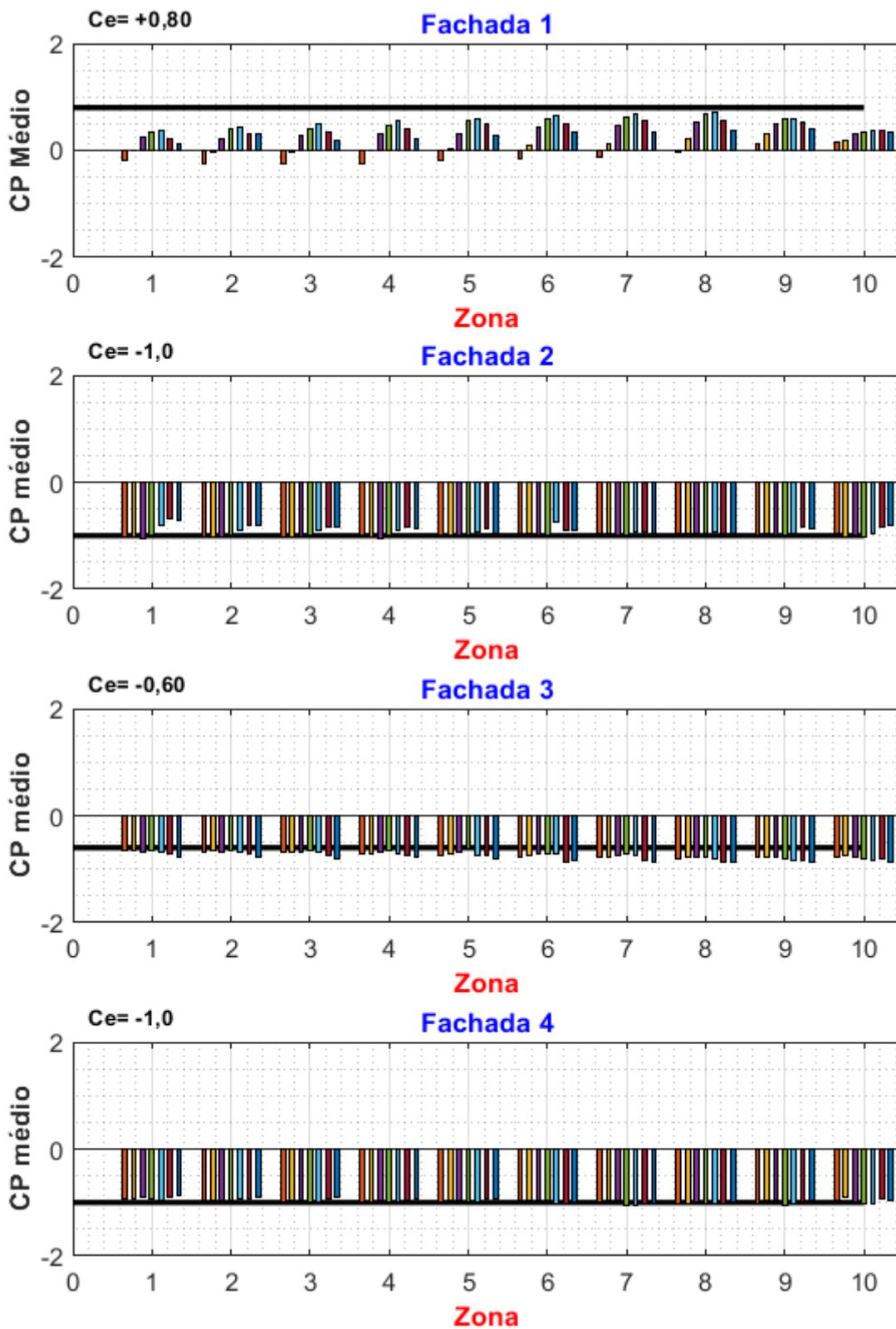


Figura A-5 - Coeficientes de pressões médias por tomada – COV0_B1

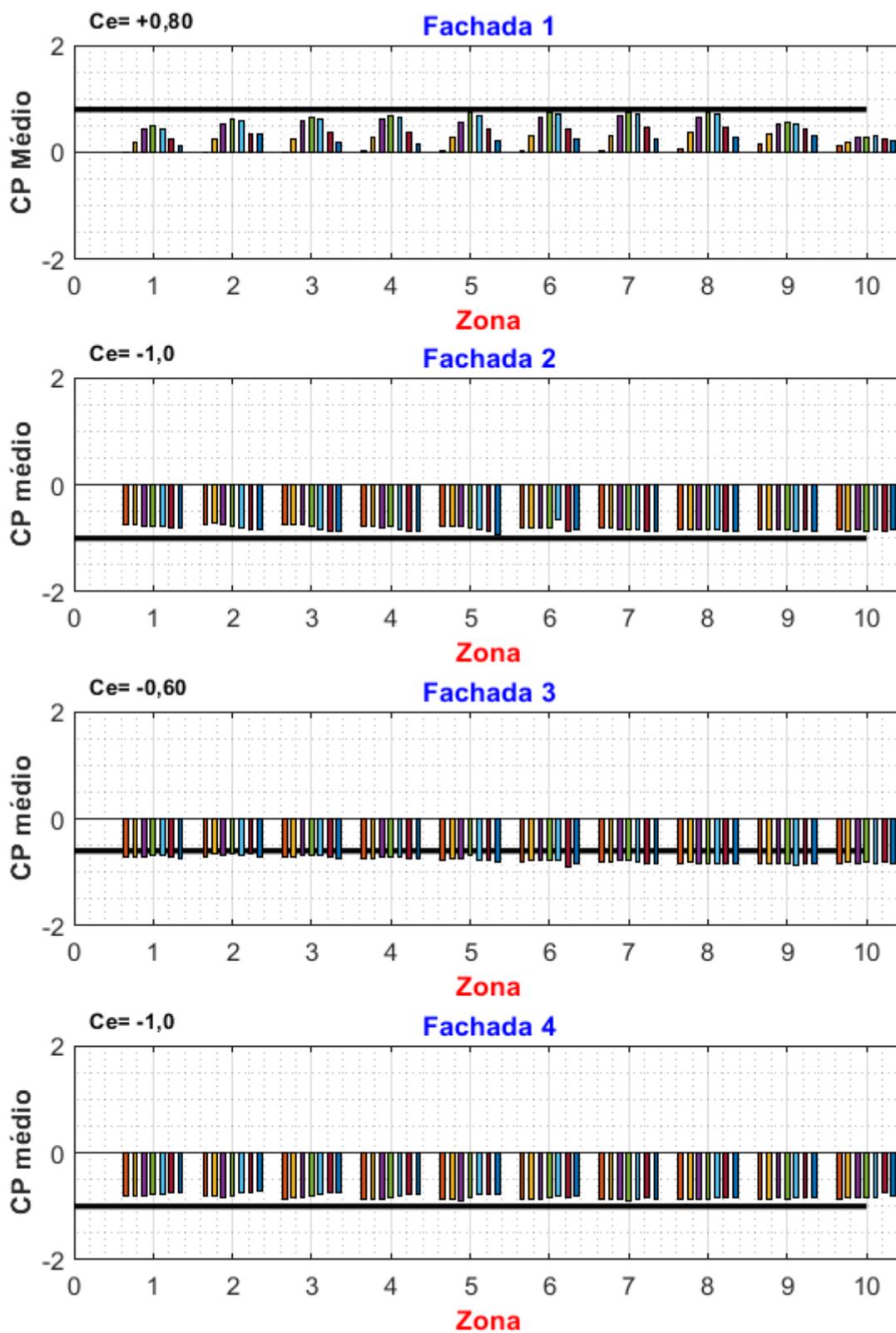


Figura A-6 - Coeficientes de pressões médias por tomada – C0V0_C1

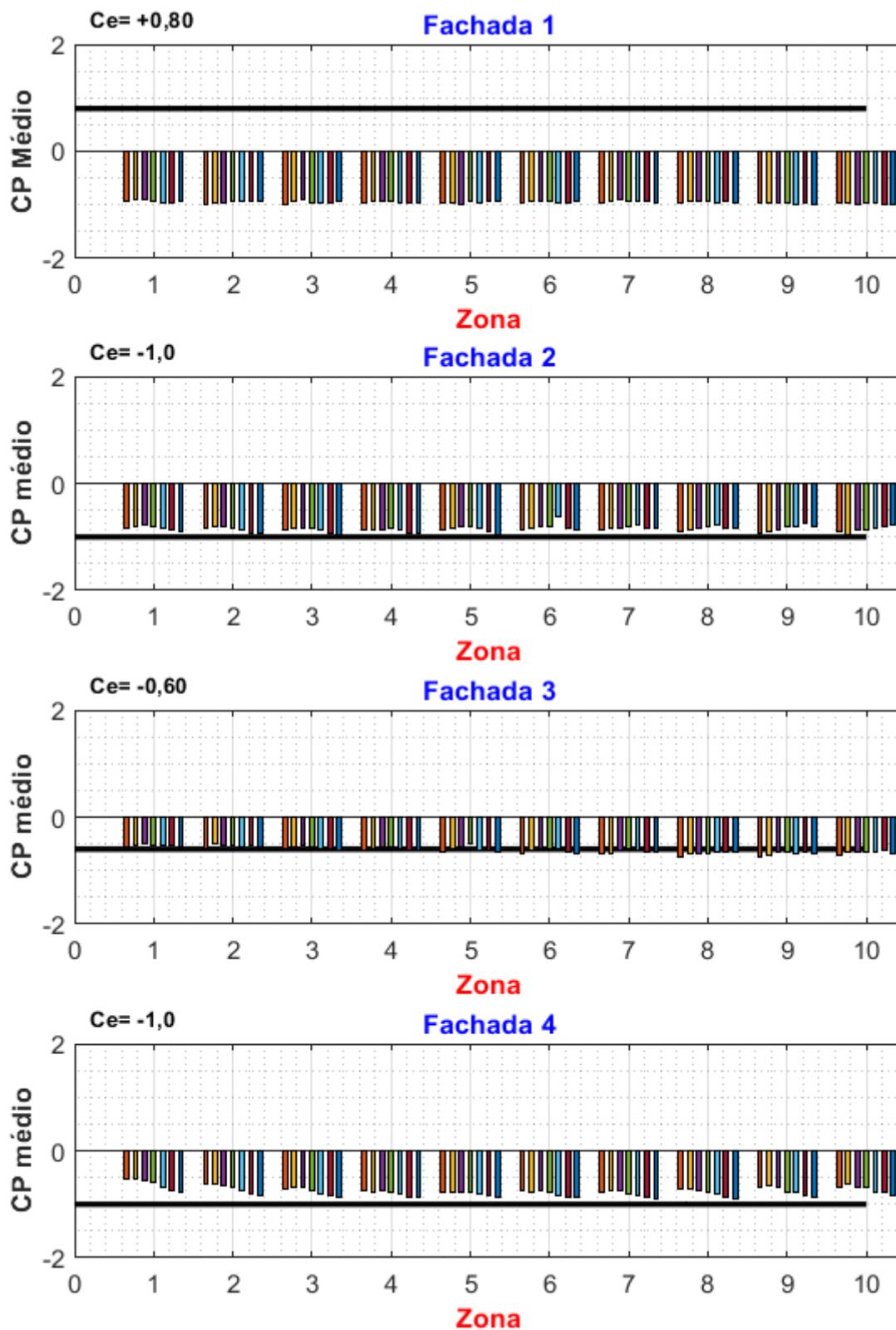


Figura A-7 - Coeficientes de pressões médias por tomada – C0V0_D2_A1

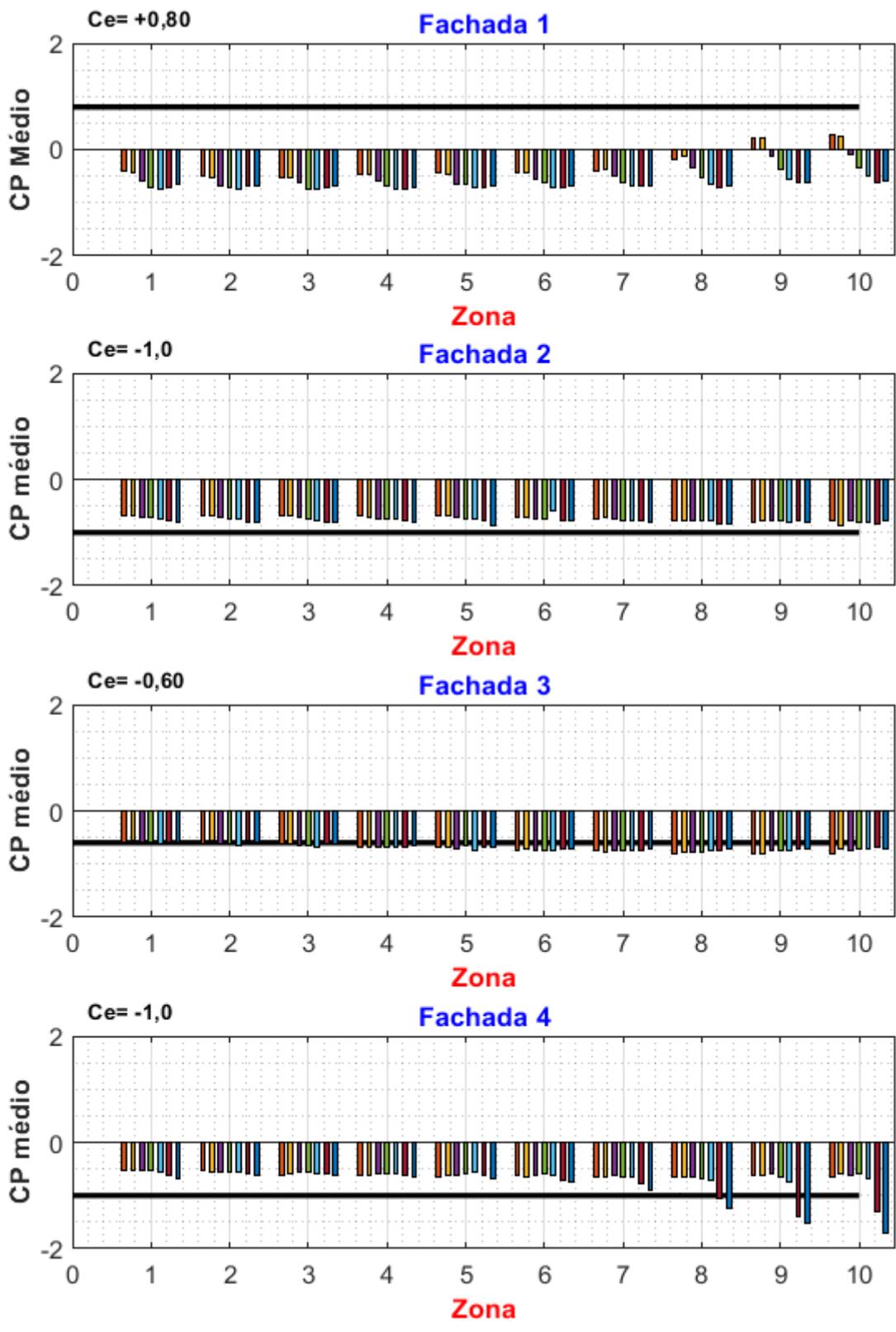


Figura A-8 - Coeficientes de pressões médias por tomada – C0V0_D2_A2

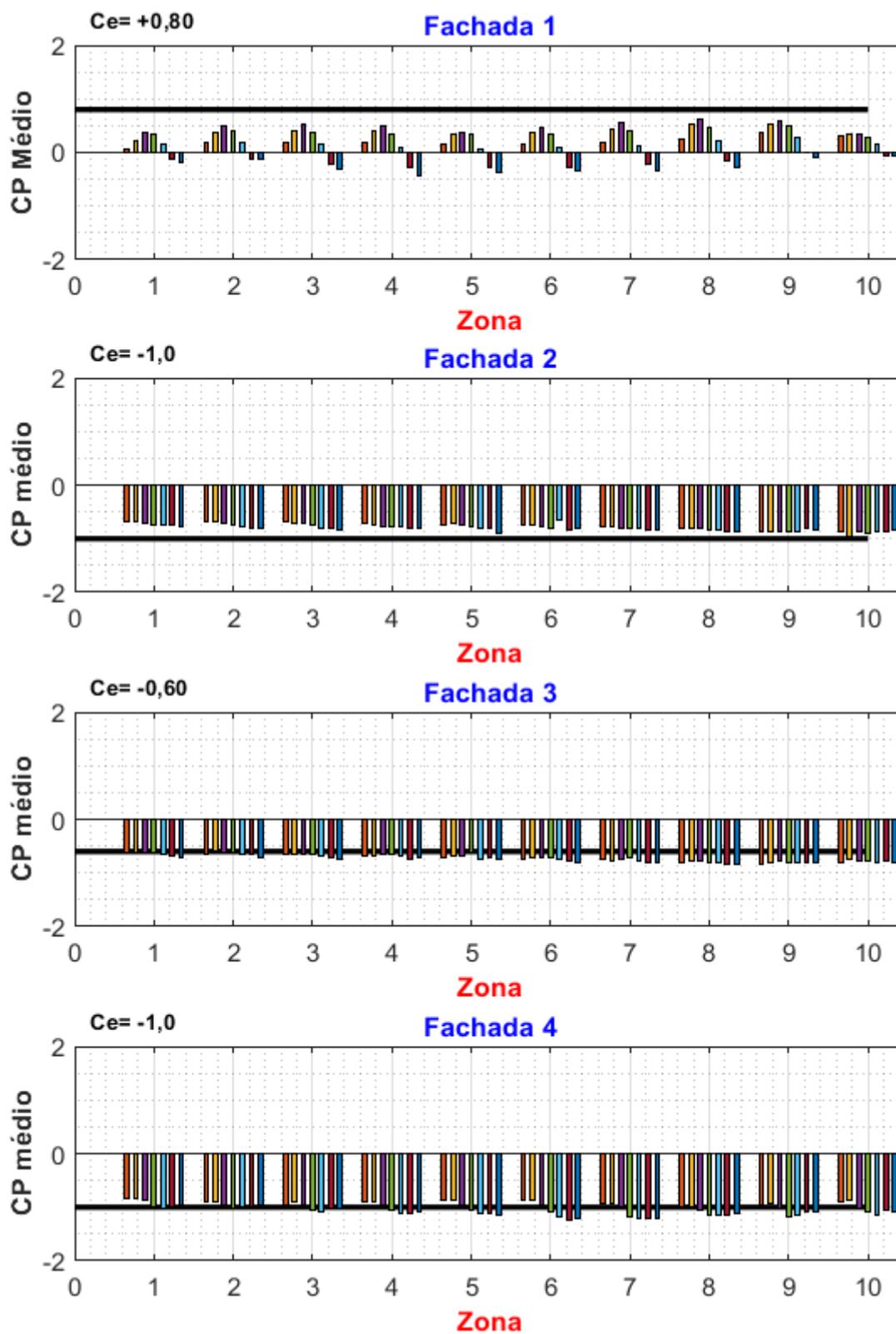


Figura A-9 - Coeficientes de pressões médias por tomada – C0V0_D2_B1

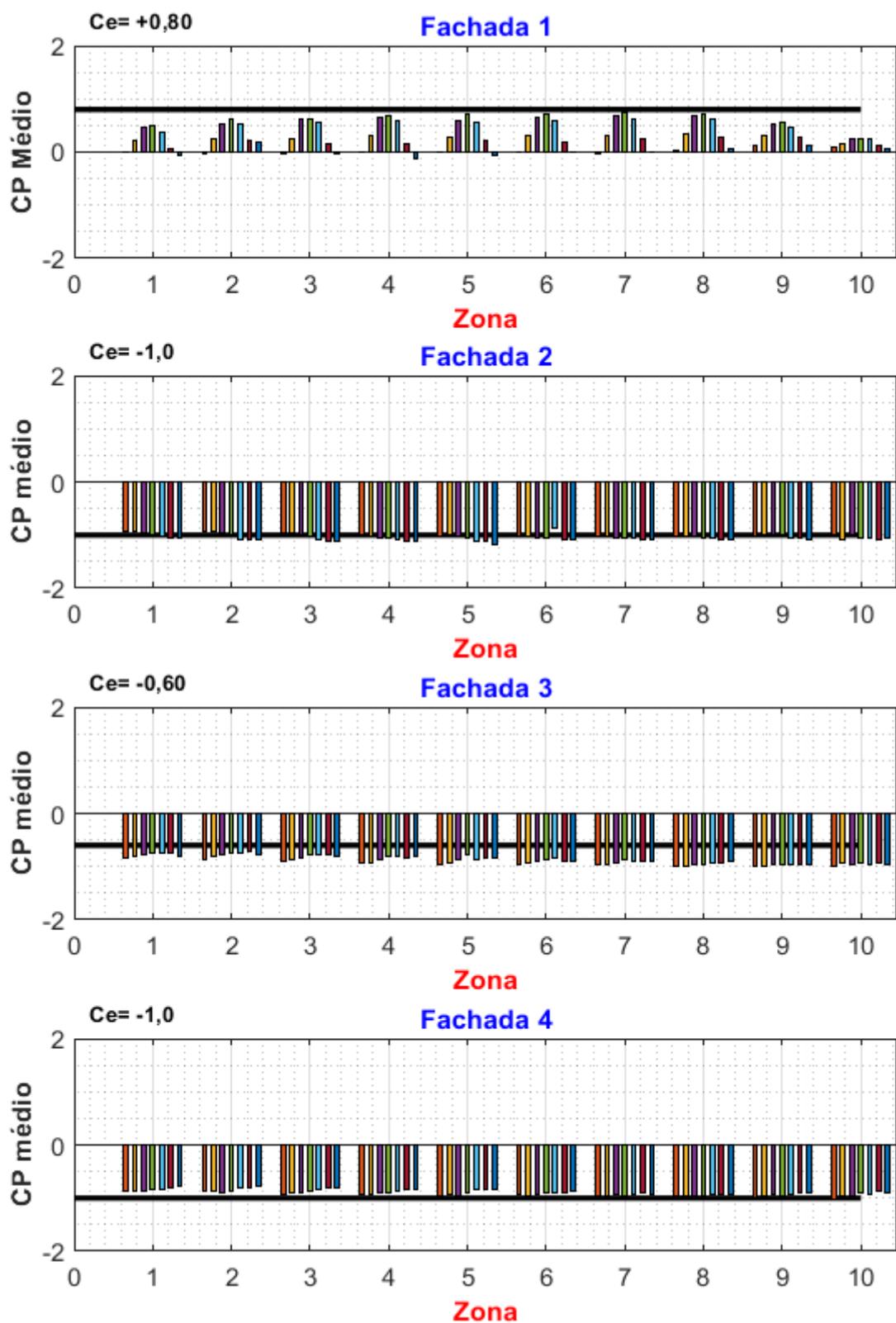


Figura A-10 - Coeficientes de pressões médias por tomada – C0V0_D2_C1

A.1.2 - Coeficiente de pressão média por tomada – CAARC à 0° e vizinho à 90°

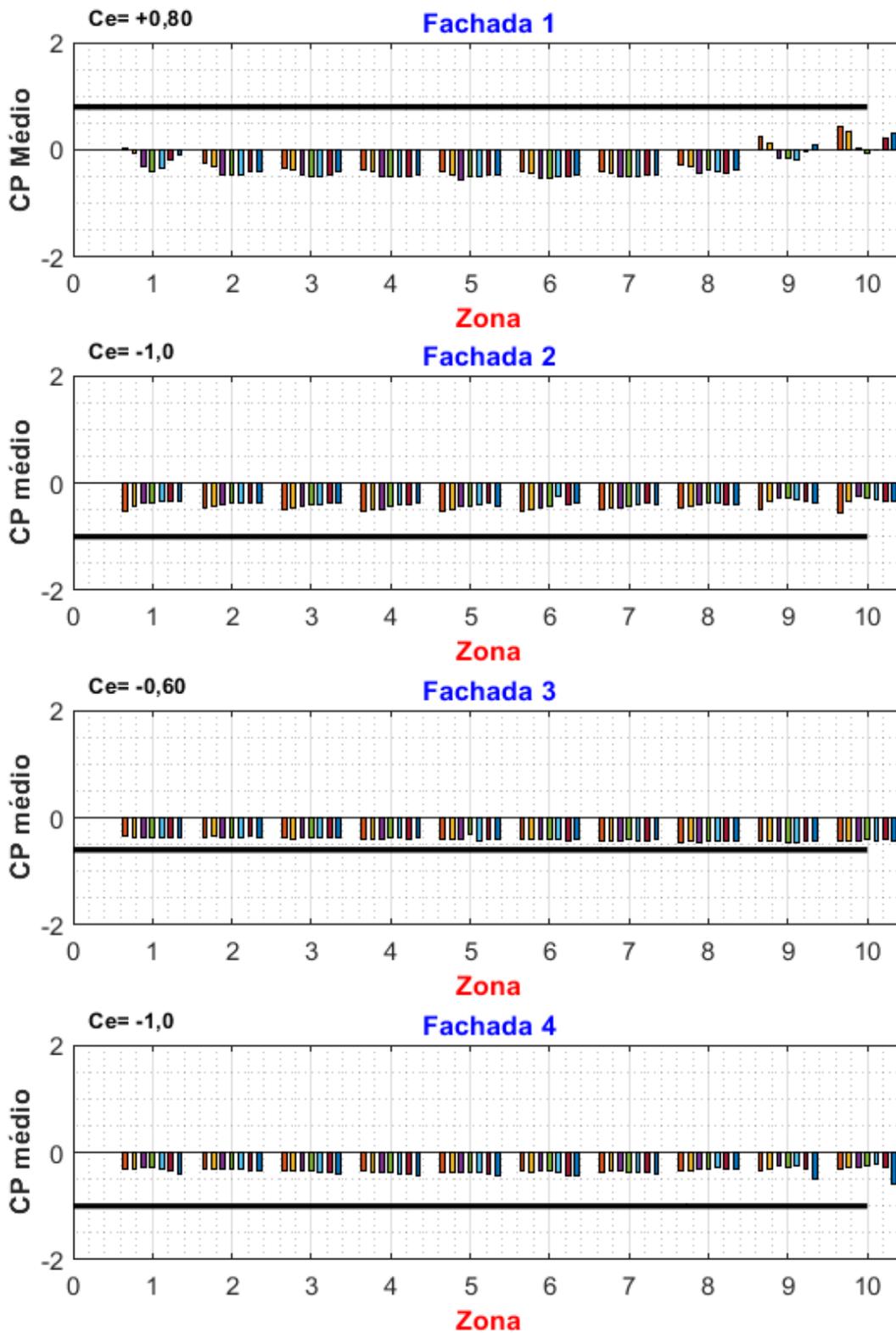


Figura A-11 - Coeficientes de pressões médias por tomada – C0V90_A1

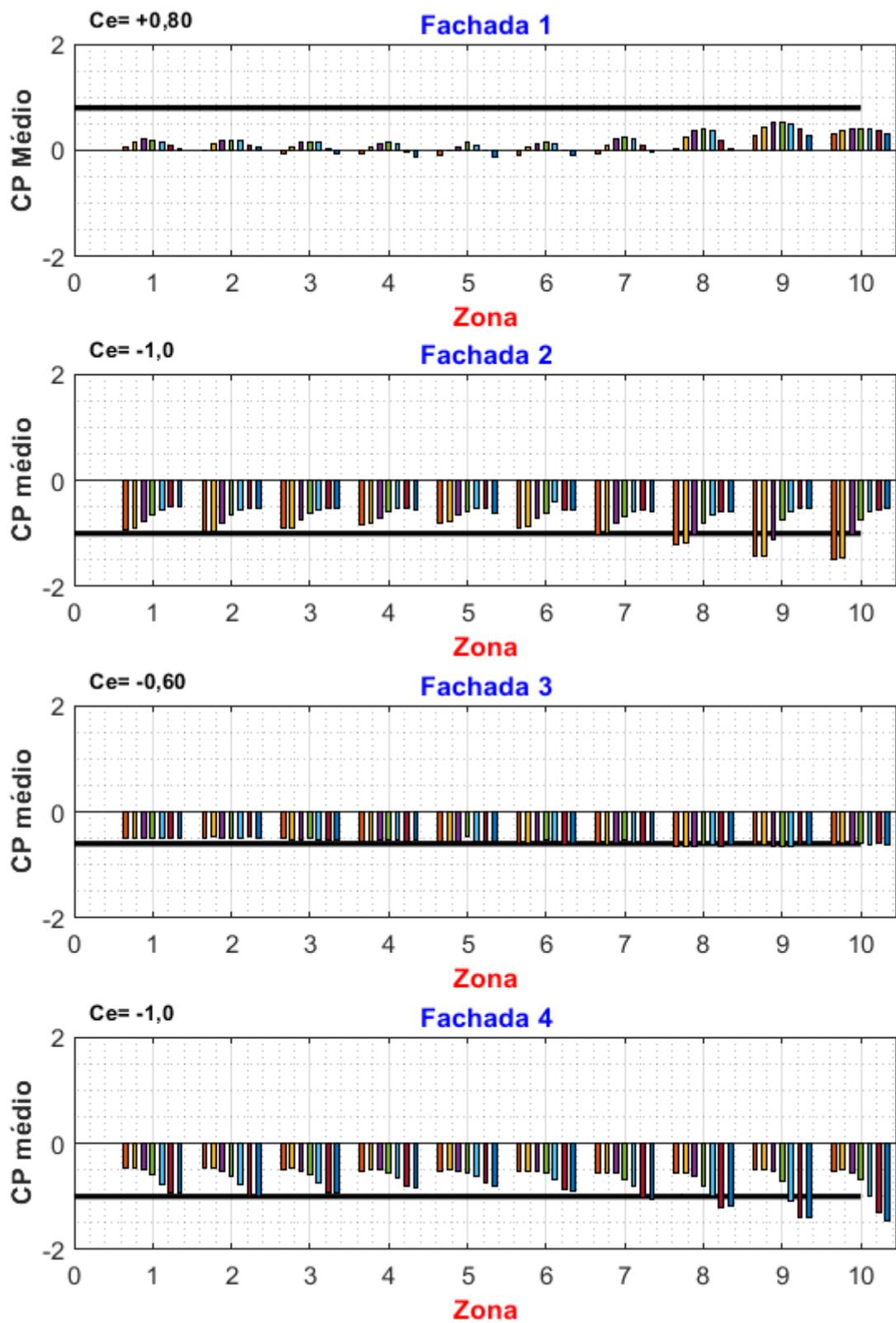


Figura A-12 -Coeficientes de pressões médias por tomada – C0V90_A2

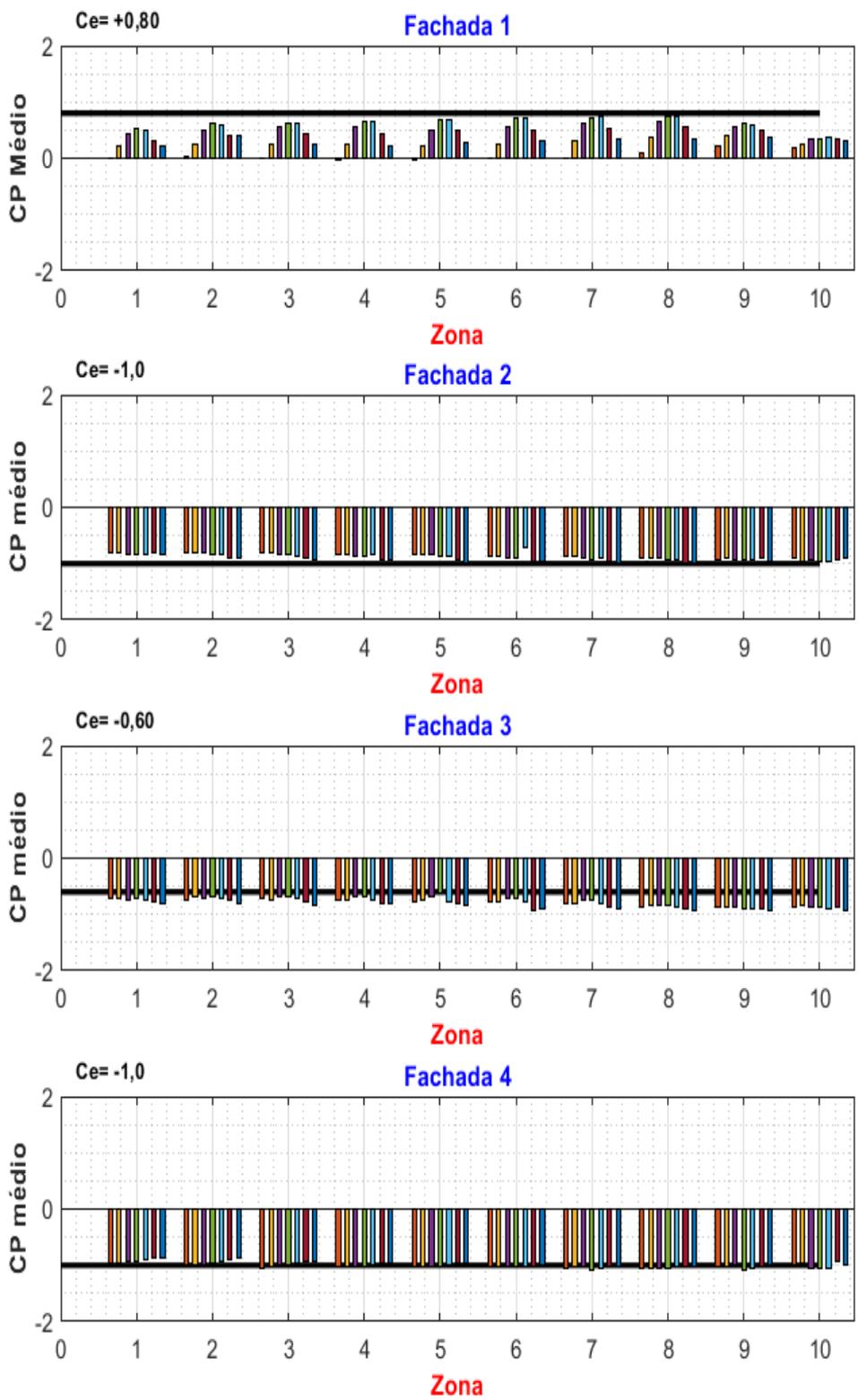


Figura A-13 - Coeficientes de pressões médias por tomada – COV90_B1

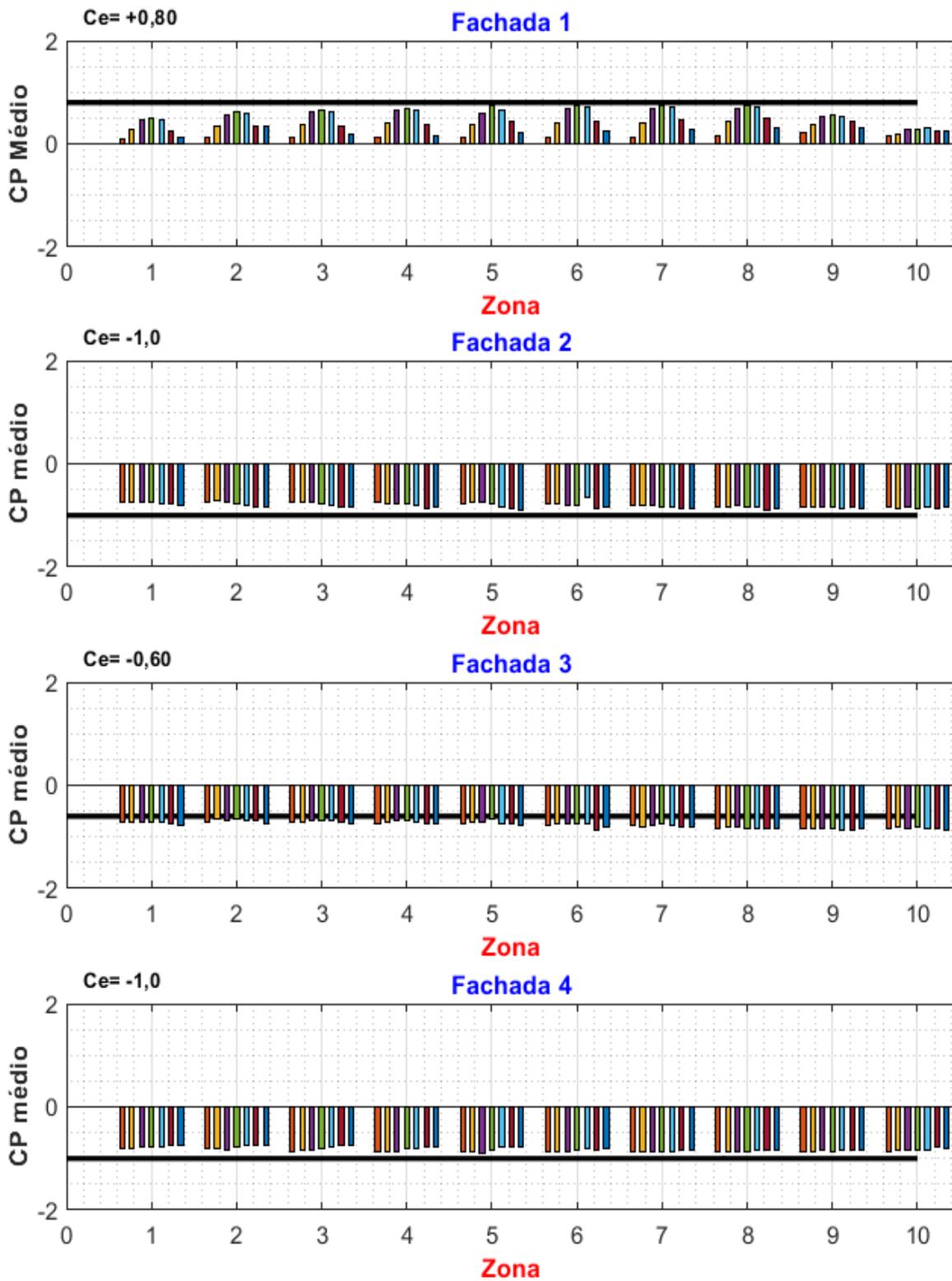


Figura A-14 - Coeficientes de pressões médias por tomada – C0V90_C1

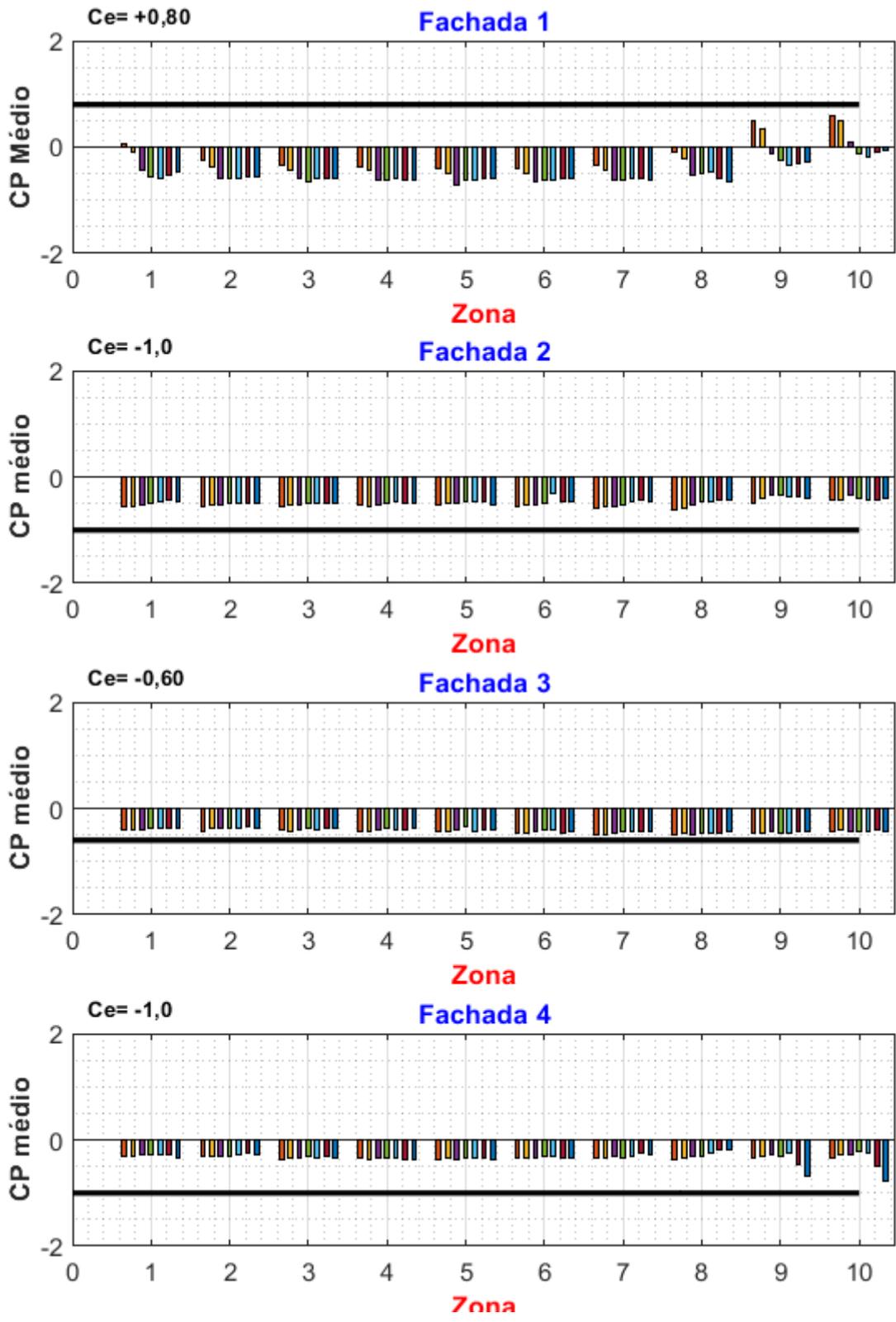


Figura A-15 - Coeficientes de pressões médias por tomada – C0V90_D2_A1

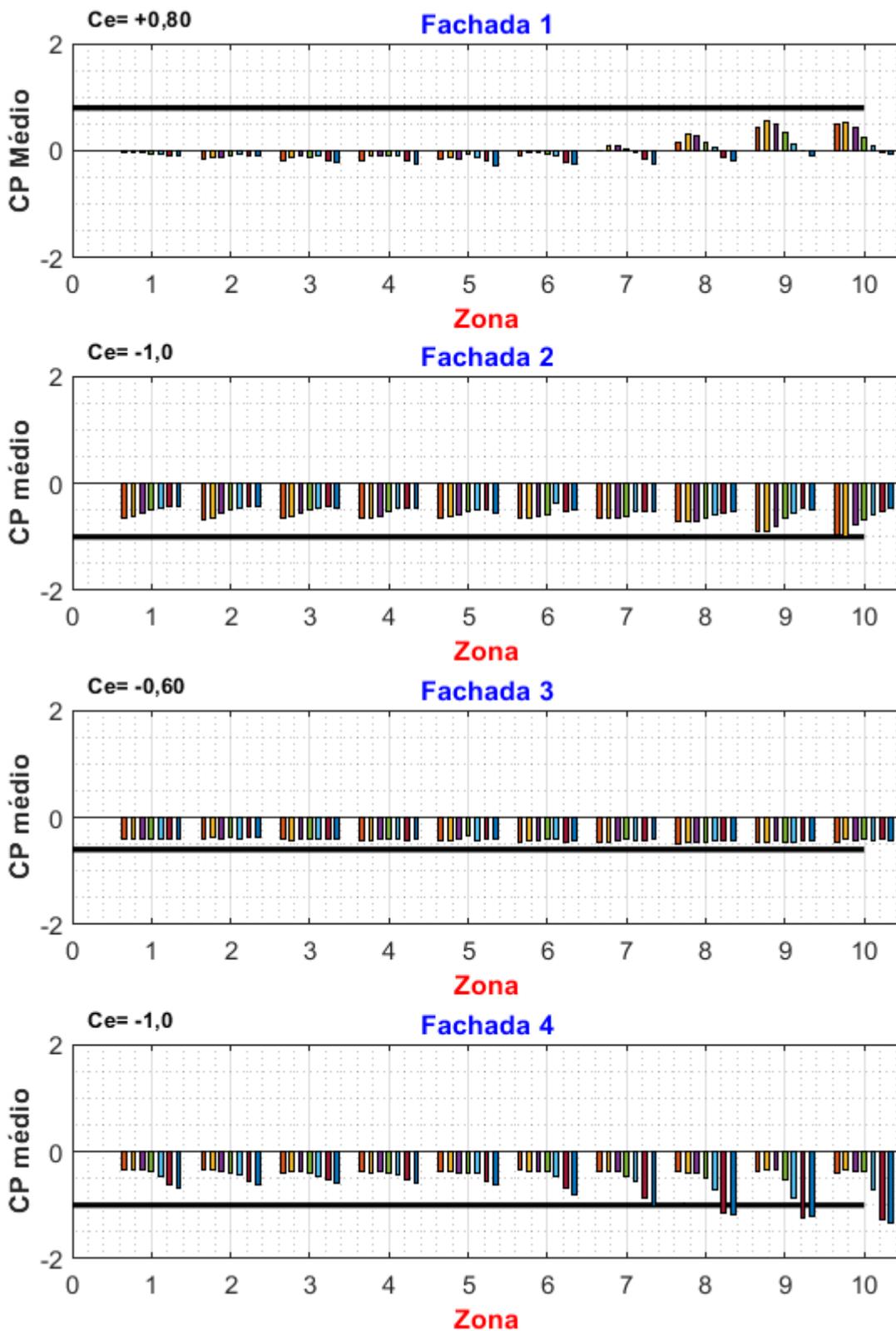


Figura A-16 - Coeficientes de pressões médias por tomada – C0V90_D2_A2

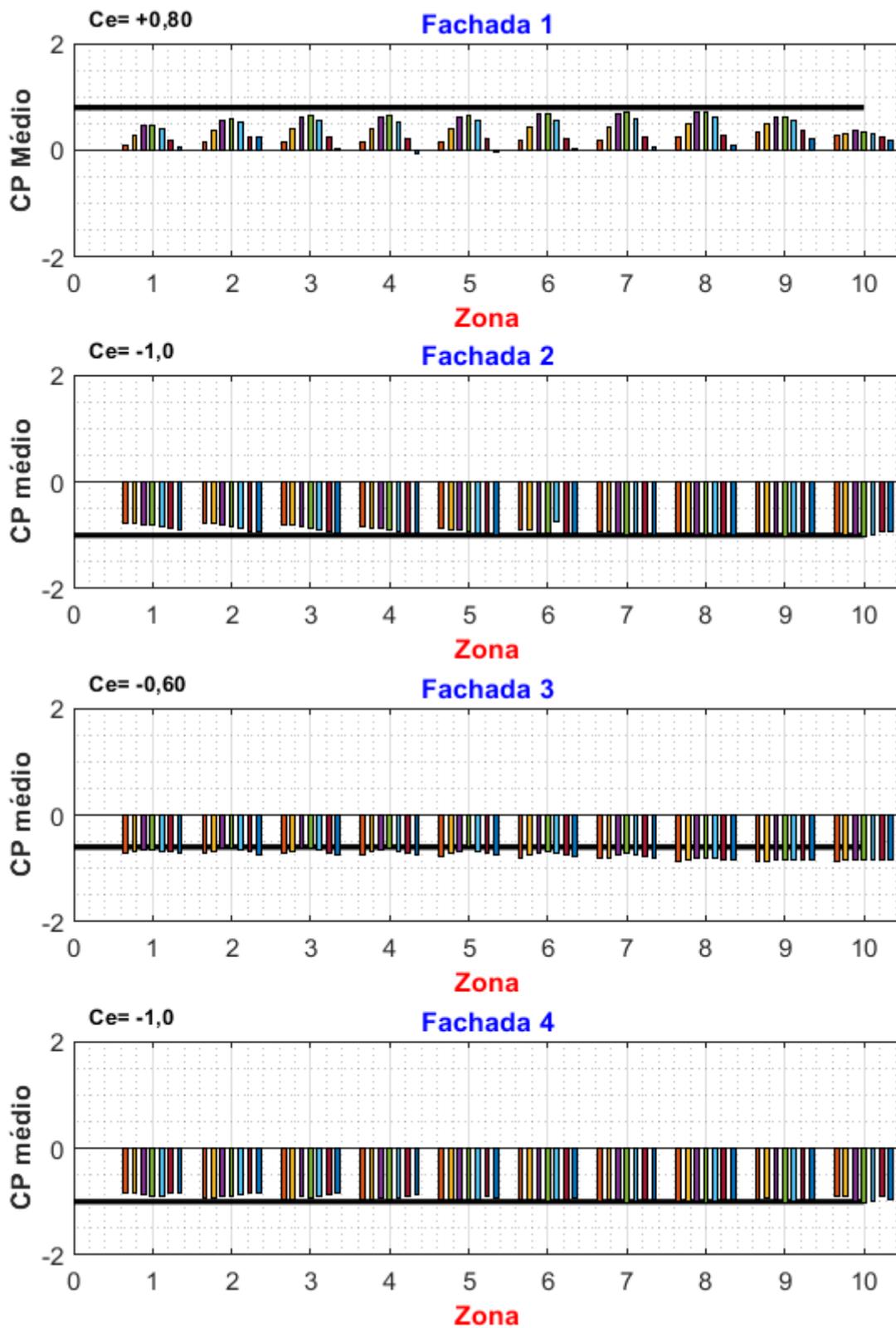


Figura A-17 - Coeficientes de pressões médias por tomada – C0V90_D2_B1

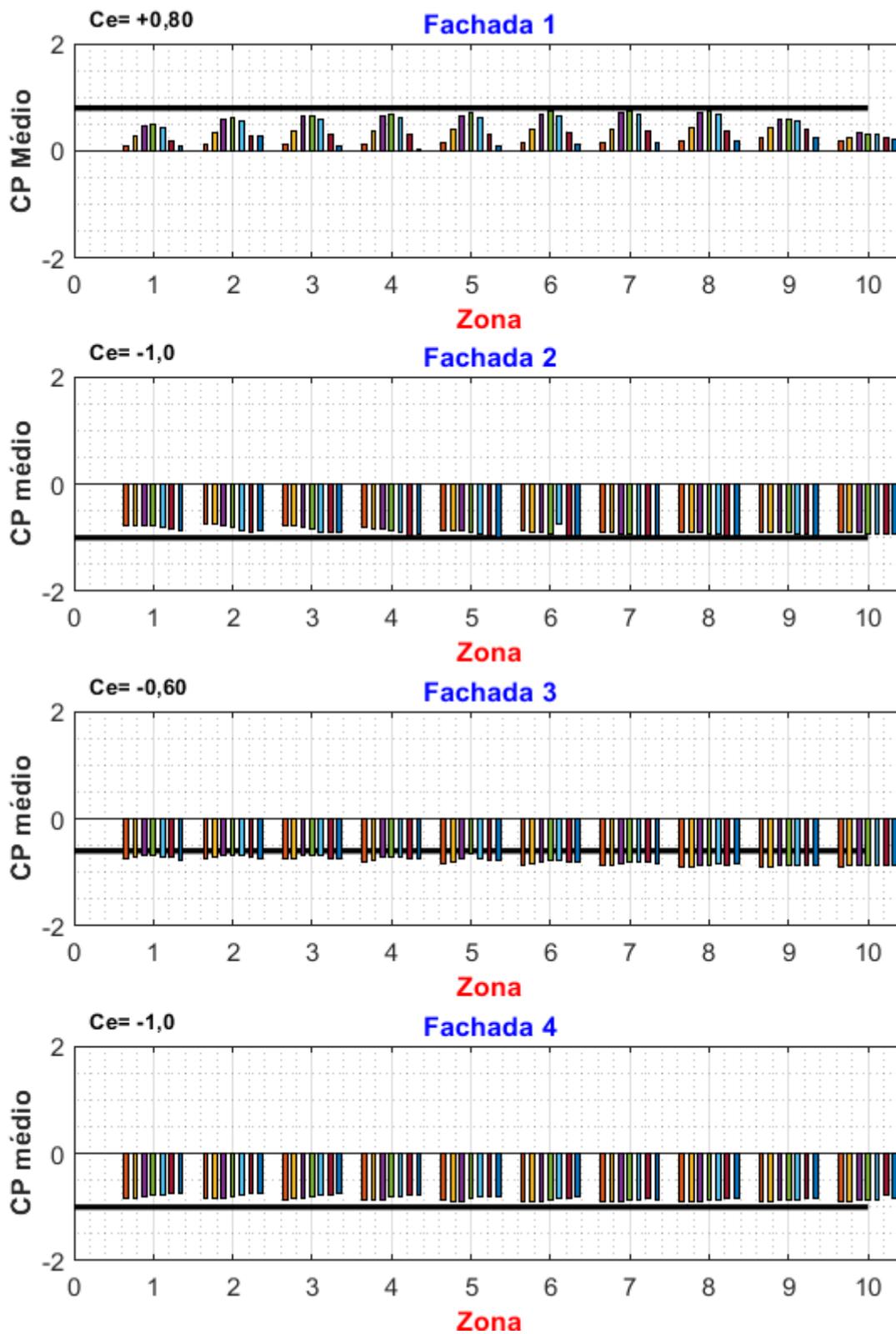


Figura A-18 - Coeficientes de pressões médias por tomada – C0V90_D2_C1

A.1.3 - Coeficiente de pressão média por tomada – CAARC à 90° e vizinho à 0°

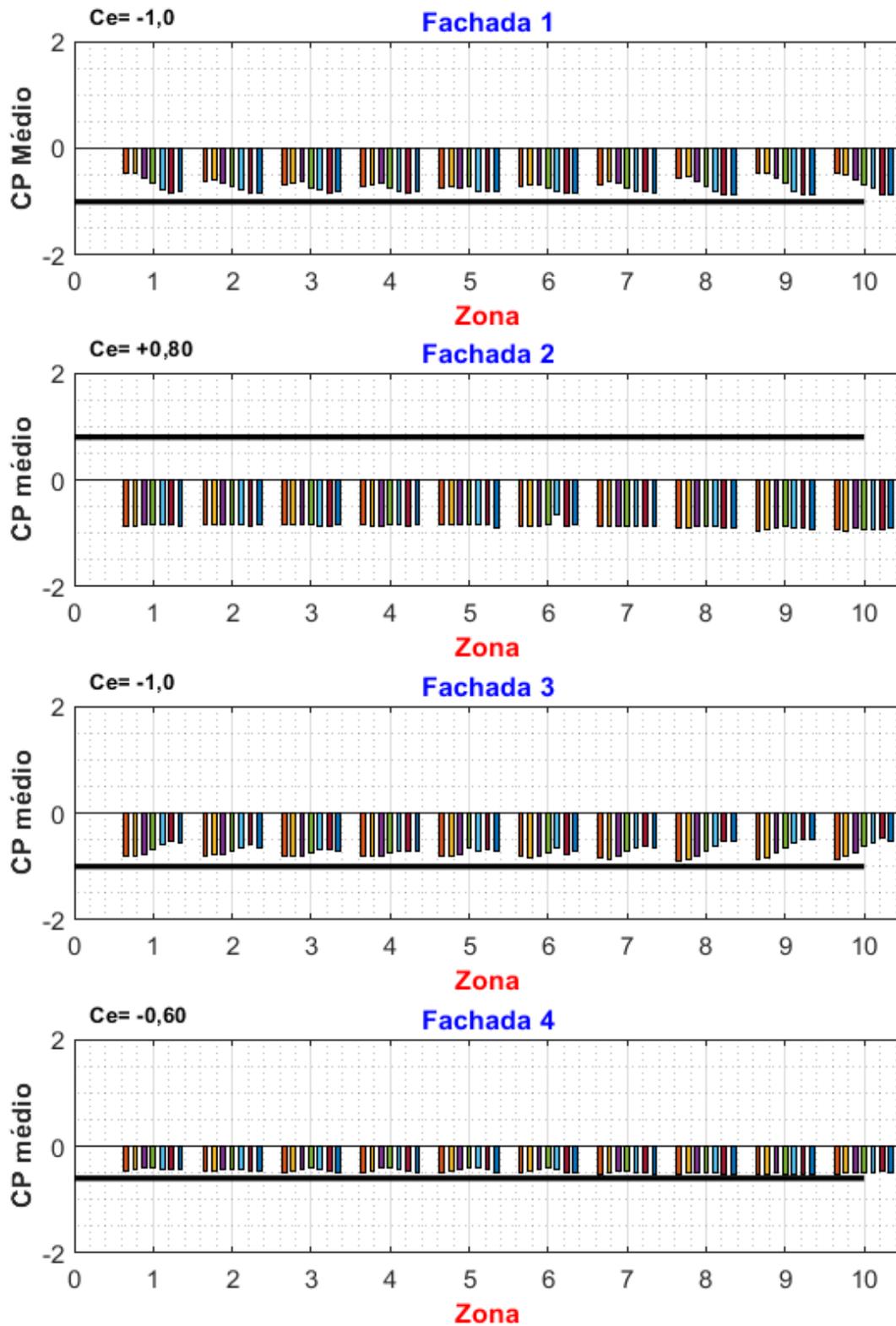


Figura A-19 - Coeficientes de pressões médias por tomada – C90V0_A1

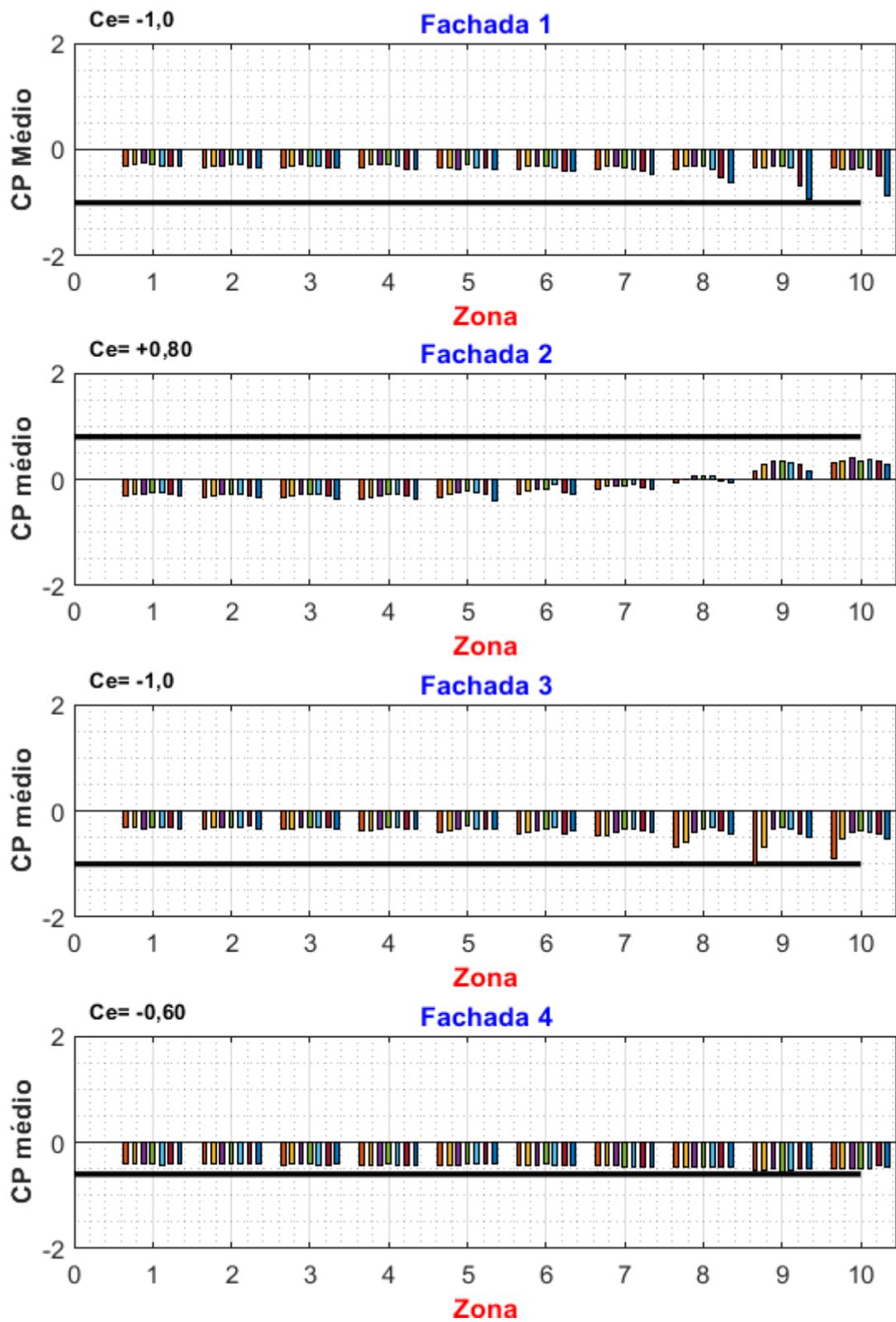


Figura A-20 - Coeficientes de pressões médias por tomada – C90V0_A2

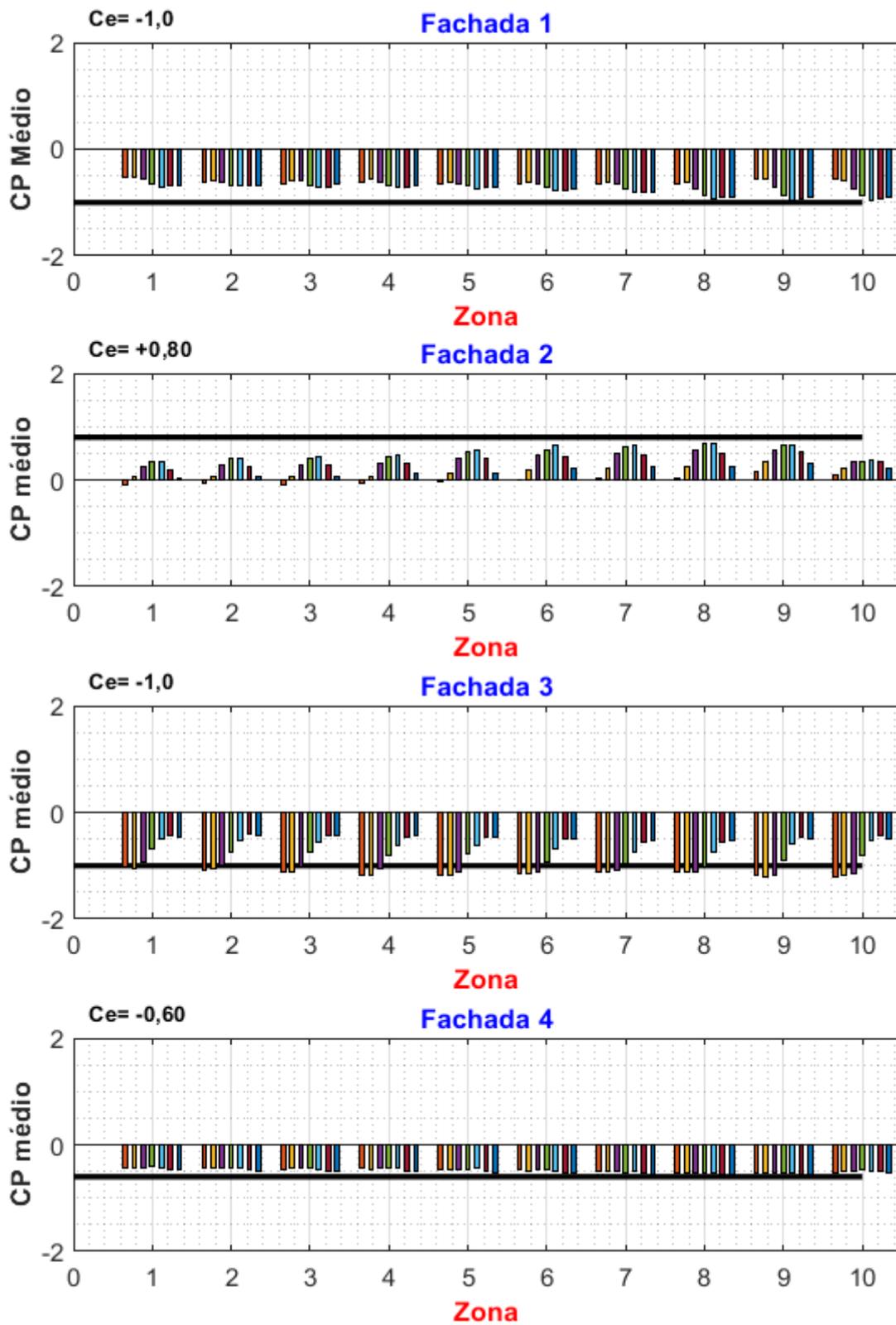


Figura A-21 - Coeficientes de pressões médias por tomada – C90V0_B1

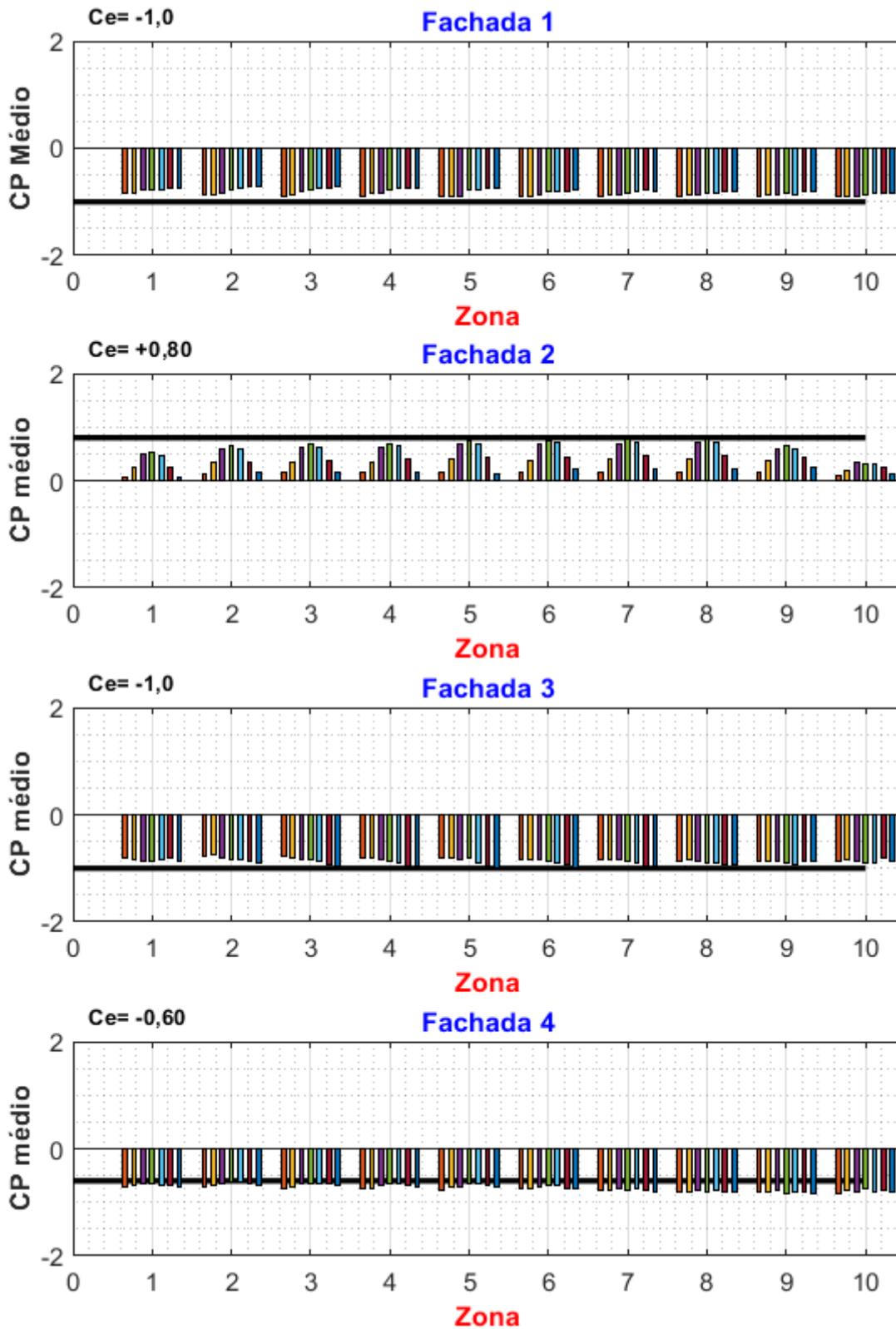


Figura A-22 - Coeficientes de pressões médias por tomada – C90V0_C1

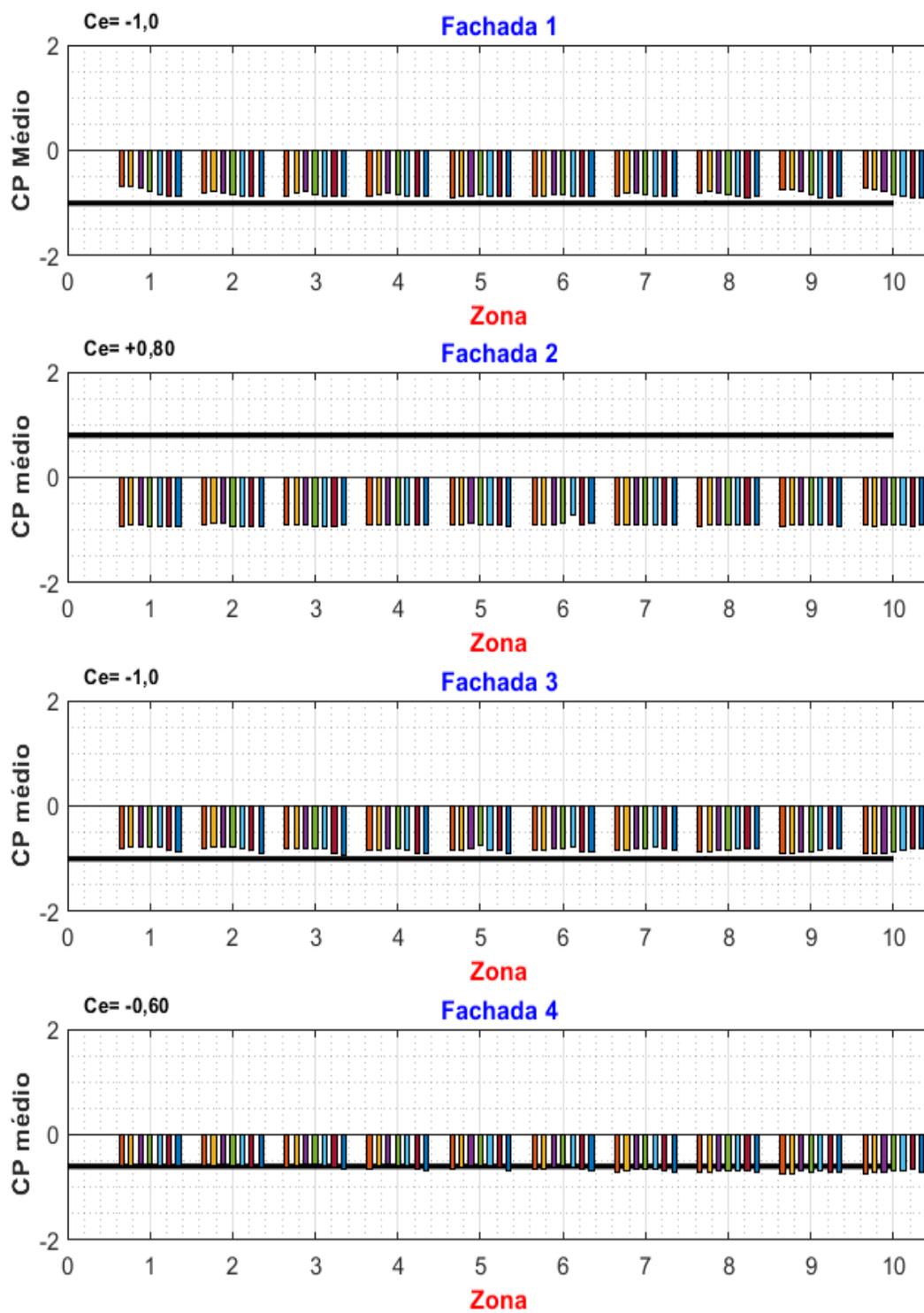


Figura A-23 - Coeficientes de pressões médias por tomada – C90V0_D2_A1

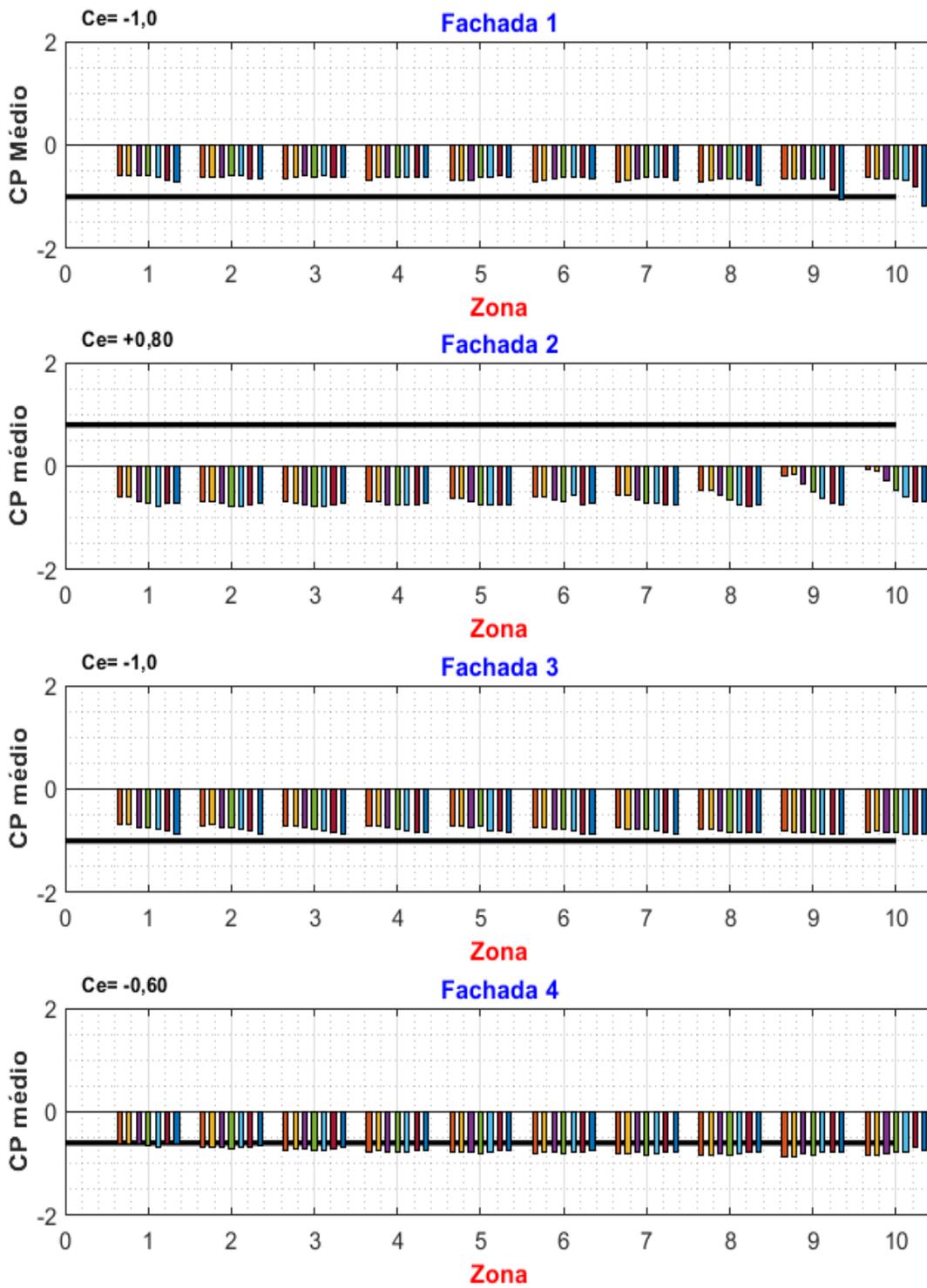


Figura A-24 - Coeficientes de pressões médias por tomada – C90V0_D2_A2

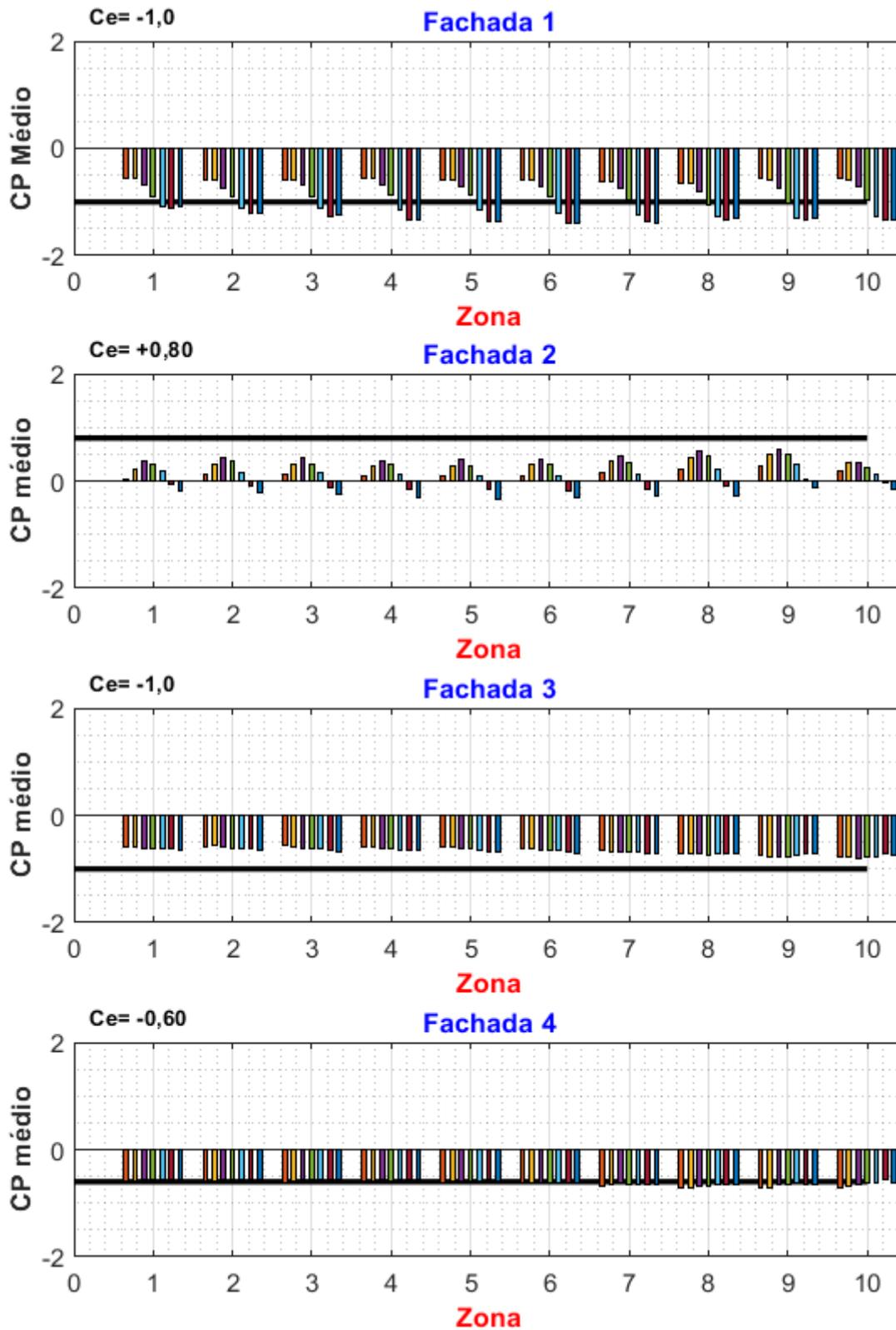


Figura A-25 - Coeficientes de pressões médias por tomada – C90V0_D2_B1

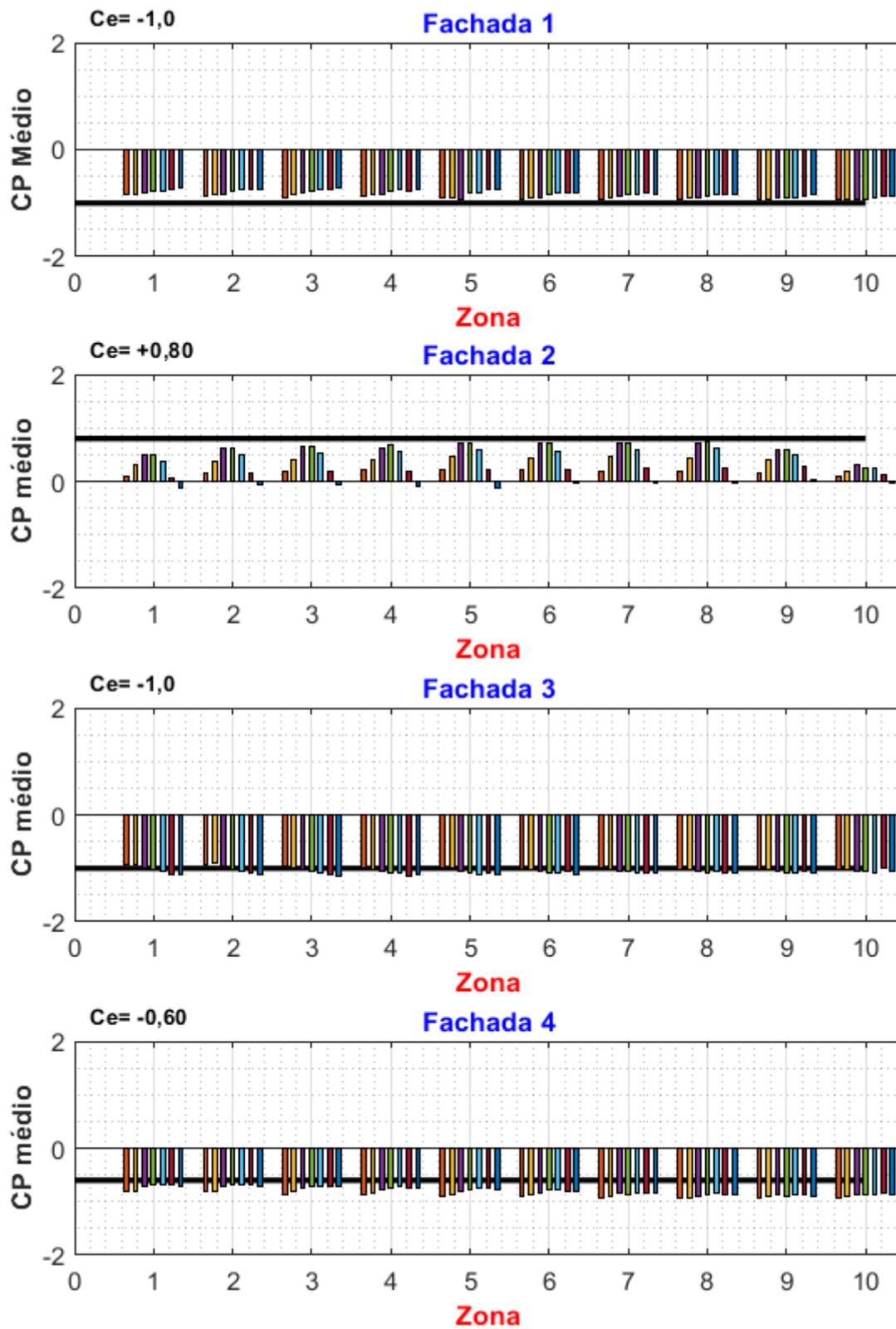


Figura A-26 - Coeficientes de pressões médias por tomada – C90V0_D2_C1

A.1.4 - Coeficiente de pressão média por tomada – CAARC à 90° e vizinho à 90°

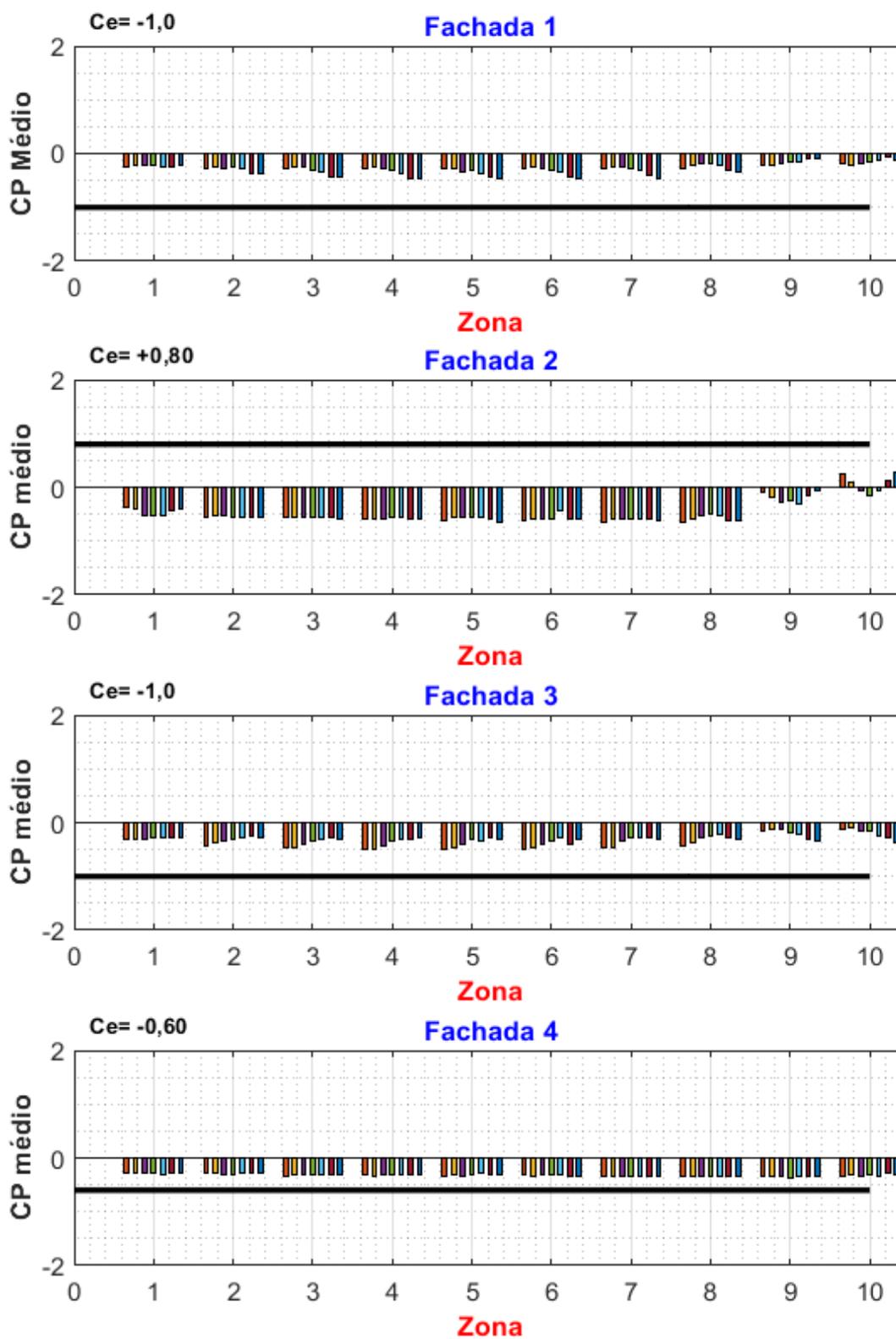


Figura A-27 - Coeficientes de pressões médias por tomada – C90V90_A1

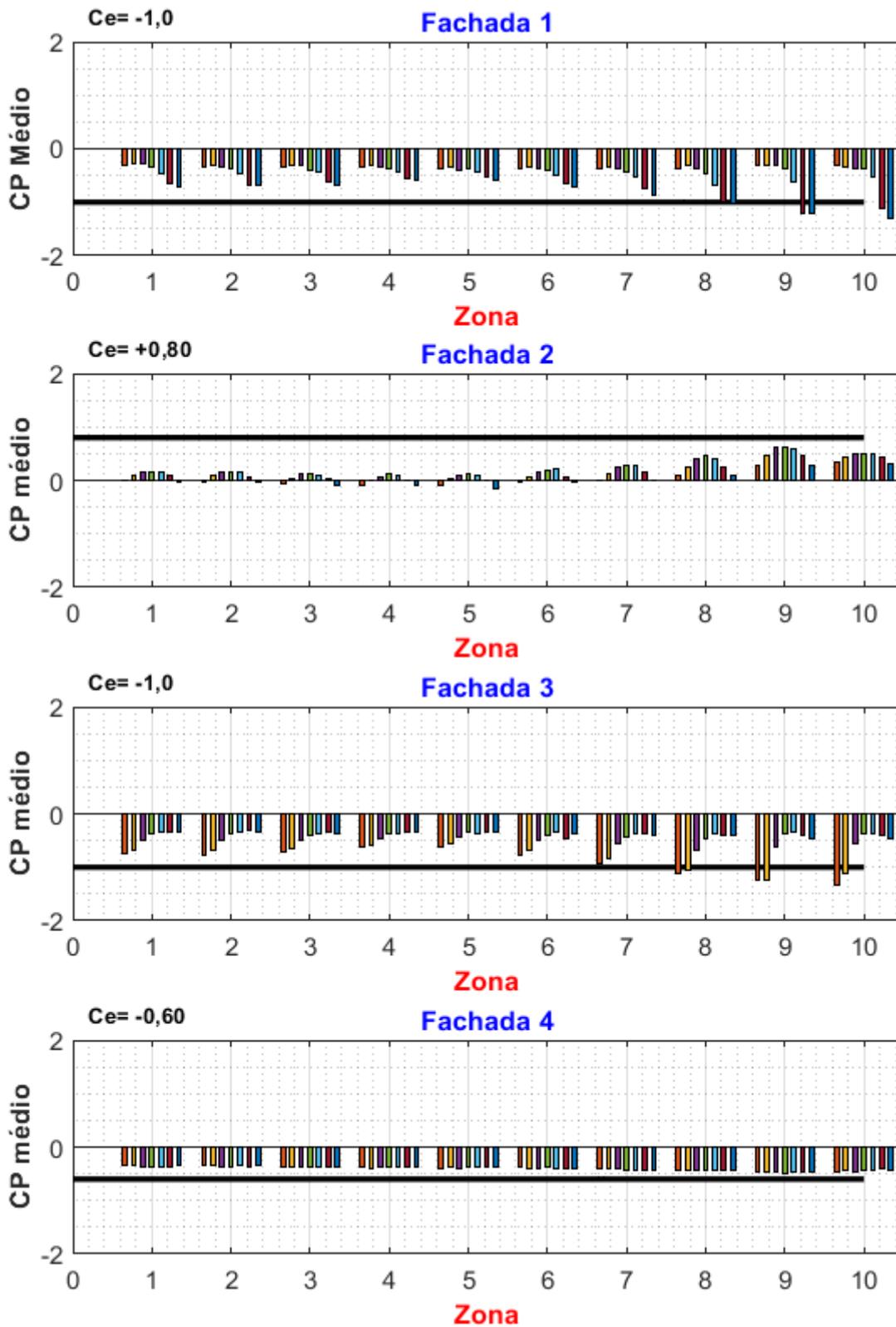


Figura A-28 - Coeficientes de pressões médias por tomada – C90V90_A2

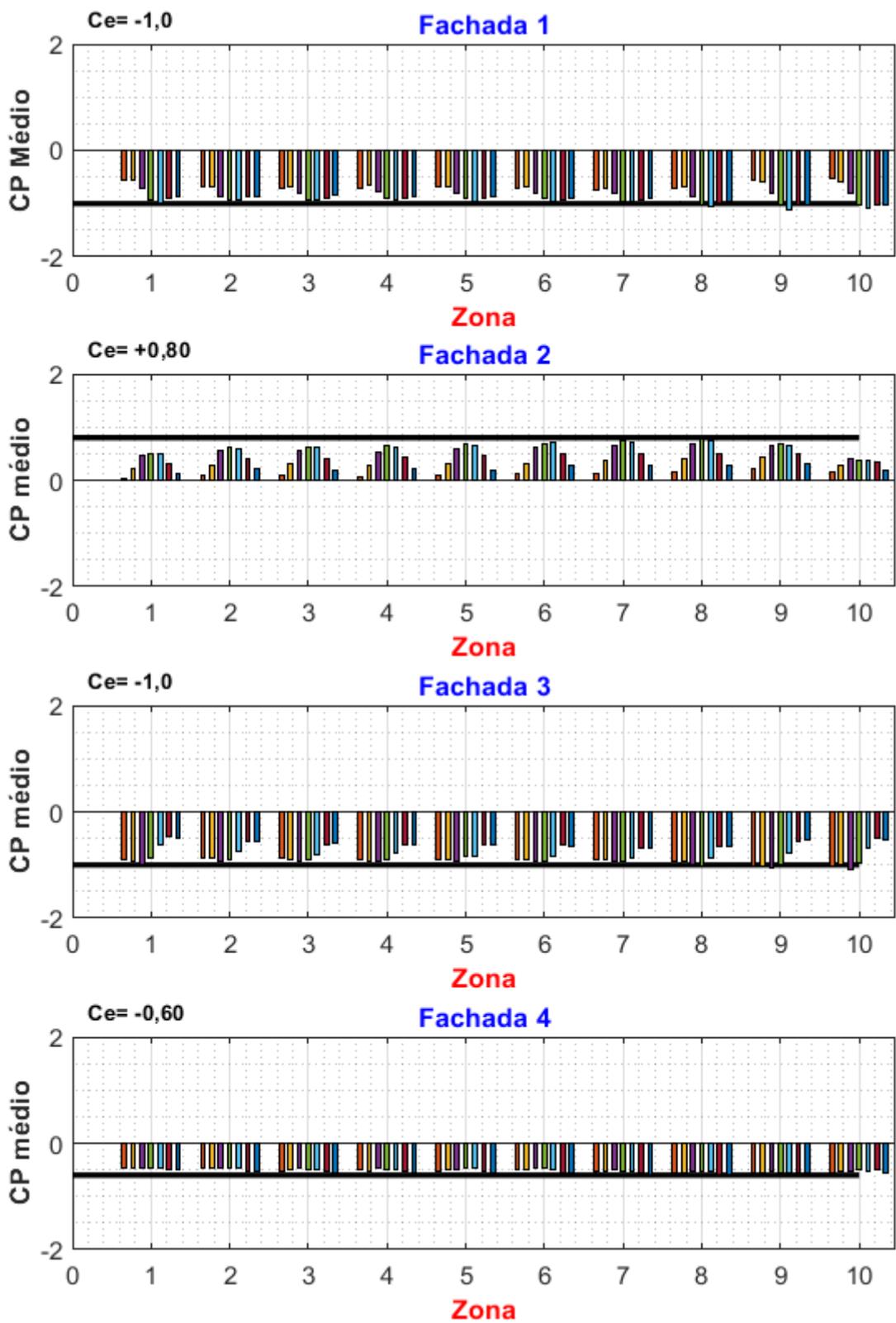


Figura A-29 - Coeficientes de pressões médias por tomada – C90V90_B1

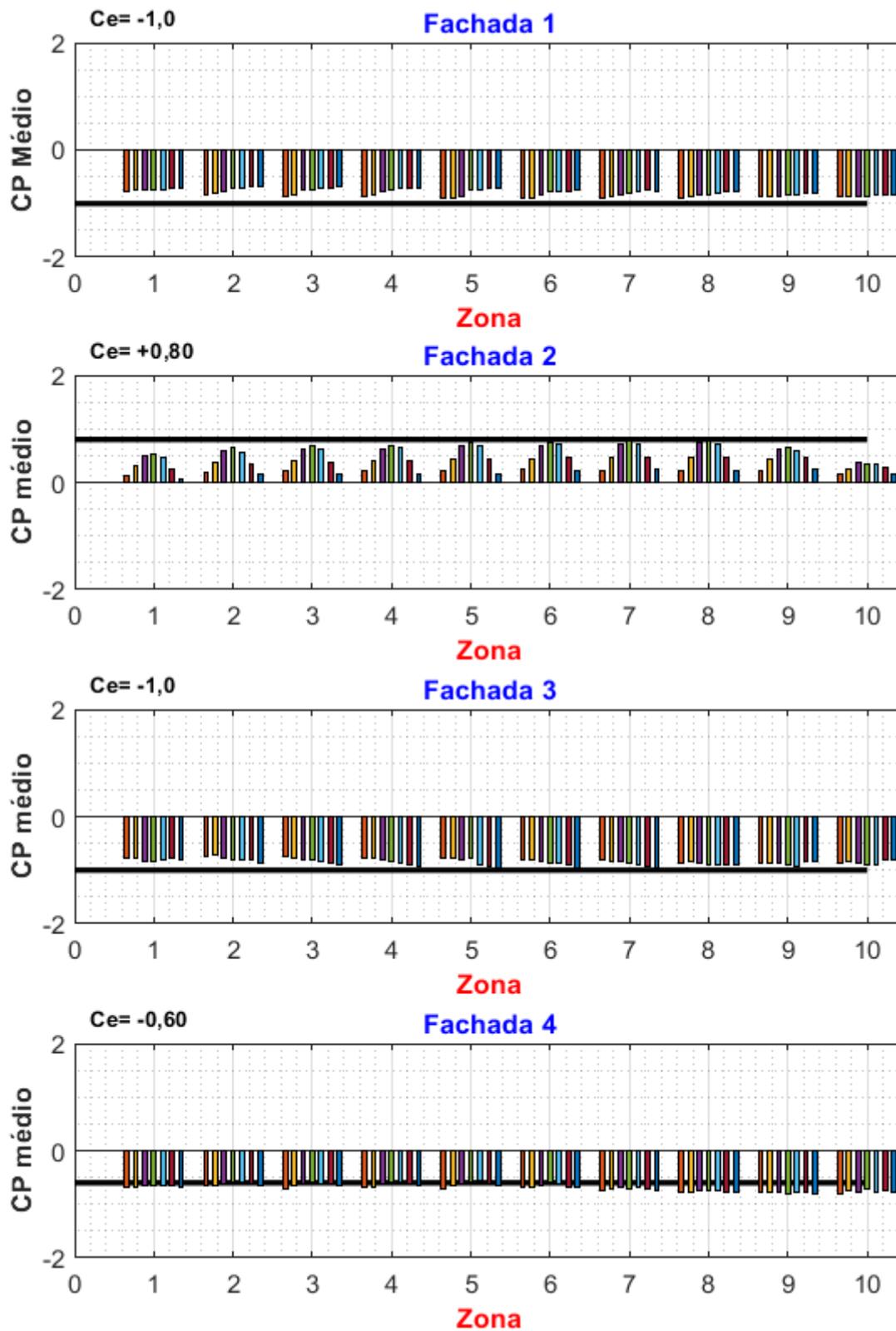


Figura A-30 - Coeficientes de pressões médias por tomada – C90V90_C1

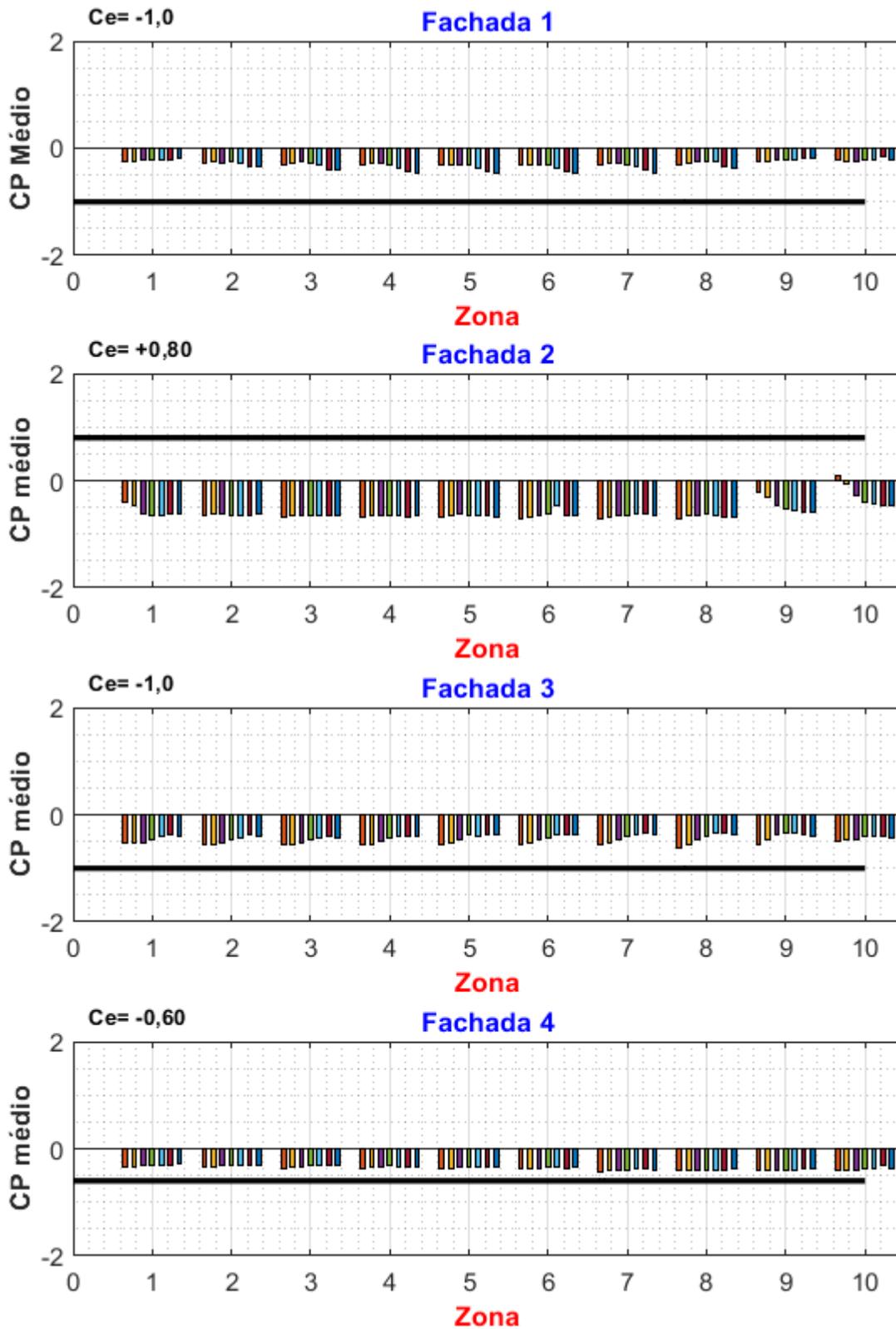


Figura A-31 - Coeficientes de pressões médias por tomada – C90V90_D2_A1

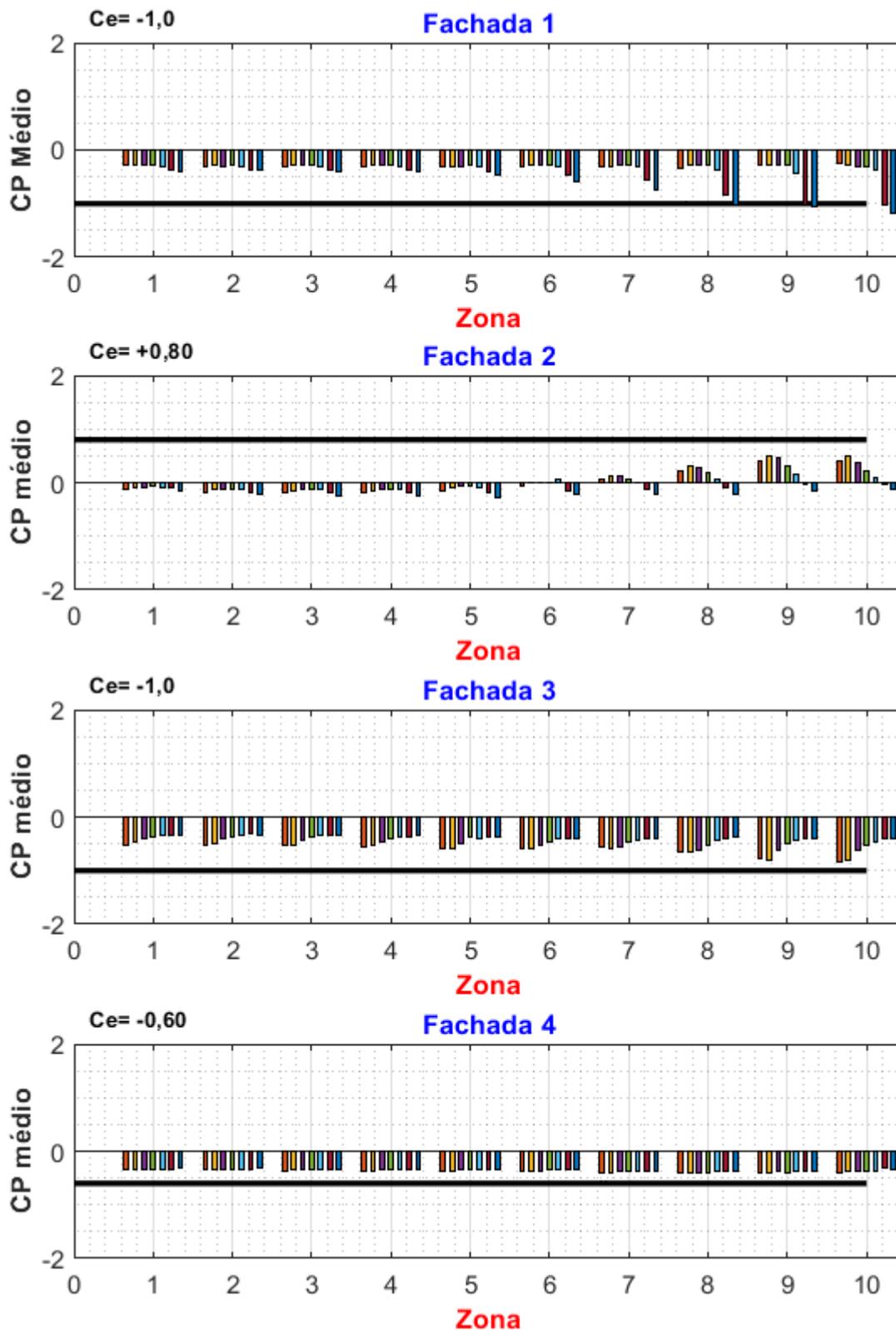


Figura A-32 - Coeficientes de pressões médias por tomada – C90V90_D2_A2

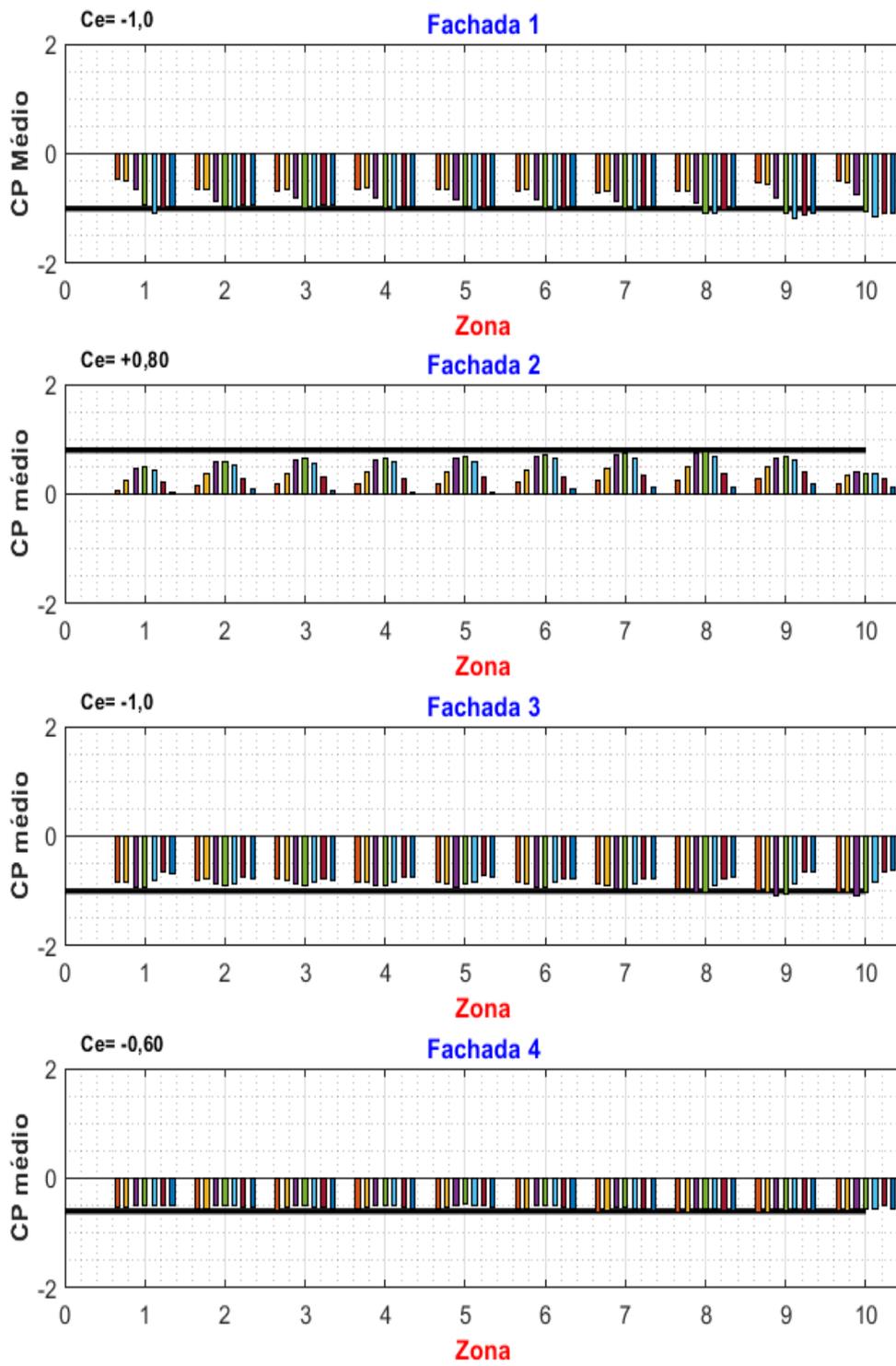


Figura A-33 - Coeficientes de pressões médias por tomada – C90V90_D2_B1

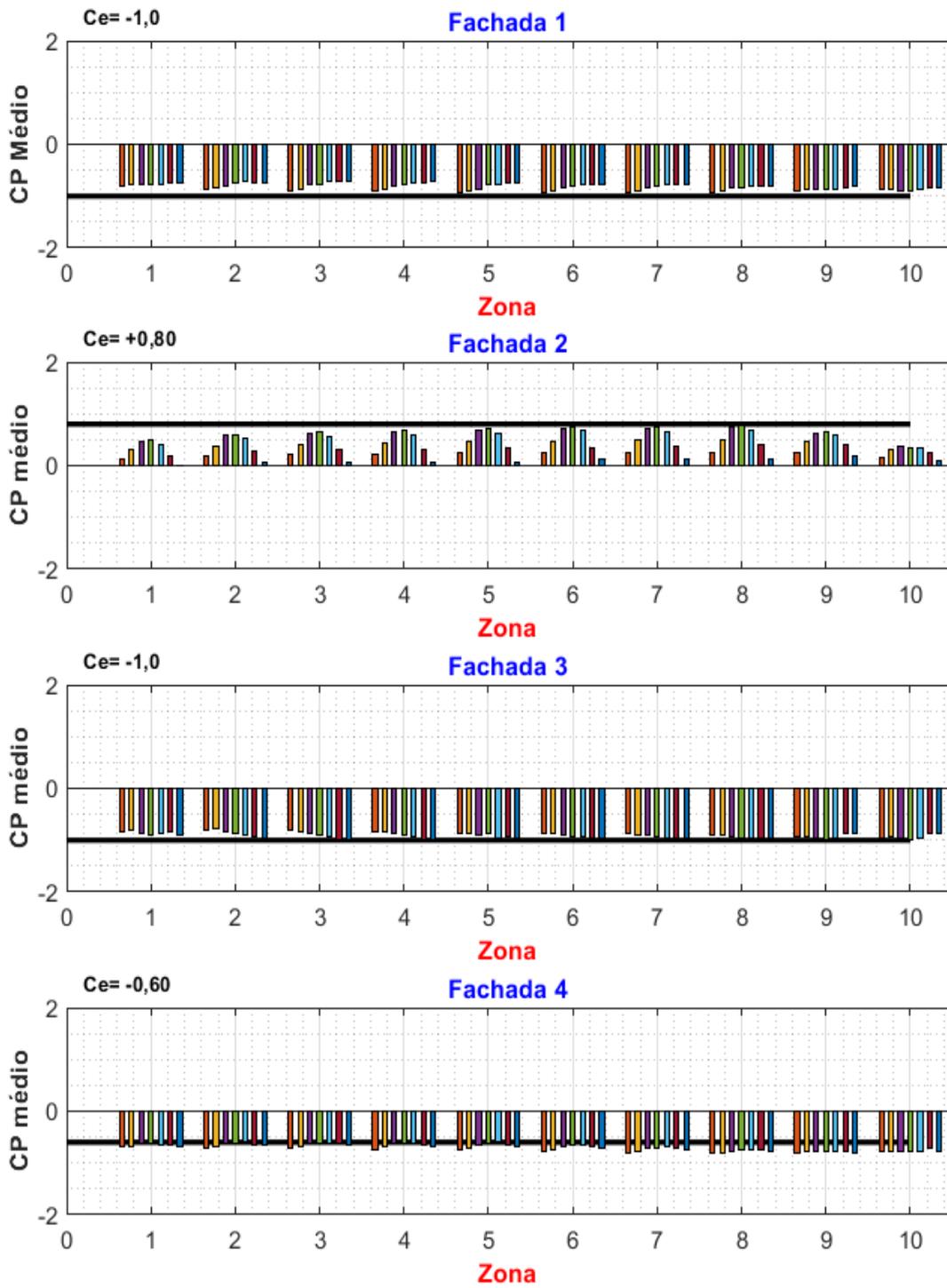


Figura A-34 - Coeficientes de pressões médias por tomada – C90V90_D2_C1

APÊNDICE A.2 – COEFICIENTES DE PRESSÕES MÉDIAS POR REGIÕES

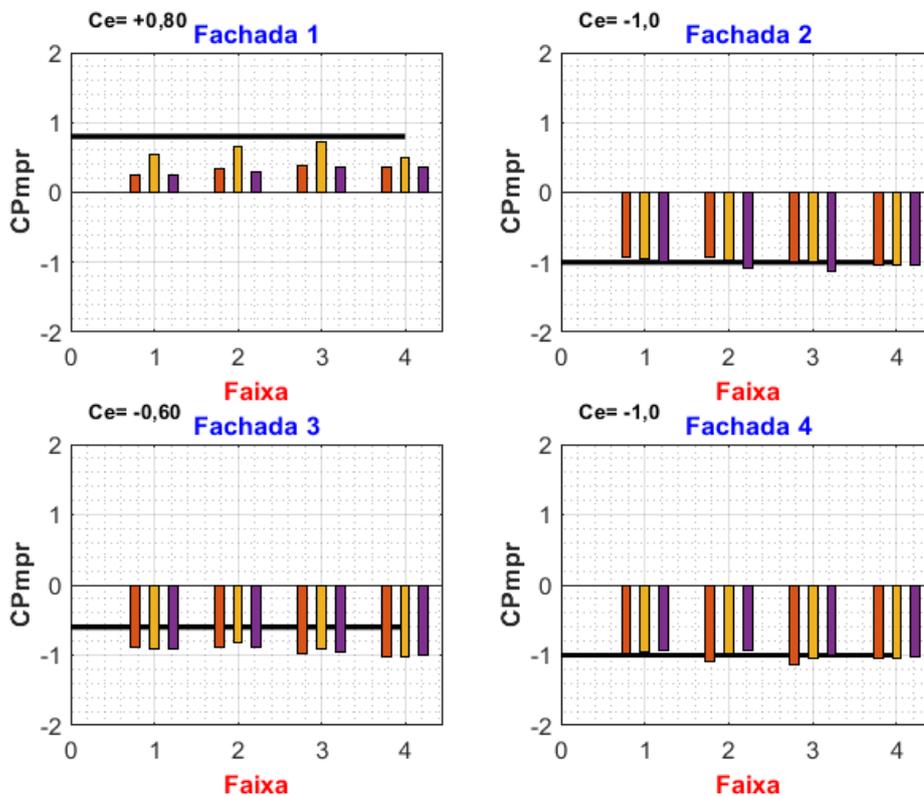


Figura A-35 - Gráfico dos coeficientes de pressões médias por regiões - C0_ISO

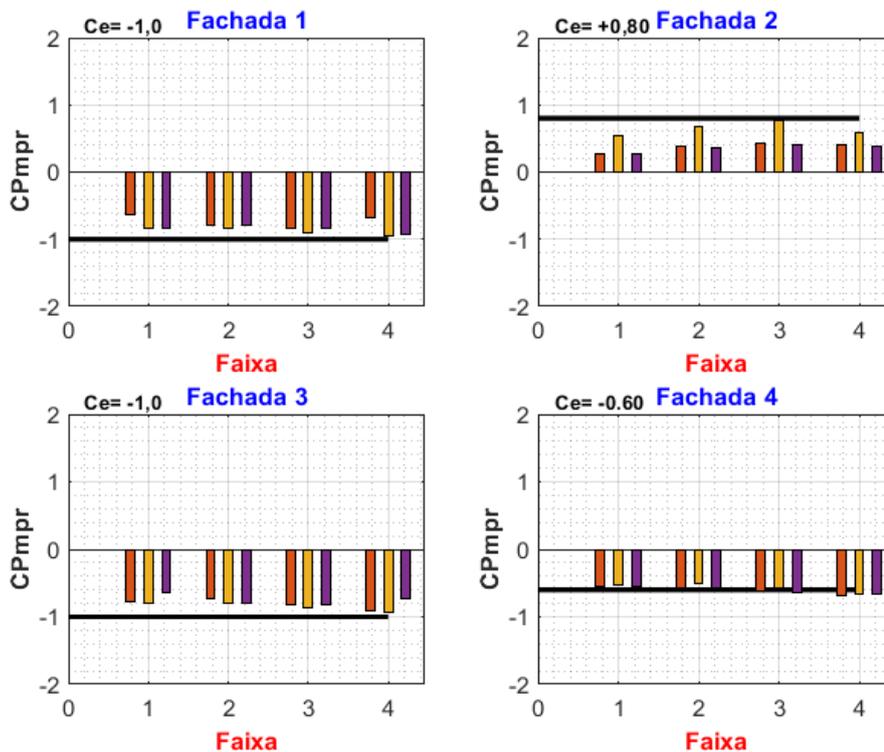


Figura A-36 - Coeficientes de pressões médias por regiões – C90_ISO

A.2.1 - Coeficiente de pressão média por regiões – CAARC à 0° e vizinho à 0°

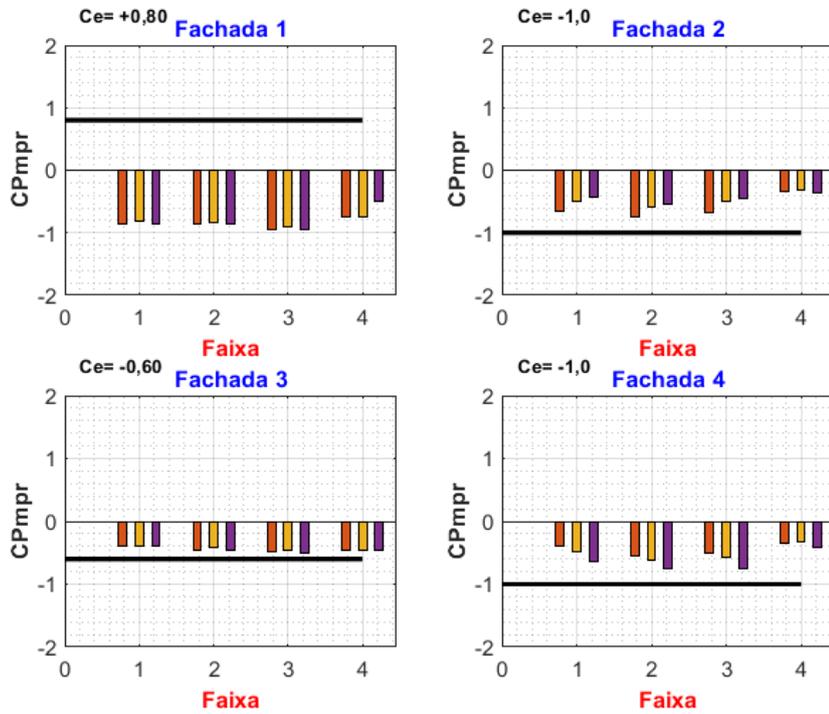


Figura A-37 - Coeficientes de pressões médias por regiões - C0V0_A1

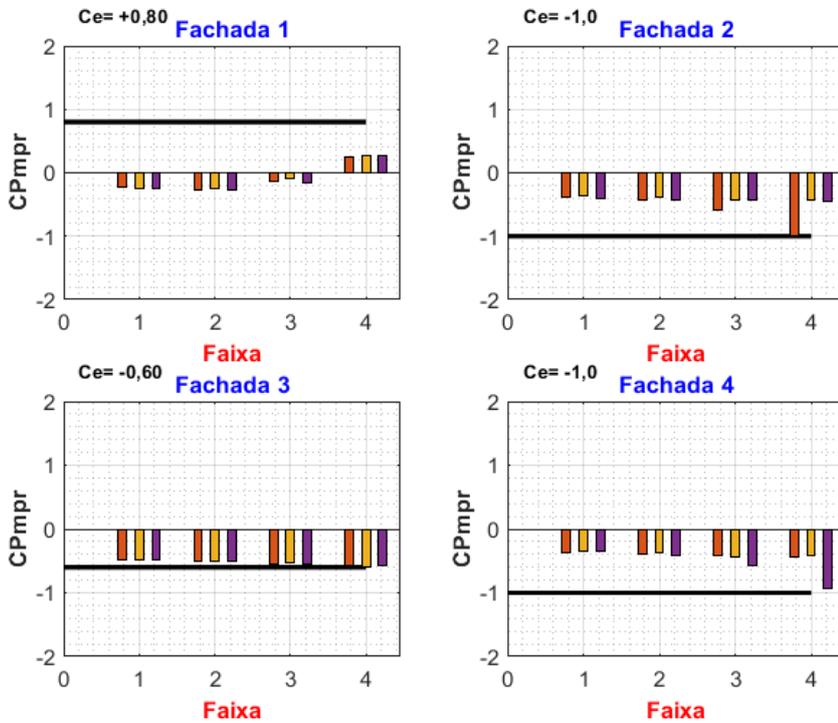


Figura A-38 - Coeficientes de pressões médias por regiões - C0V0_A2

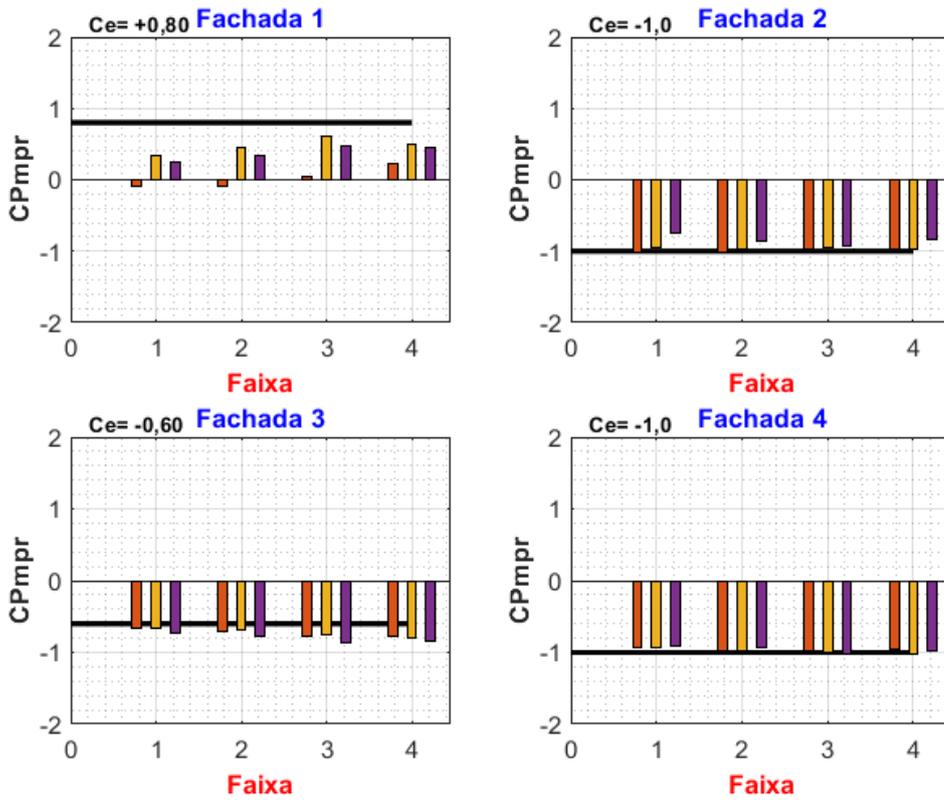


Figura A-39 - Coeficientes de pressões médias por regiões - C0V0_B1

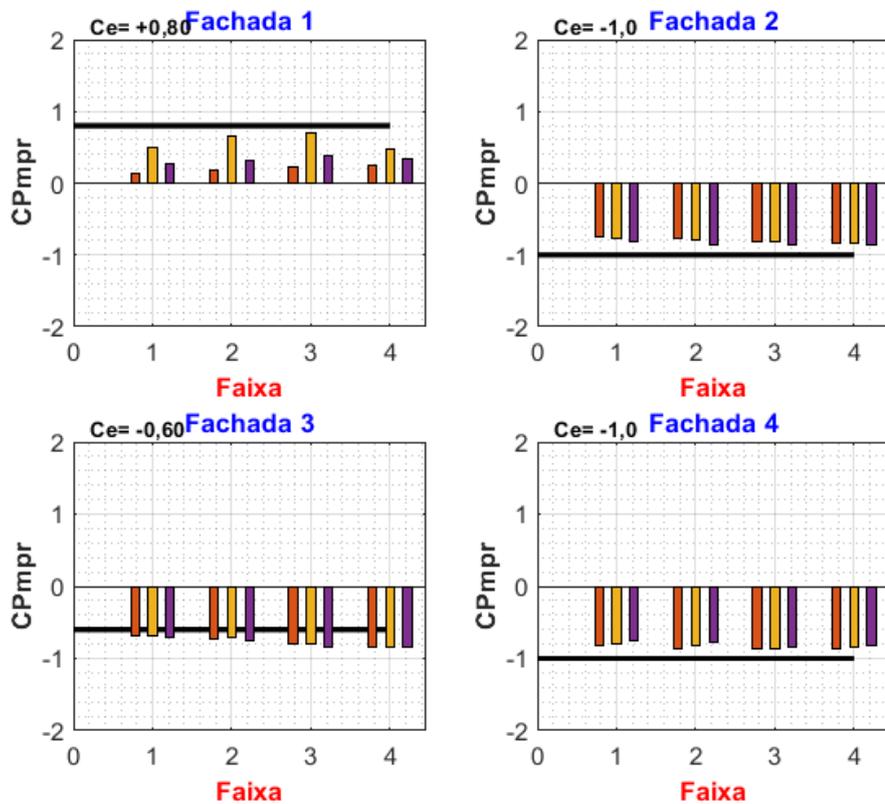


Figura A-40 - Coeficientes de pressões médias por regiões - C0V0_C1

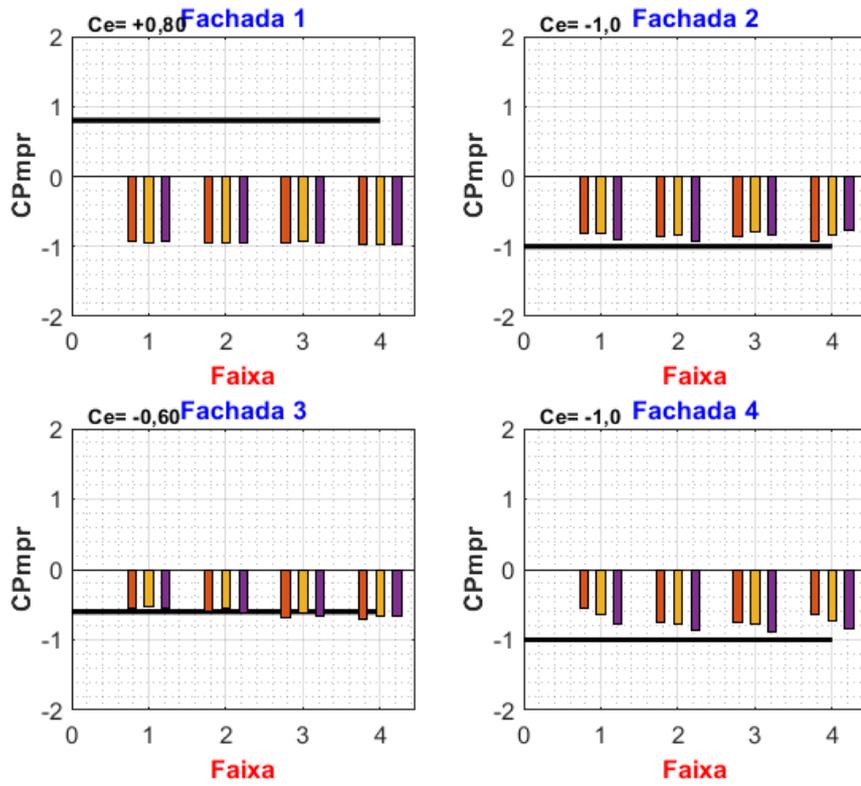


Figura A-41 - Coeficientes de pressões médias por regiões - C0V0_D2_A1

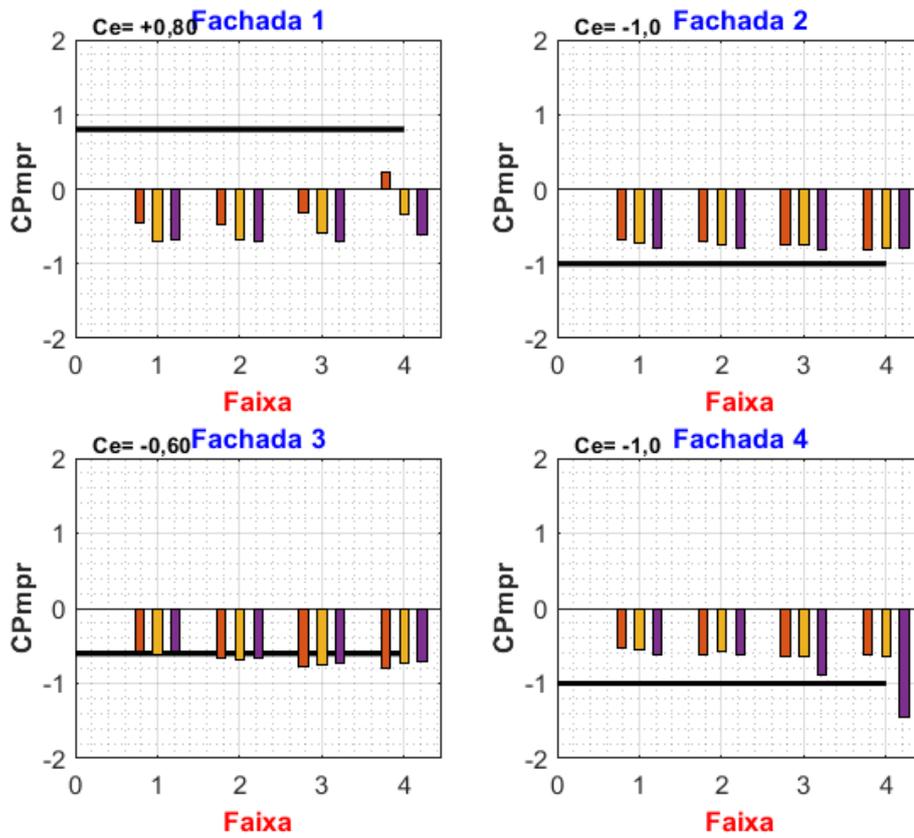


Figura A-42 - Coeficientes de pressões médias por regiões - C0V0_D2_A2

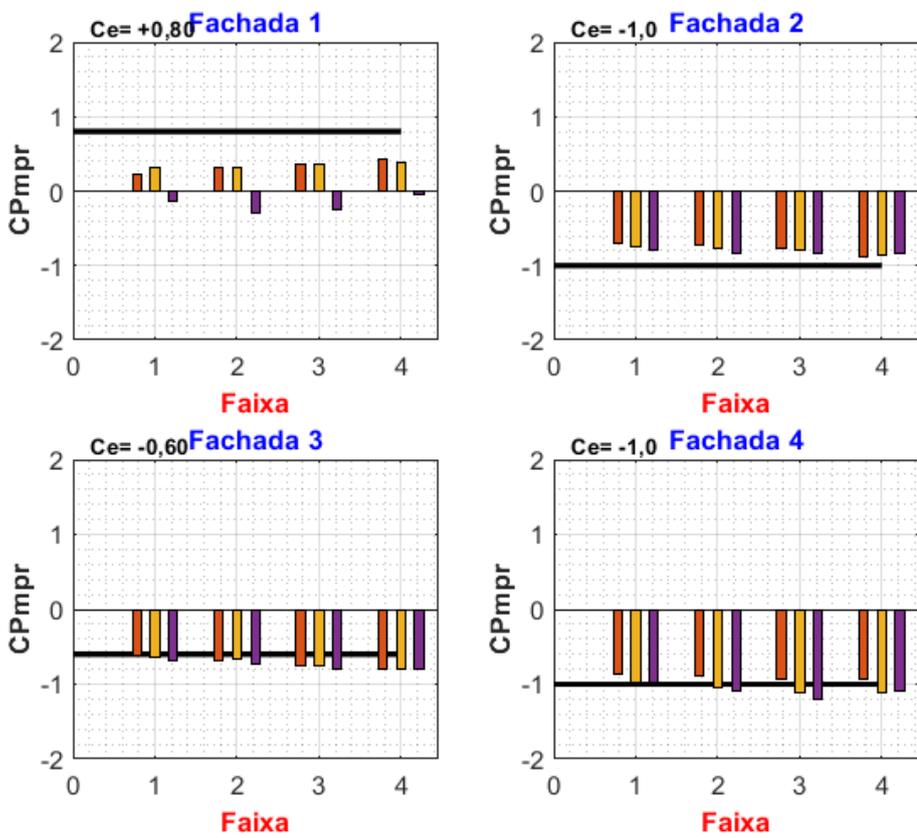


Figura A-43 - Coeficientes de pressões médias por regiões - C0V0_D2_B1

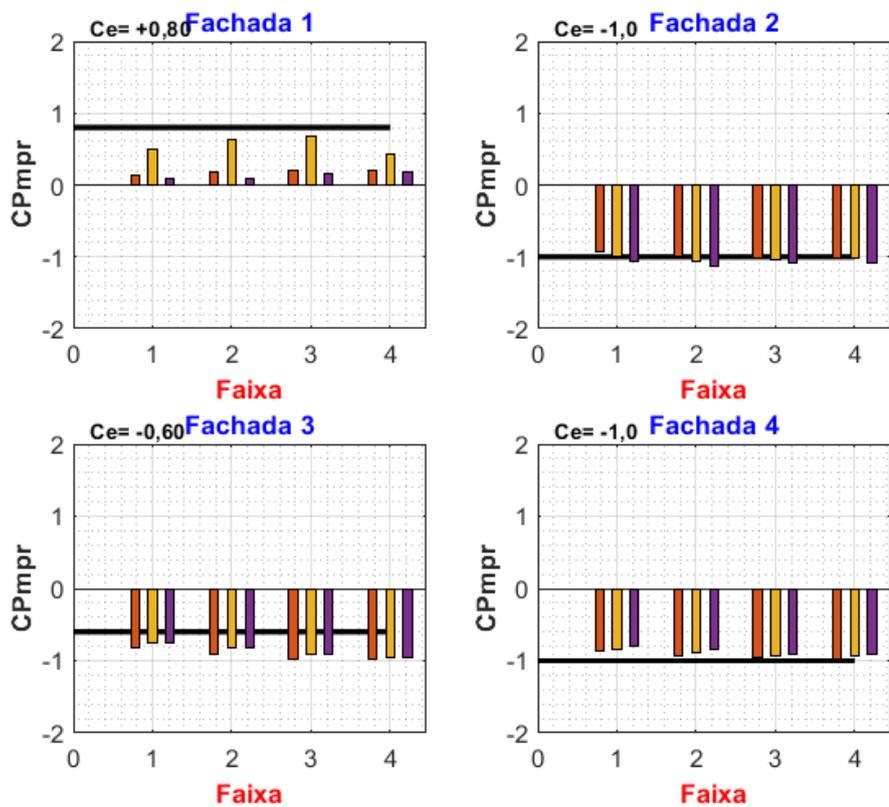


Figura A-44 - Coeficientes de pressões médias por regiões - C0V0_D2_C1

A.2.2 - Coeficiente de pressão média por regiões – CAARC à 0° e vizinho à 90°

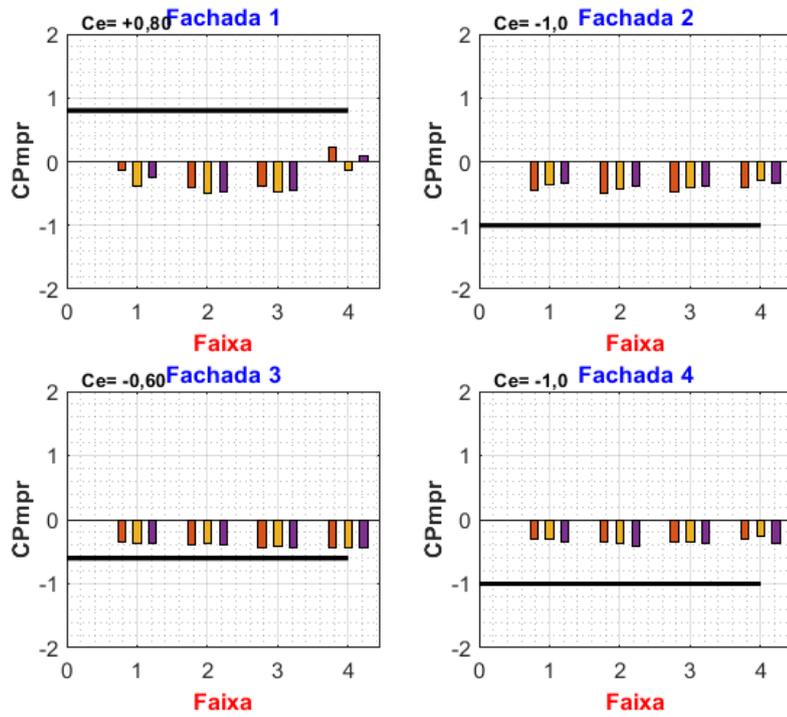


Figura A-45 - Coeficientes de pressões médias por regiões - C0V90_A1

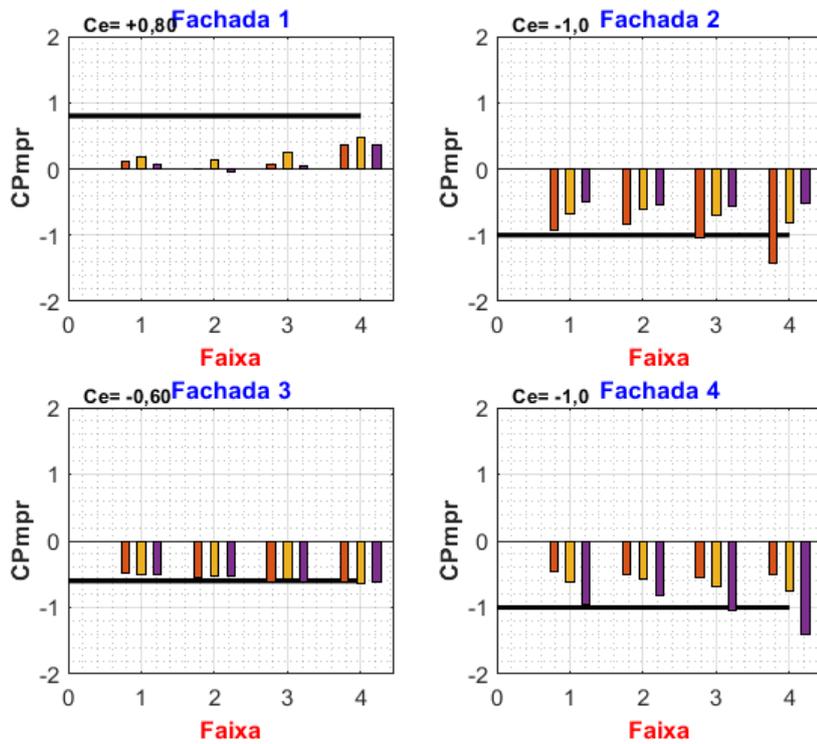


Figura A-46 - Coeficientes de pressões médias por regiões - C0V90_A2

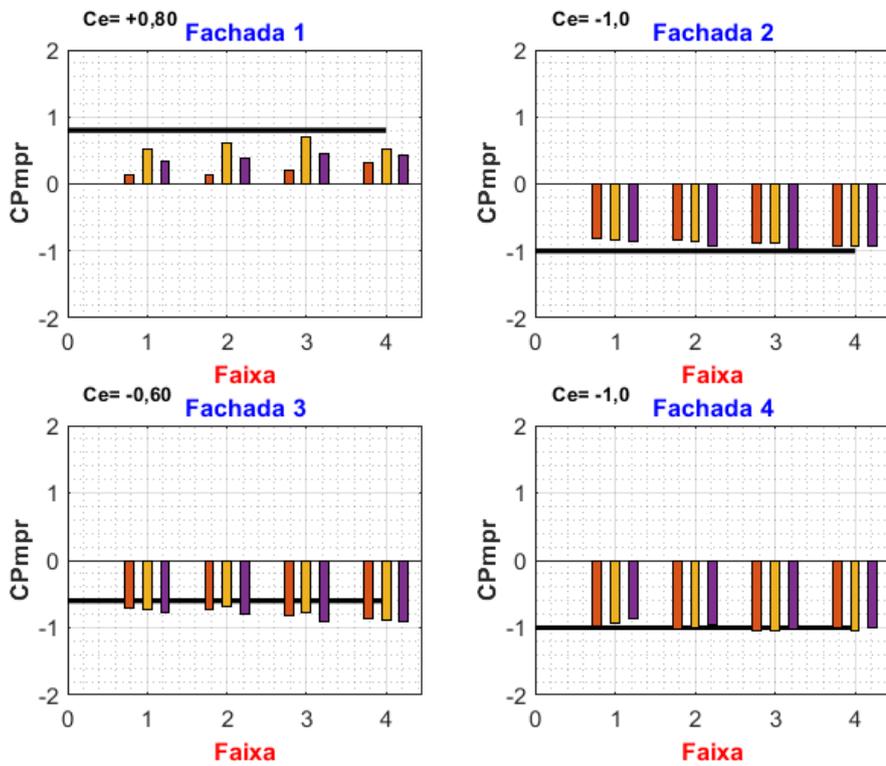


Figura A-47 - Coeficientes de pressões médias por regiões - C0V90_B1

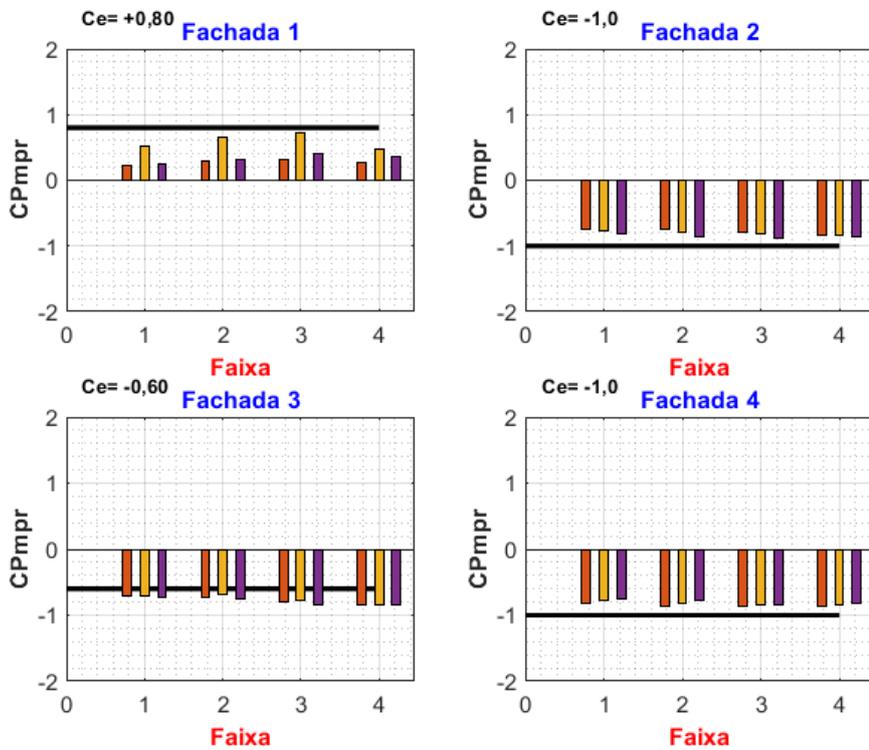


Figura A-48 - Coeficientes de pressões médias por regiões - C0V90_C1

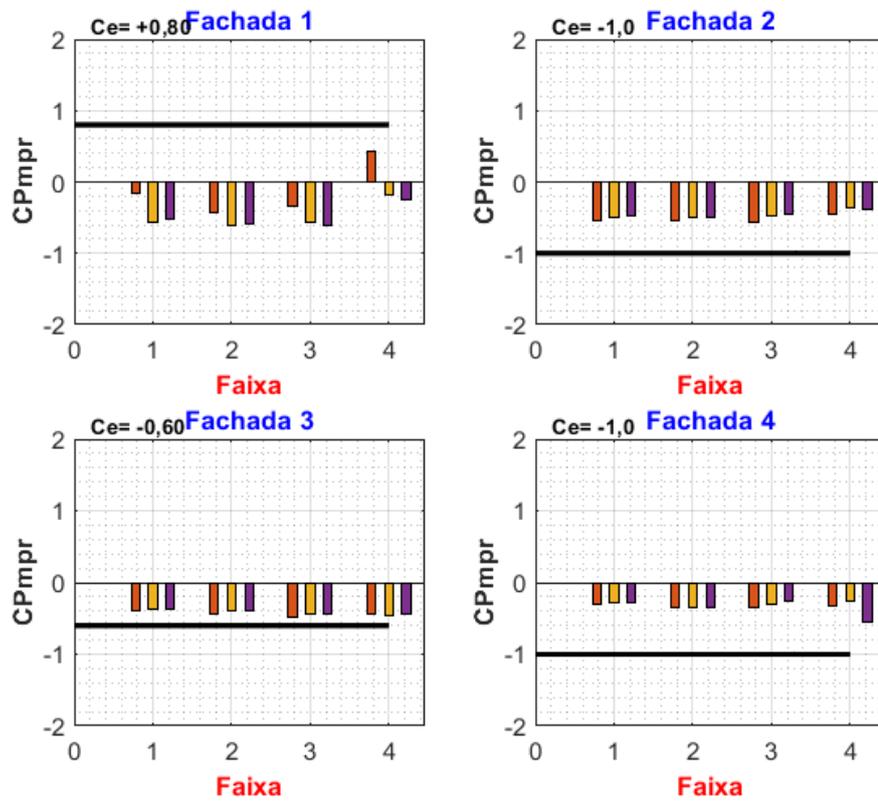


Figura A-49 - Coeficientes de pressões médias por regiões - C0V90_D2_A1

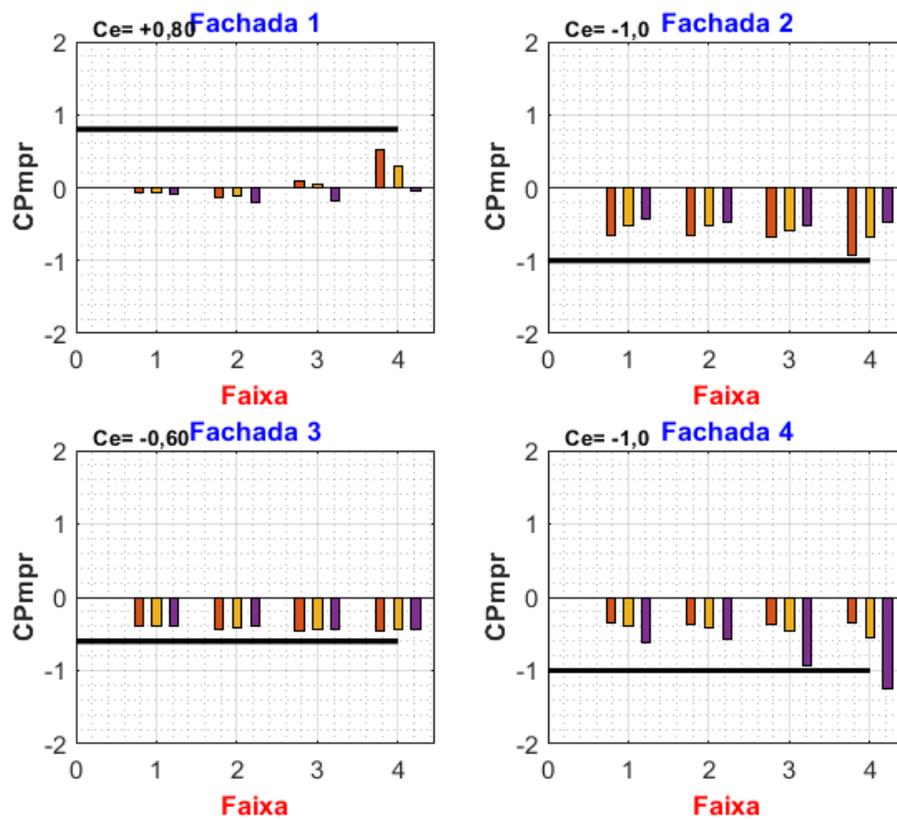


Figura A-50 - Coeficientes de pressões médias por regiões - C0V90_D2_A2

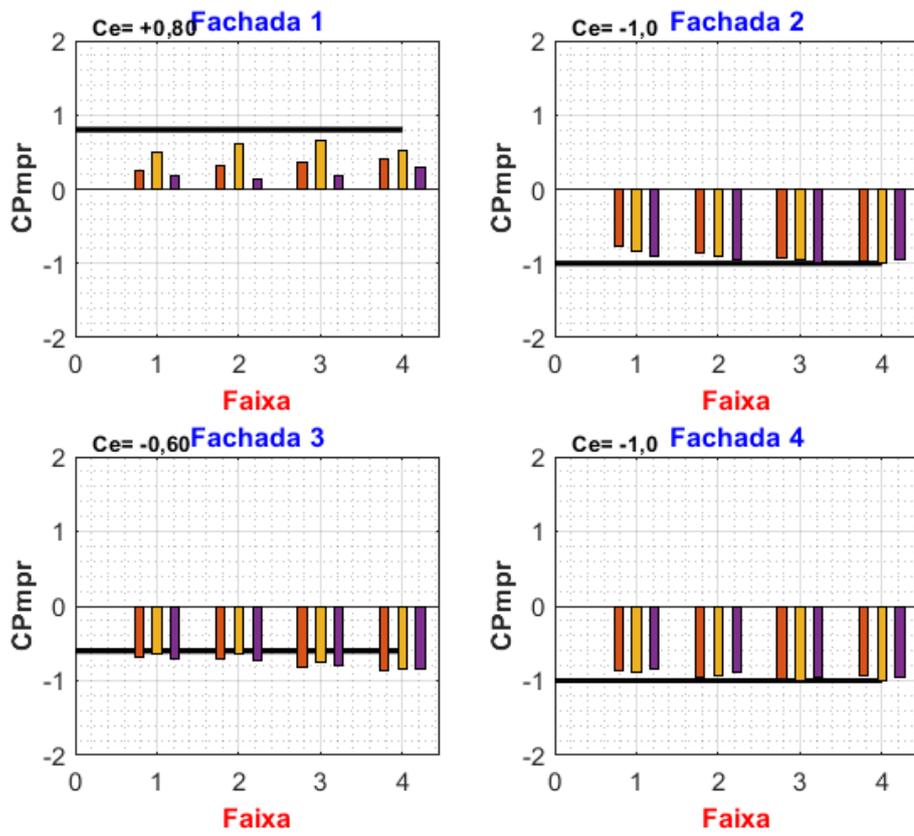


Figura A-51 - Coeficientes de pressões médias por regiões - C0V90_D2_B1

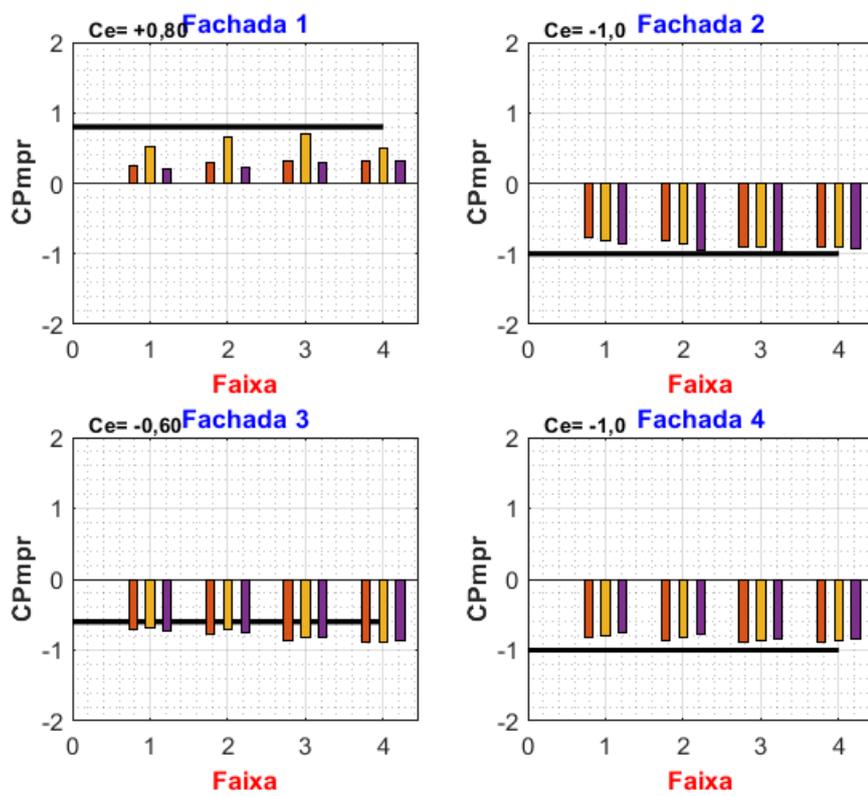


Figura A-52 - Coeficientes de pressões médias por regiões - C0V90_D2_C1

A.2.3 - Coeficiente de pressão média por regiões – CAARC à 90° e vizinho à 0°

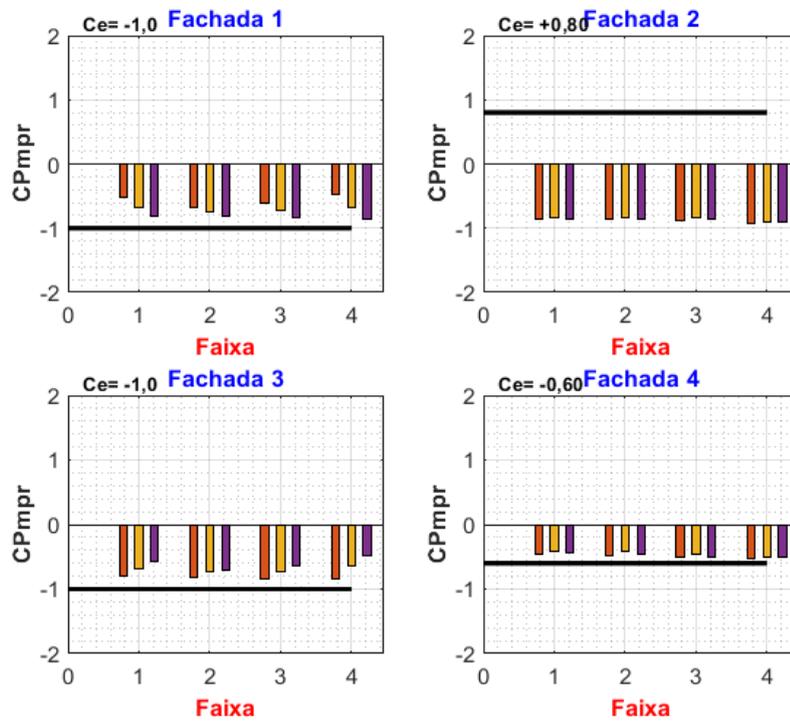


Figura A-53 - Coeficientes de pressões médias por regiões – C90V0_A1

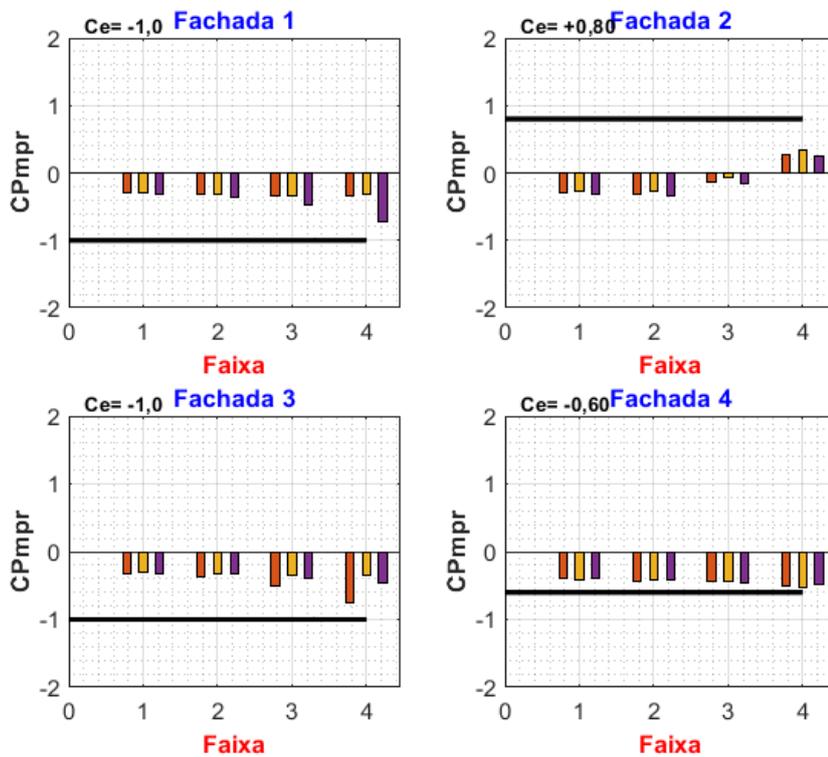


Figura A-54 - Coeficientes de pressões médias por regiões – C90V0_A2

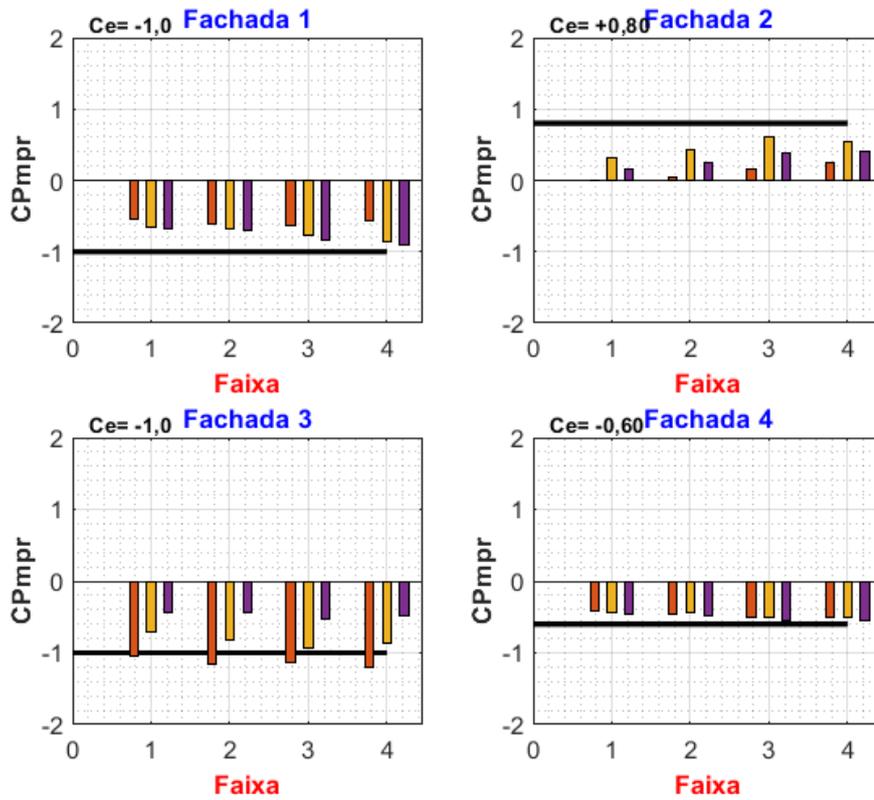


Figura A-55 - Coeficientes de pressões médias por regiões – C90V0_B1

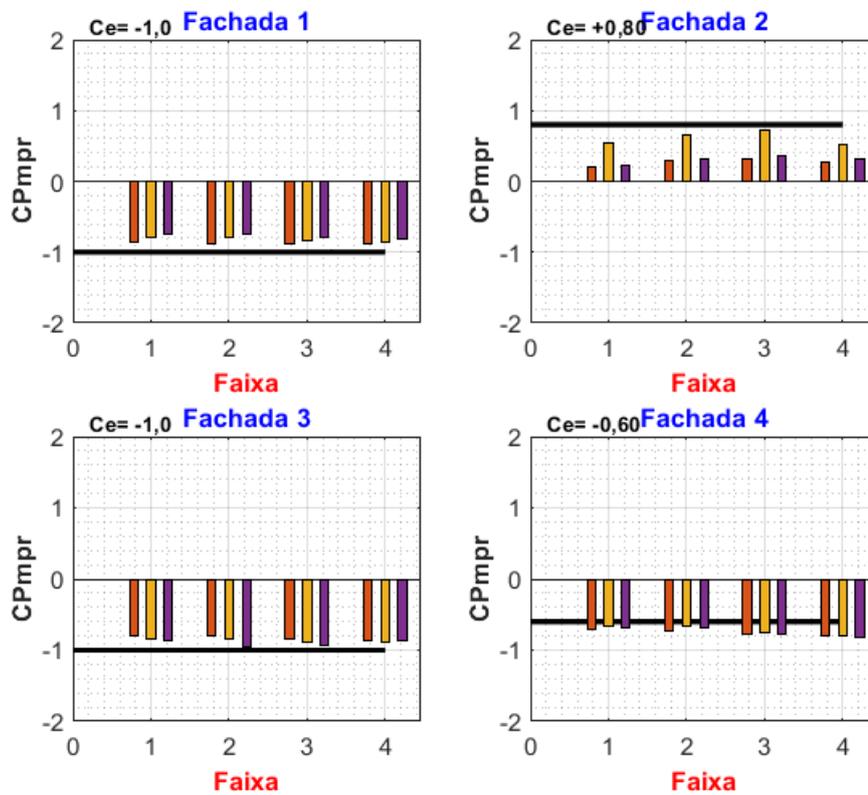


Figura A-56 - Coeficientes de pressões médias por regiões – C90V0_C1

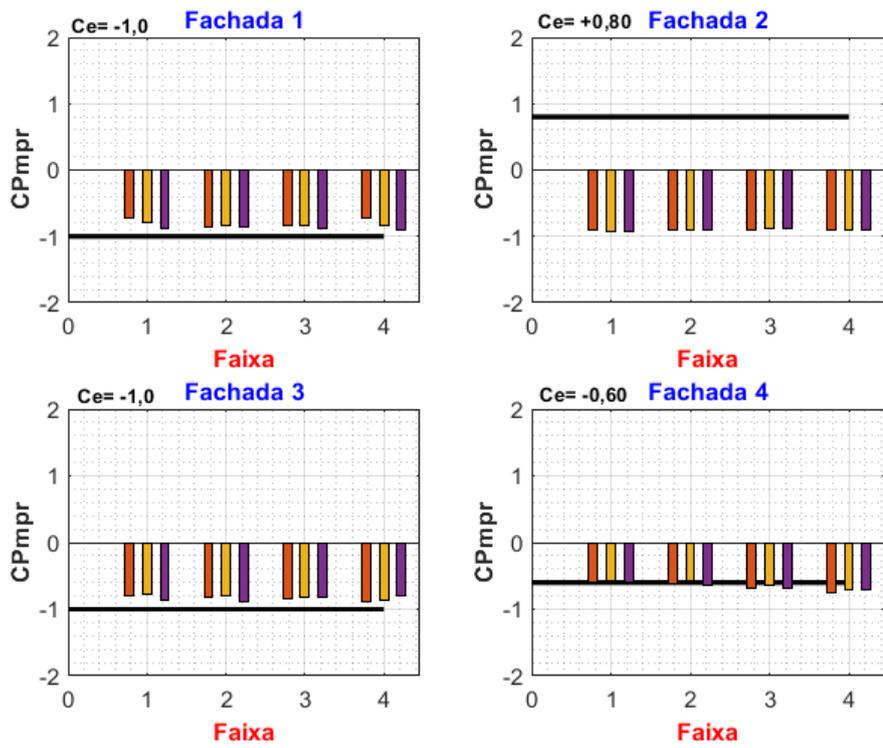


Figura A-57 - Coeficientes de pressões médias por regiões – C90V0_D2_A1

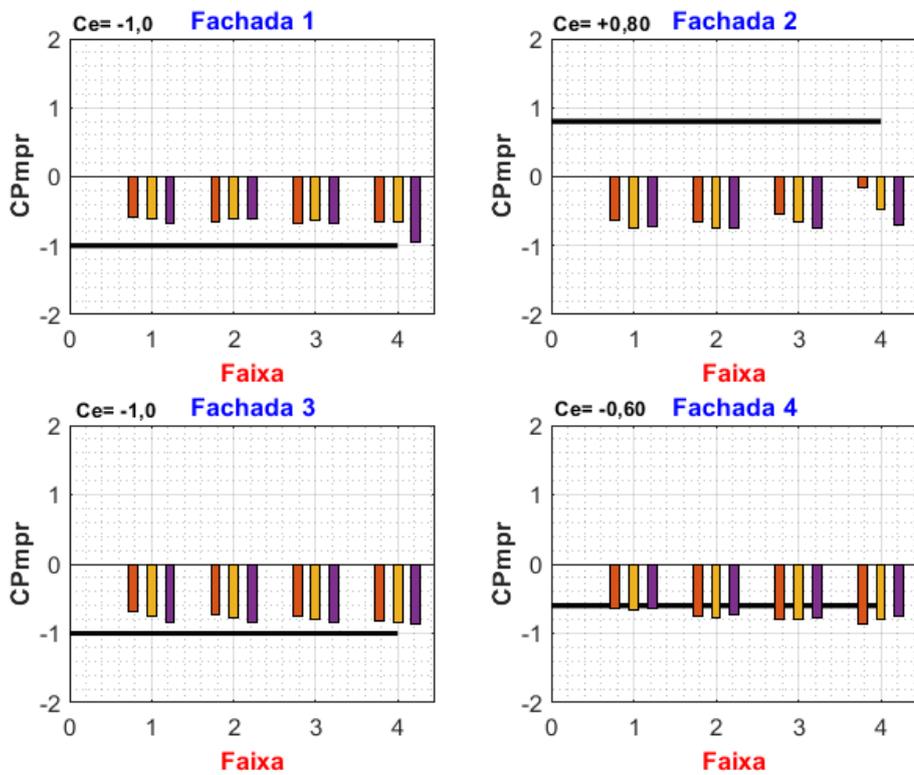


Figura A-58 - Coeficientes de pressões médias por regiões – C90V0_D2_A2

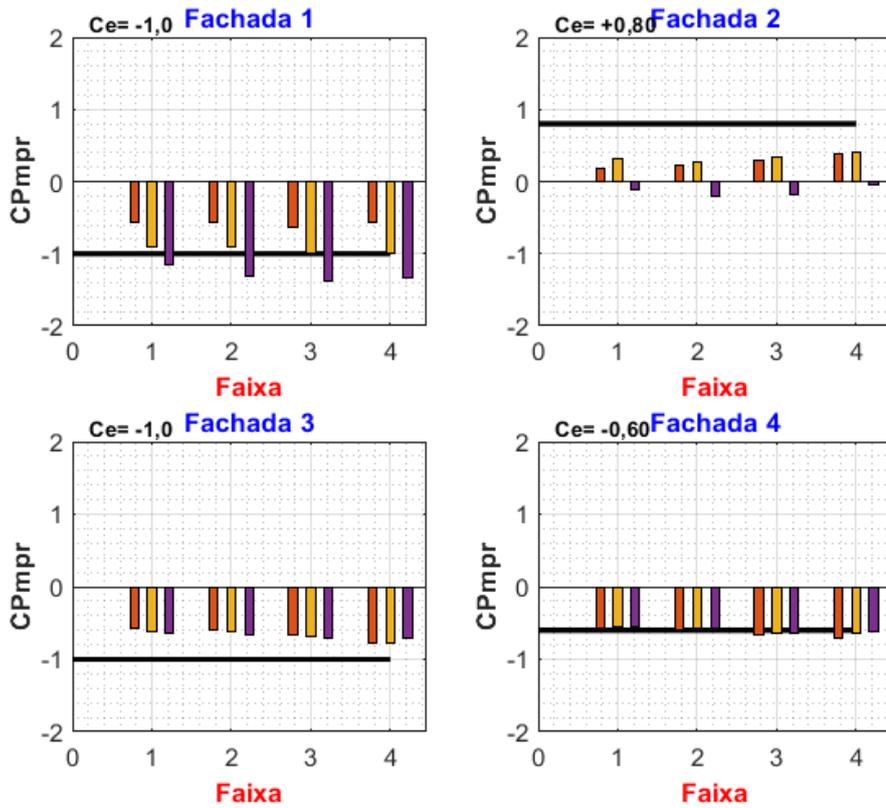


Figura A-59 - Coeficientes de pressões médias por regiões – C90V0_D2_B1

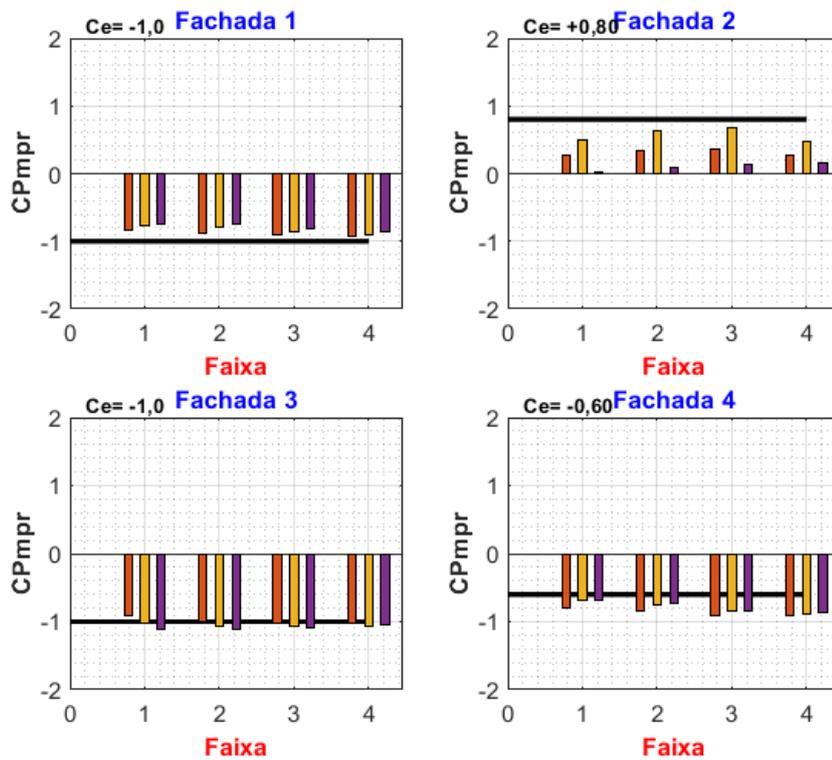


Figura A-60 - Coeficientes de pressões médias por regiões – C90V0_D2_C1

A.2.4 - Coeficiente de pressão média por regiões – CAARC à 90° e vizinho à 90°

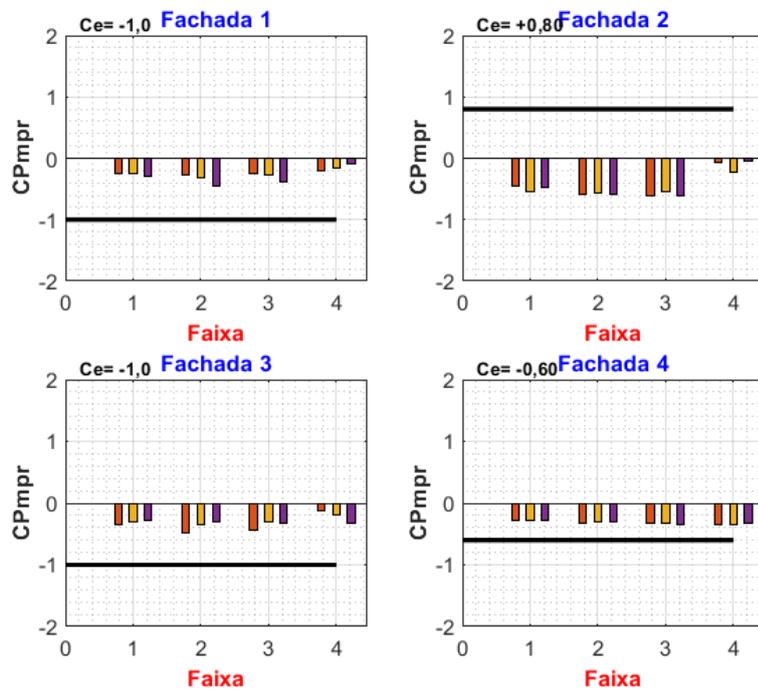


Figura A-61 - Coeficientes de pressões médias por regiões – C90V90_A1

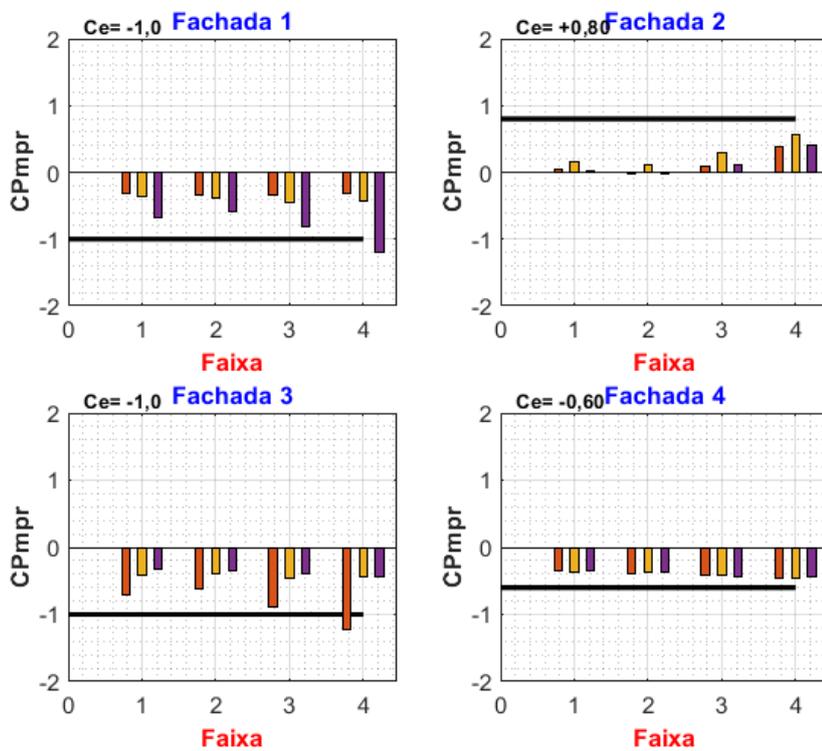


Figura A-62 - Coeficientes de pressões médias por regiões – C90V90_A2

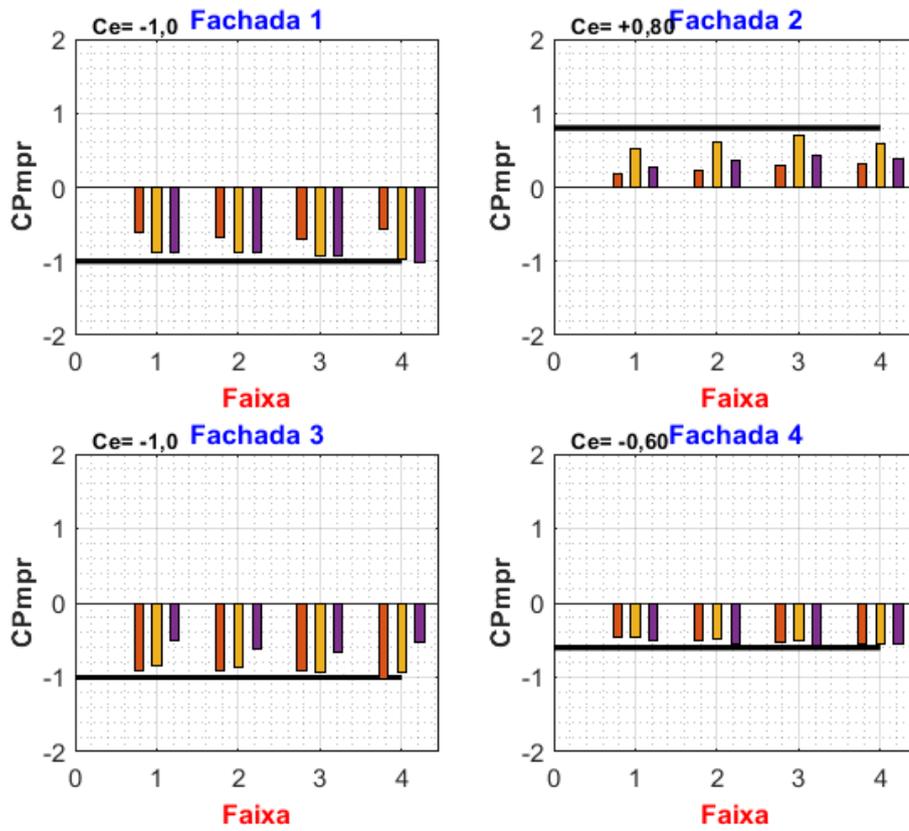


Figura A-63 - Coeficientes de pressões médias por regiões – C90V90_B1

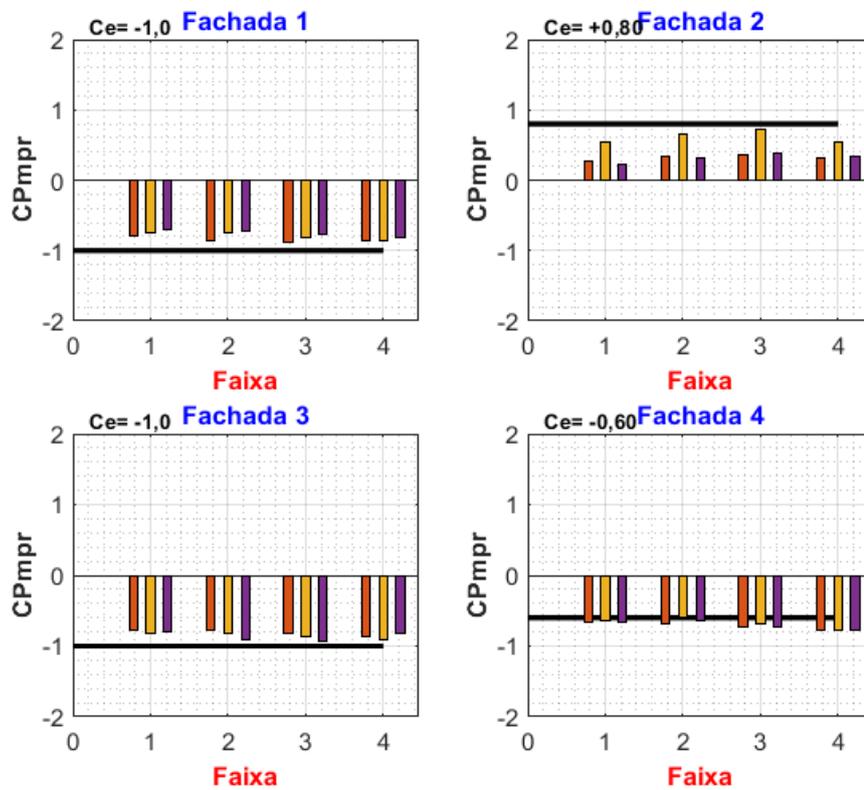


Figura A-64 - Coeficientes de pressões médias por regiões – C90V90_C1

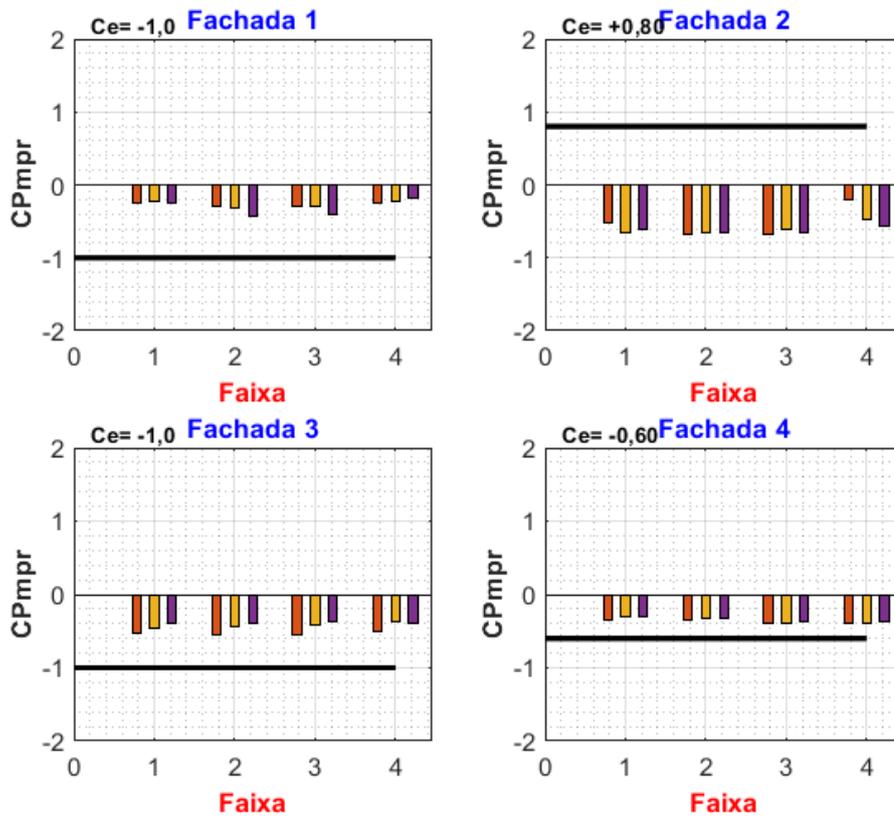


Figura A-65 - Coeficientes de pressões médias por regiões – C90V90_D2_A1

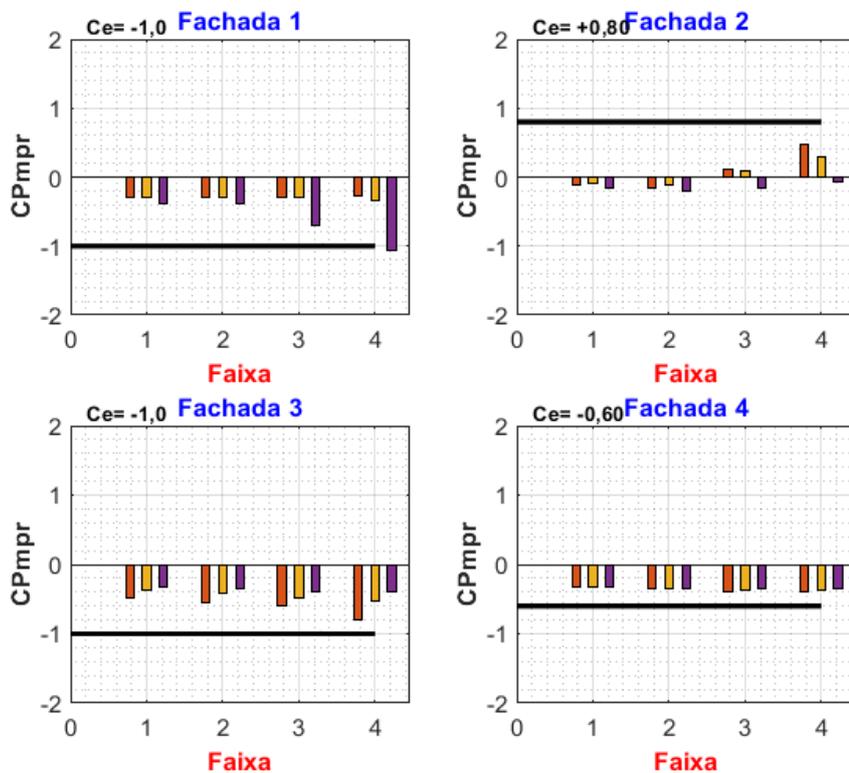


Figura A-66 - Coeficientes de pressões médias por regiões – C90V90_D2_A2

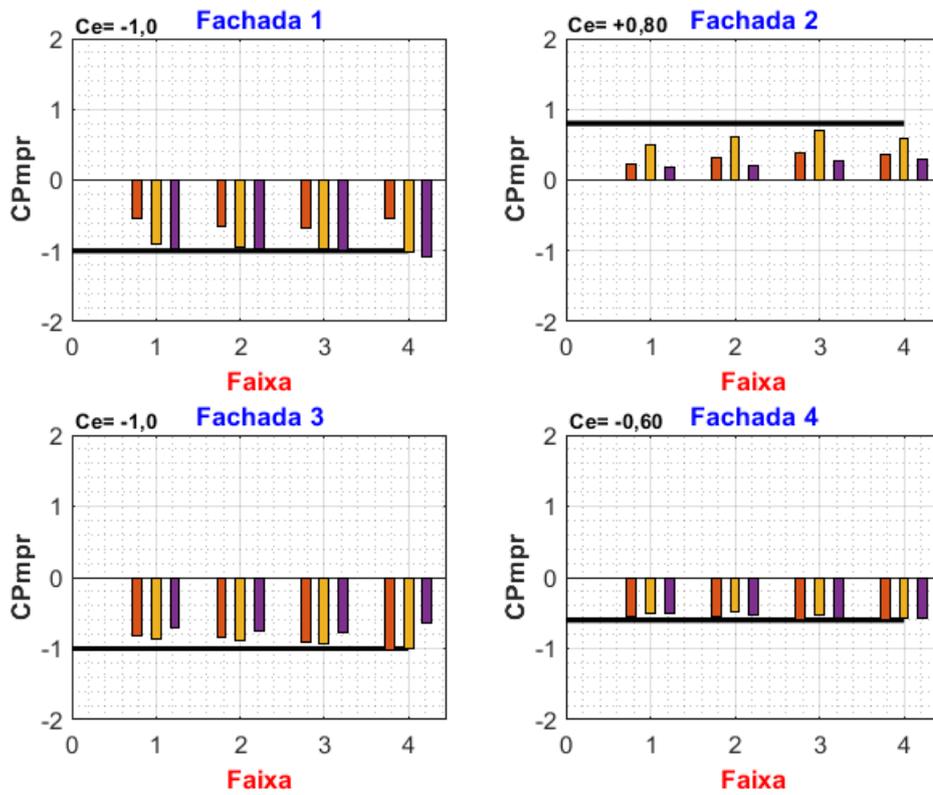


Figura A-67 - Coeficientes de pressões médias por regiões – C90V90_D2_B1

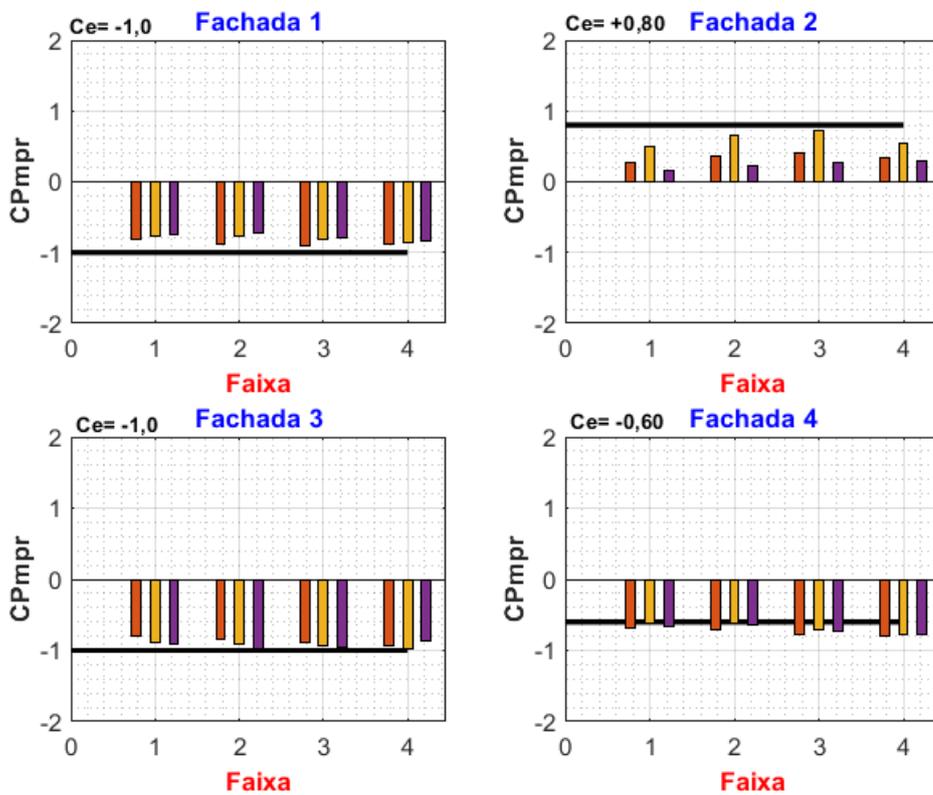


Figura A-68 - Coeficientes de pressões médias por regiões – C90V90_D2_C1

APÊNDICE A.3 – FATOR DE VIZINHANÇA DOS COEFICIENTES DE PRESSÕES MÉDIAS POR REGIÕES

A.3.1 – Fatores de Vizinhanças dos Cpe médias por regiões – CAARC à 0° e vizinho à 0°

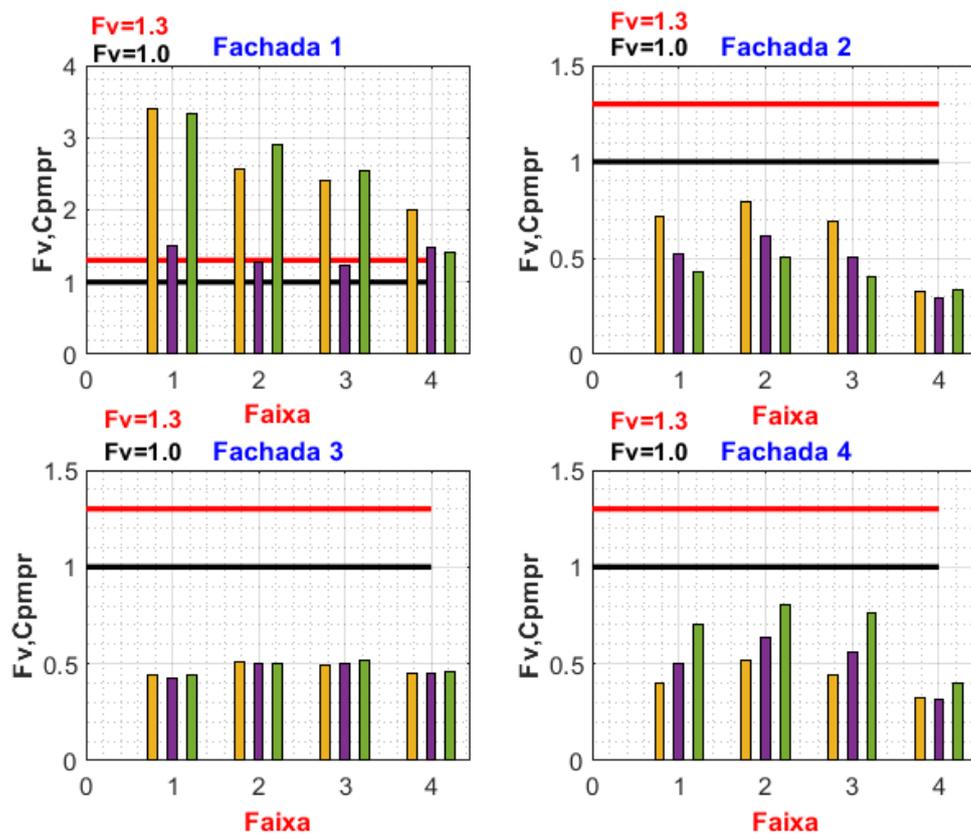


Figura A-69 - Fator de vizinhança F_v dos coeficientes de pressões médias por regiões –

C0V0_A1

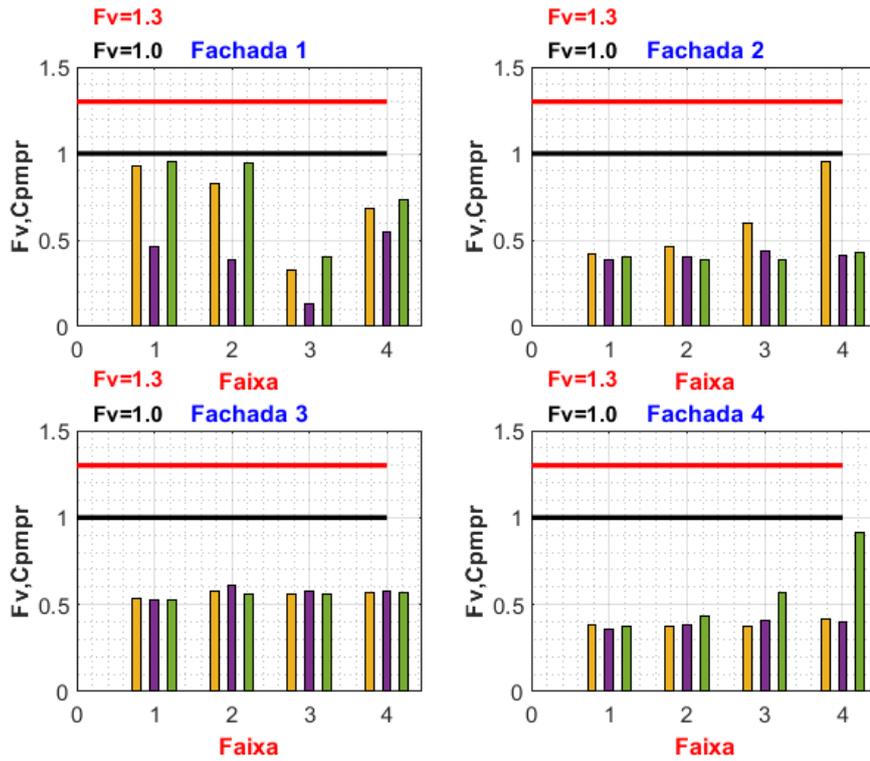


Figura A-70 - Fator de vizinhança F_v dos coeficientes de pressões médias por regiões – C0V0_A2

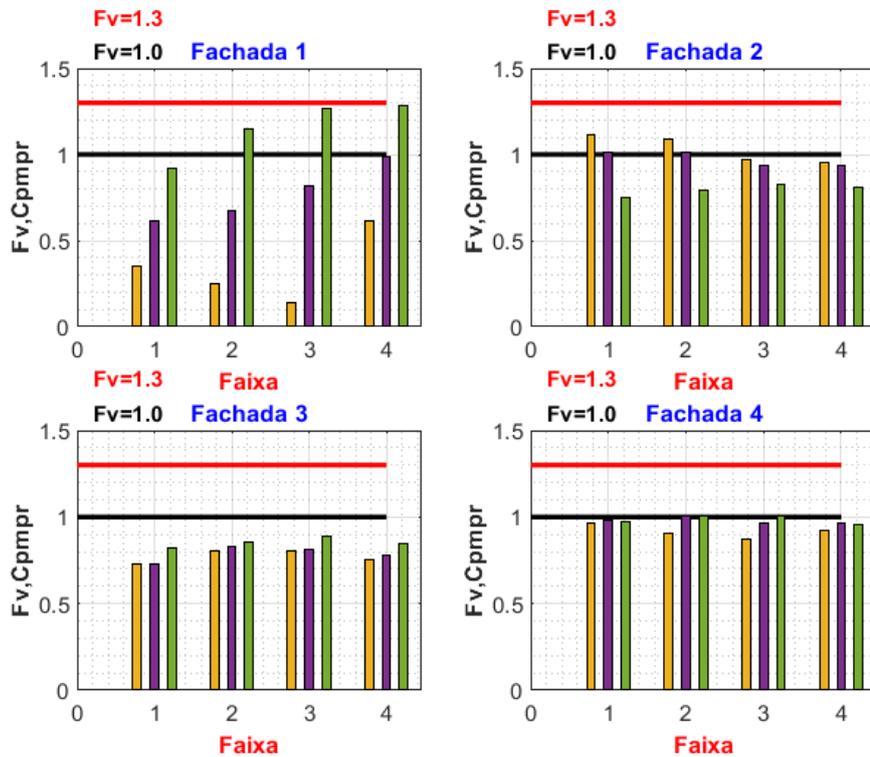


Figura A-71 - Fator de vizinhança F_v dos coeficientes de pressões médias por regiões – C0V0_B1

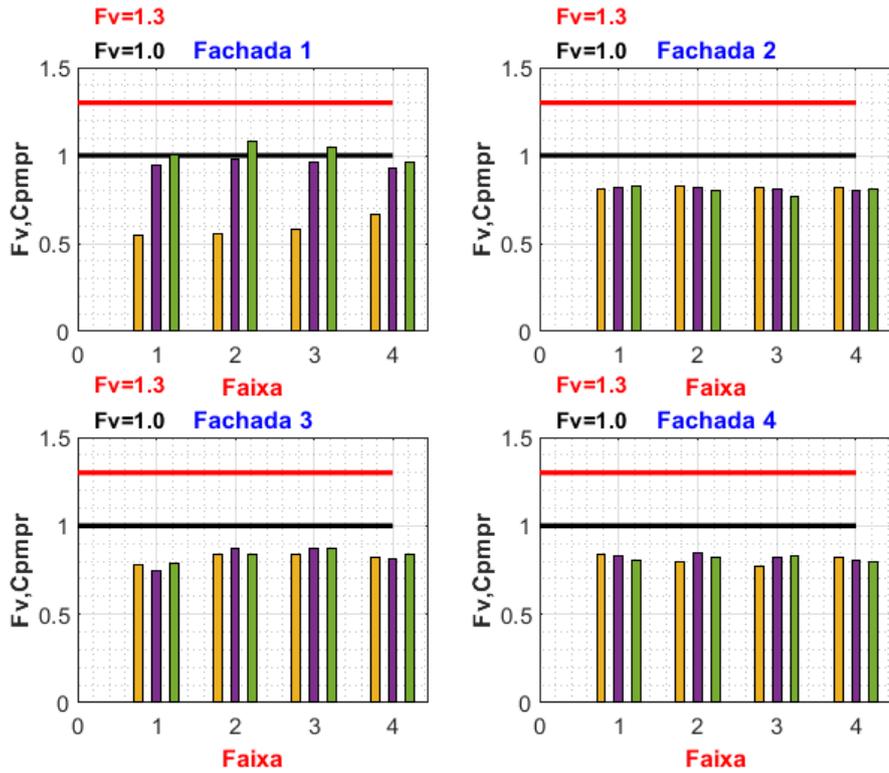


Figura A-72 - Fator de vizinhança F_v dos coeficientes de pressões médias por regiões – C0V0_C1

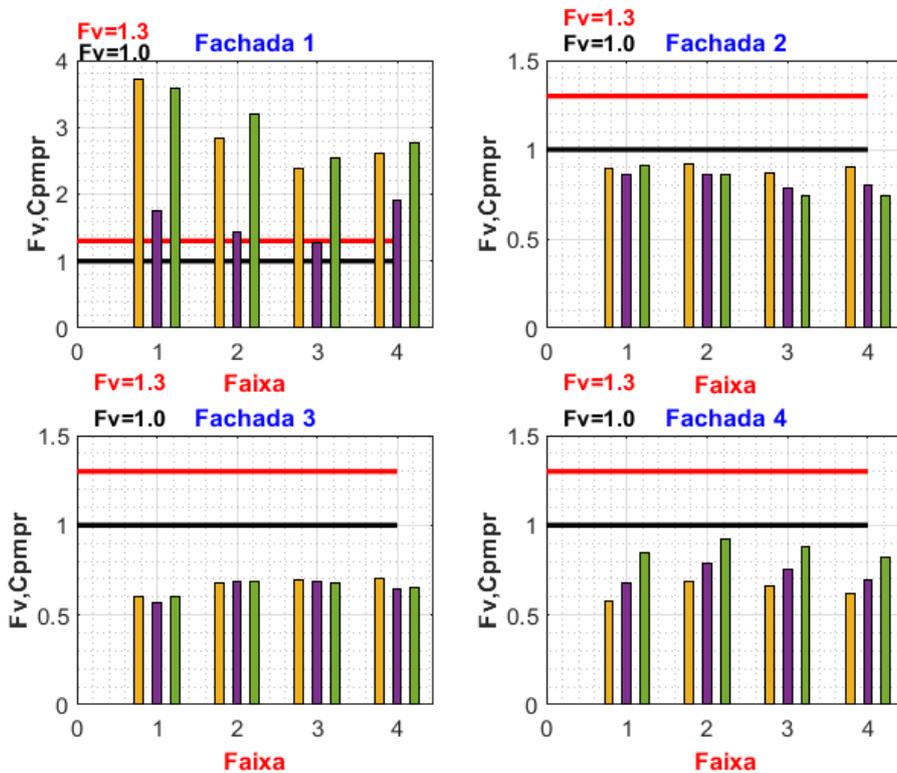


Figura A-73 - Fator de vizinhança F_v dos coeficientes de pressões médias por regiões – C0V0_D2_A1

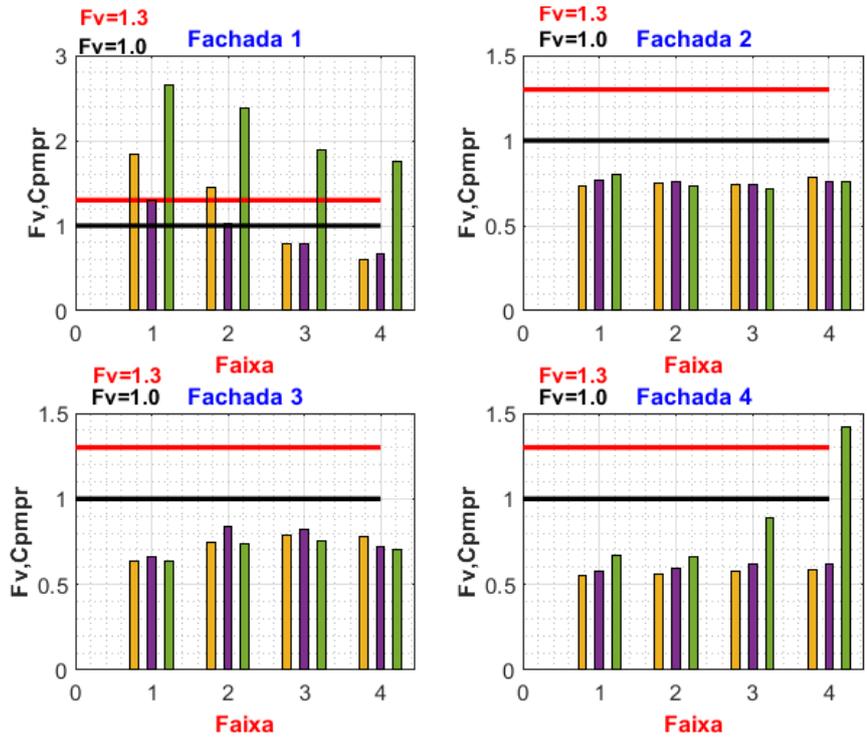


Figura A-74 - Fator de vizinhança F_v dos coeficientes de pressões médias por regiões – C0V0_D2_A2

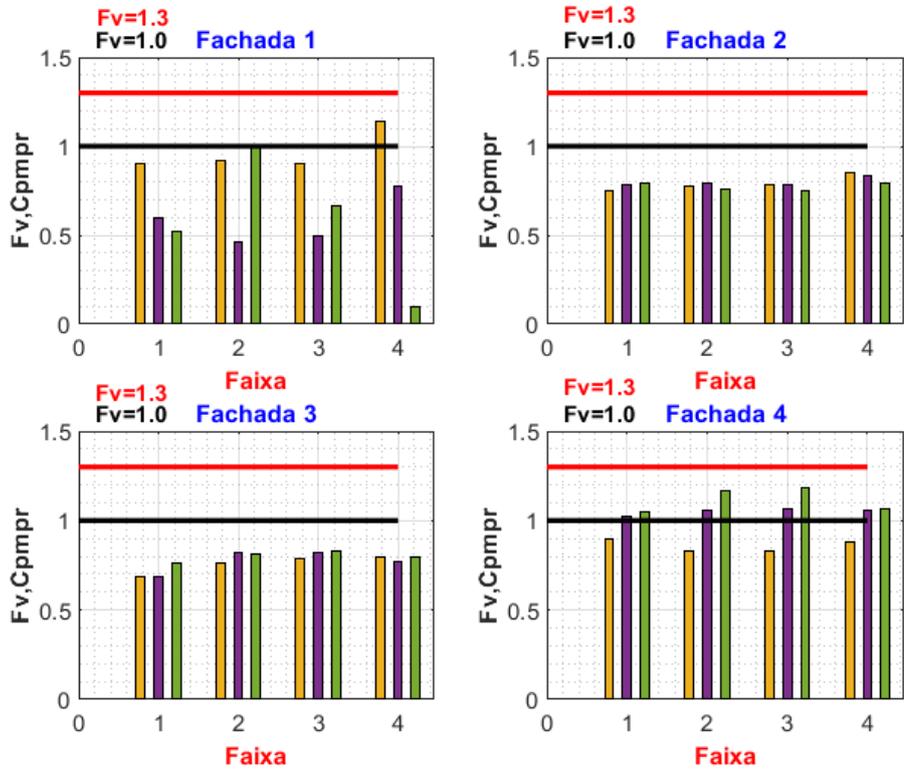


Figura A-75 - Fator de vizinhança F_v dos coeficientes de pressões médias por regiões – C0V0_D2_B1

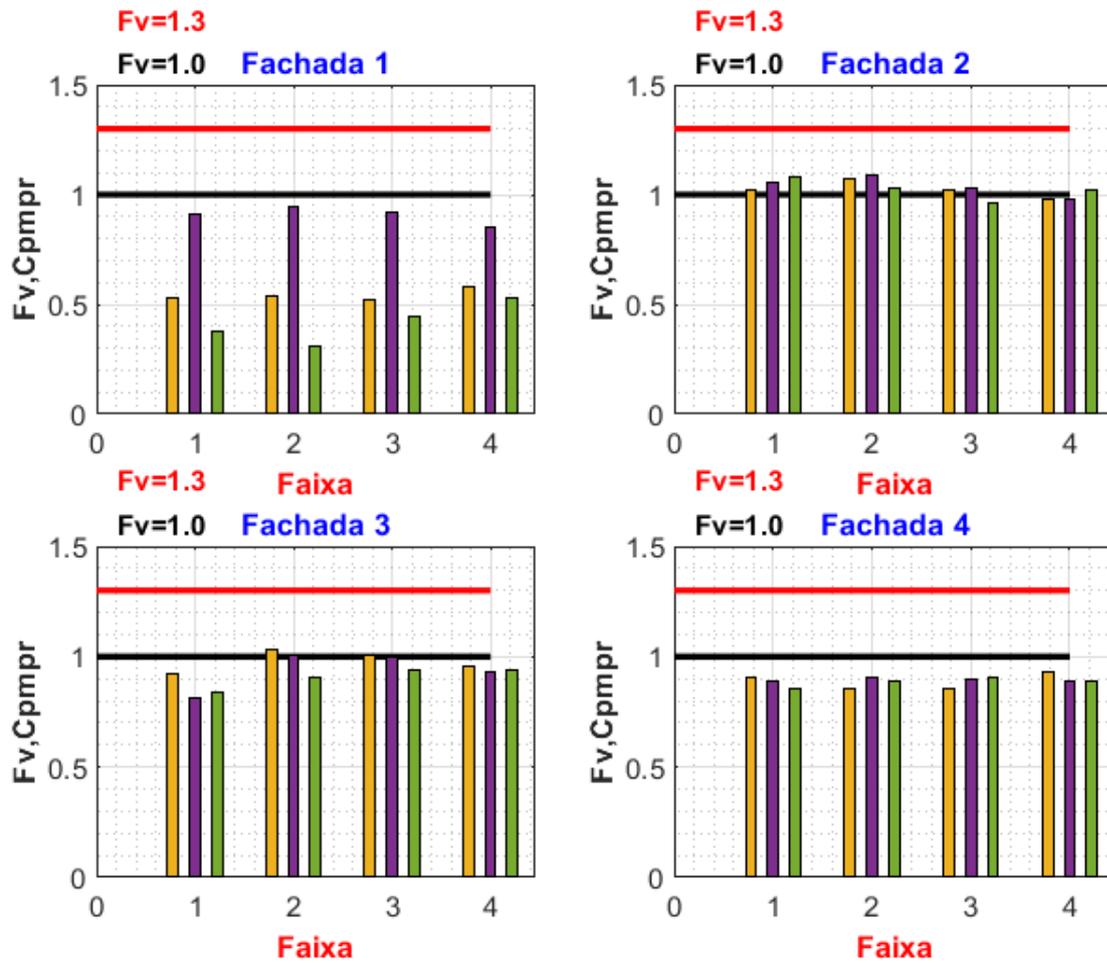


Figura A-76 - Fator de vizinhança F_v dos coeficientes de pressões médias por regiões – C0V0_D2_C1

A.3.2 - Fatores de Vizinhanças dos Cpe médias por regiões – CAARC à 0° e vizinho à 90°

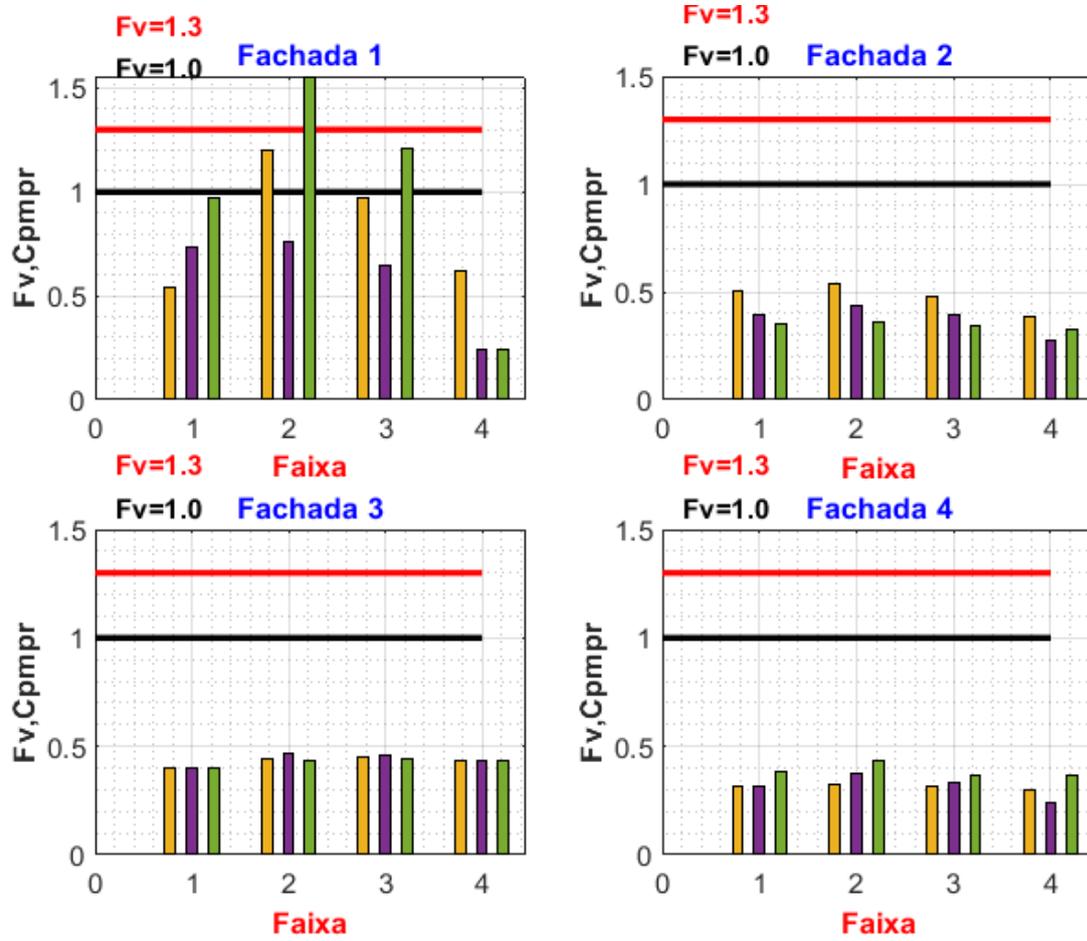


Figura A-77 - Fator de vizinhança F_v dos coeficientes de pressões médias por regiões – C0V90_A1

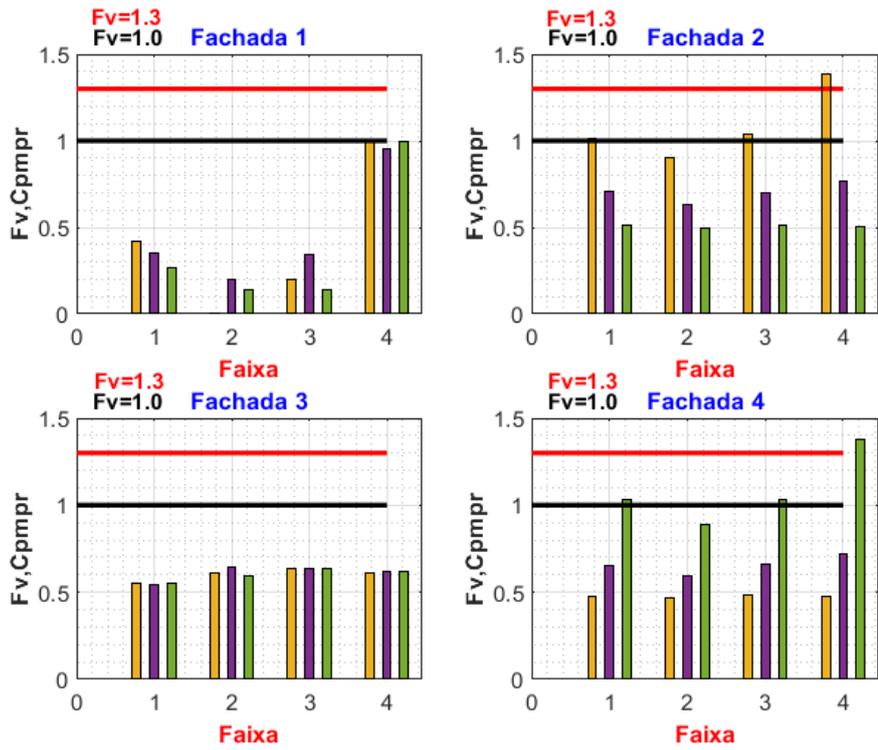


Figura A-78 - Fator de vizinhança F_v dos coeficientes de pressões médias por regiões – C0V90_A2

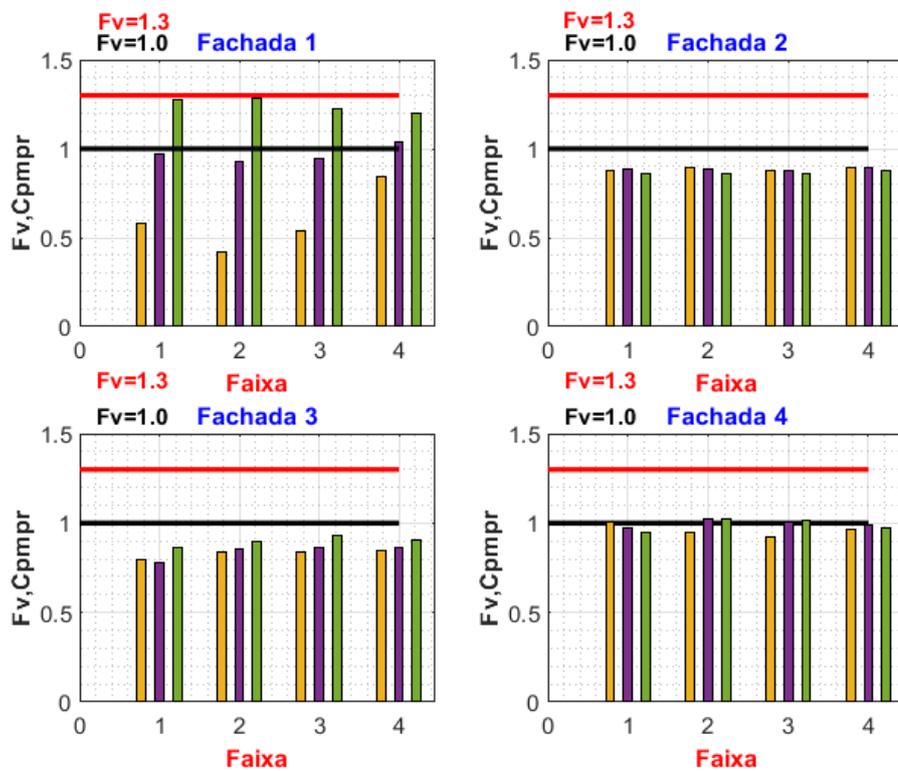


Figura A-79 - Fator de vizinhança F_v dos coeficientes de pressões médias por regiões – C0V90_B1

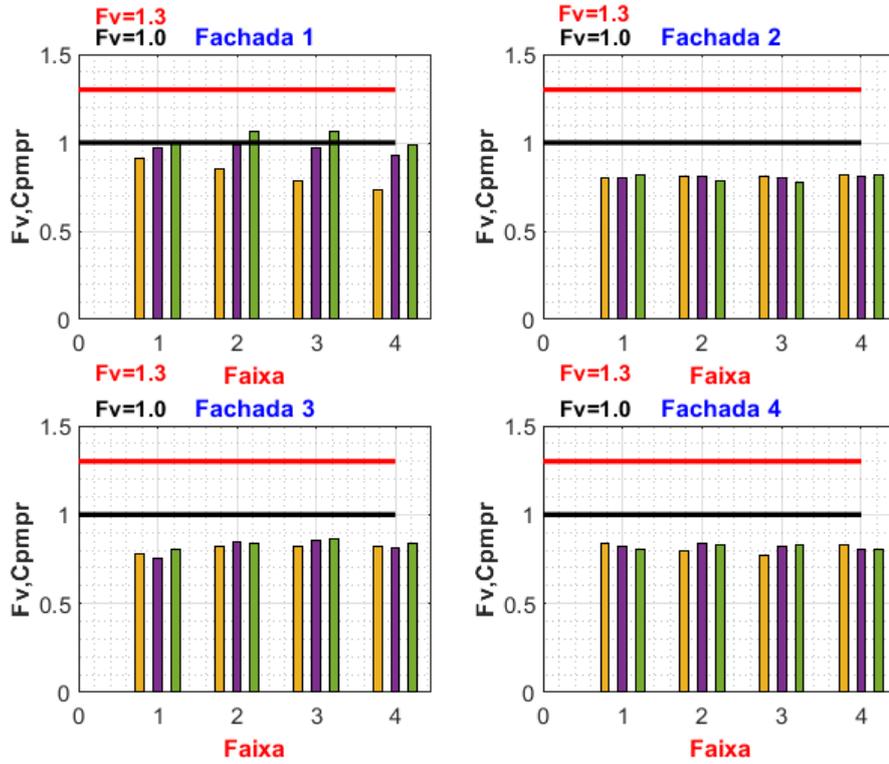


Figura A-80 - Fator de vizinhança F_v dos coeficientes de pressões médias por regiões – C0V90_C1

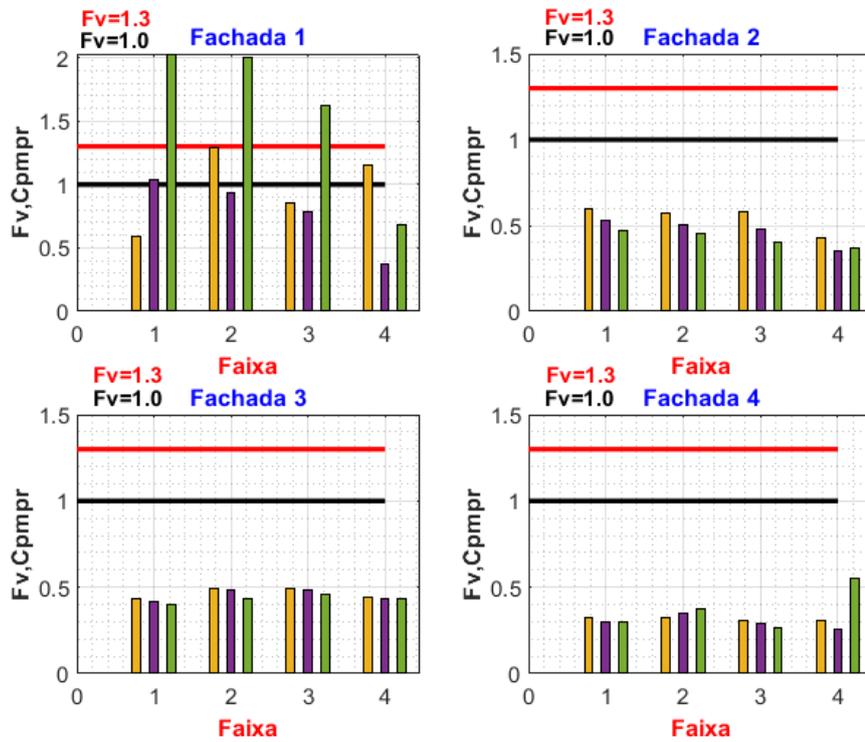


Figura A-81 - Fator de vizinhança F_v dos coeficientes de pressões médias por regiões – C0V90_D2_A1

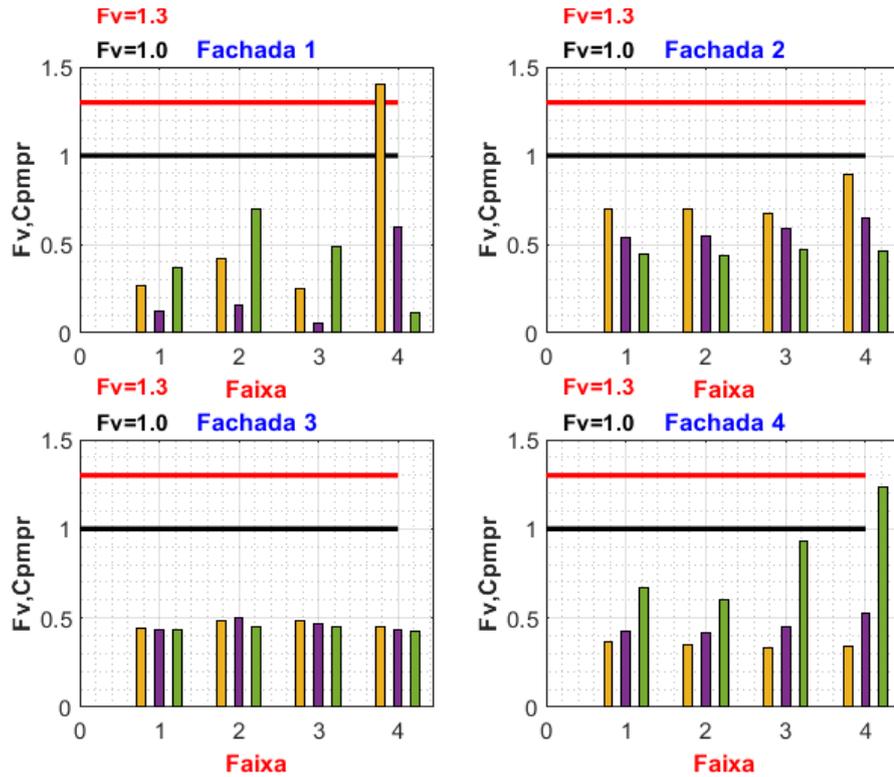


Figura A-82 - Fator de vizinhança F_v dos coeficientes de pressões médias por regiões – C0V90_D2_A2

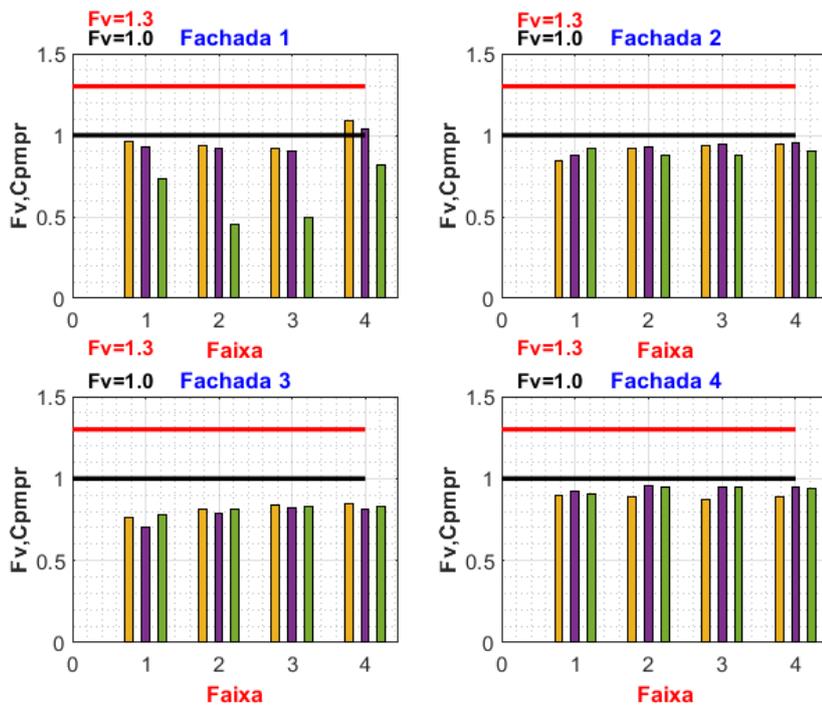


Figura A-83 - Fator de vizinhança F_v dos coeficientes de pressões médias por regiões – C0V90_D2_B1

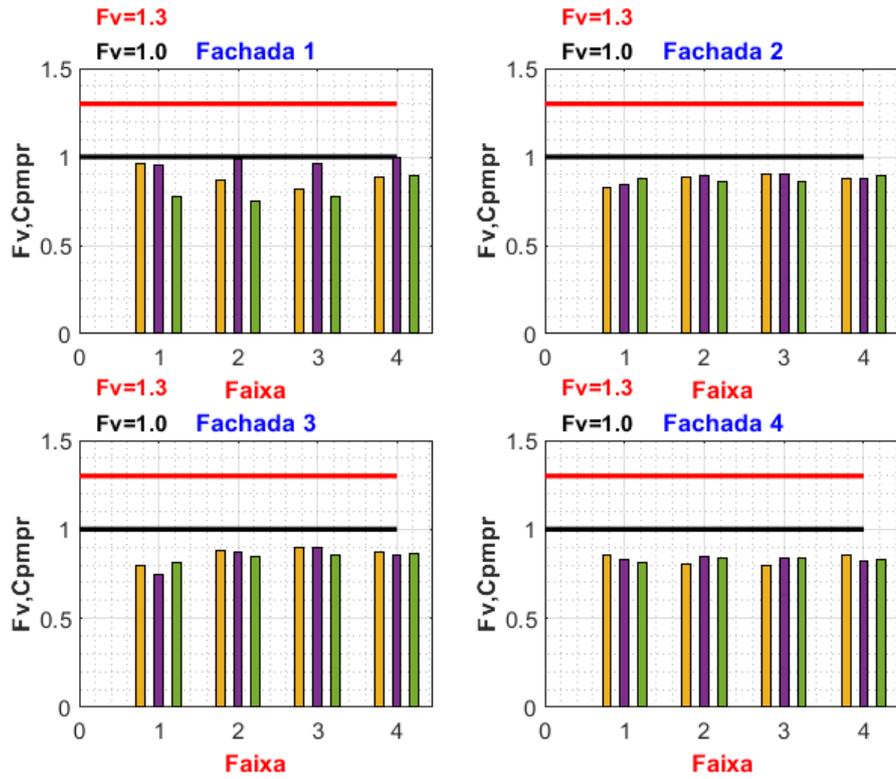


Figura A-84 - Fator de vizinhança F_v dos coeficientes de pressões médias por regiões –

C0V90_D2_B1

A.3.3 - Fatores de Vizinhanças dos Cpe médias por regiões – CAARC à 90° e vizinho à 0°

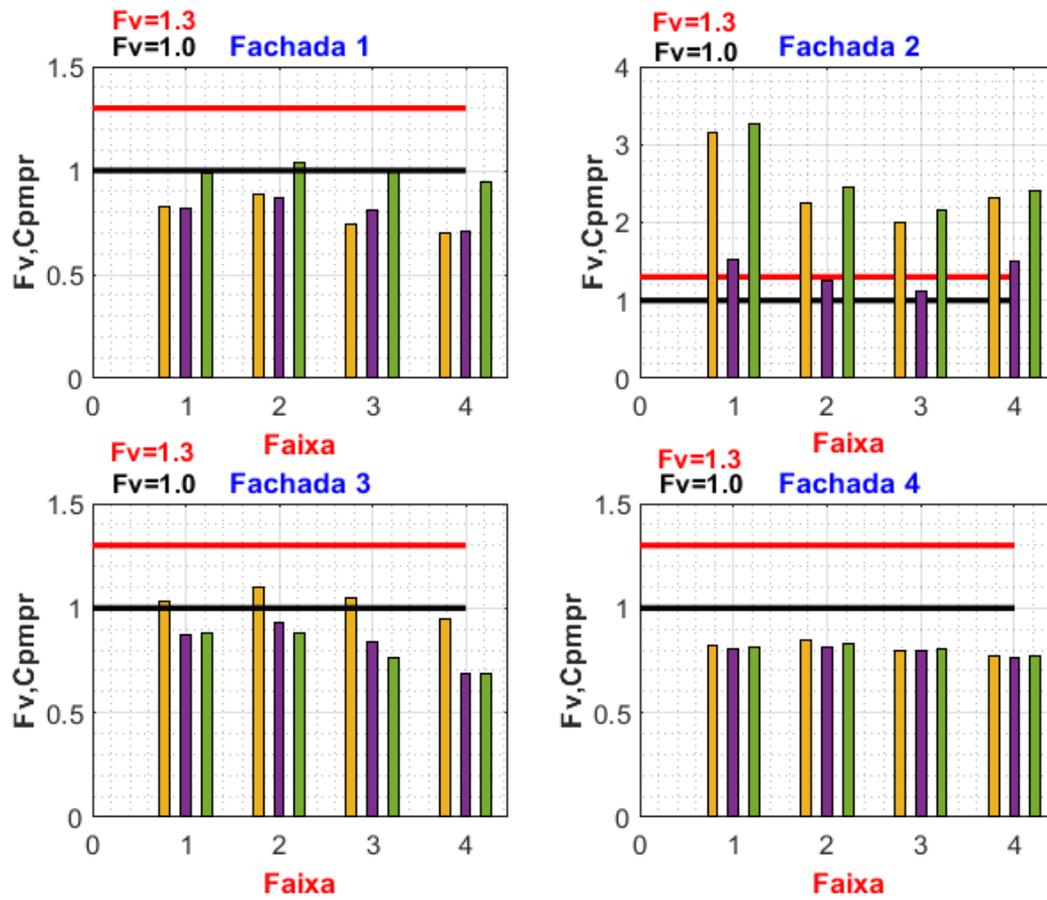


Figura A-85 - Fator de vizinhança Fv dos coeficientes de pressões médias por regiões –

C90V0_A1

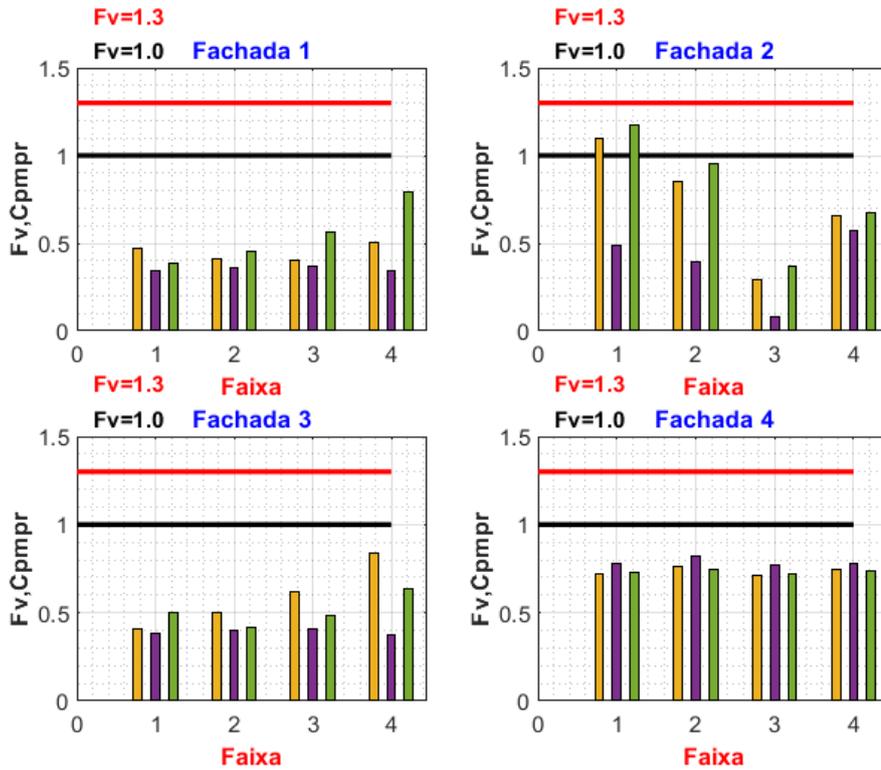


Figura A-86 - Fator de vizinhança F_v dos coeficientes de pressões médias por regiões – C90V0_A2

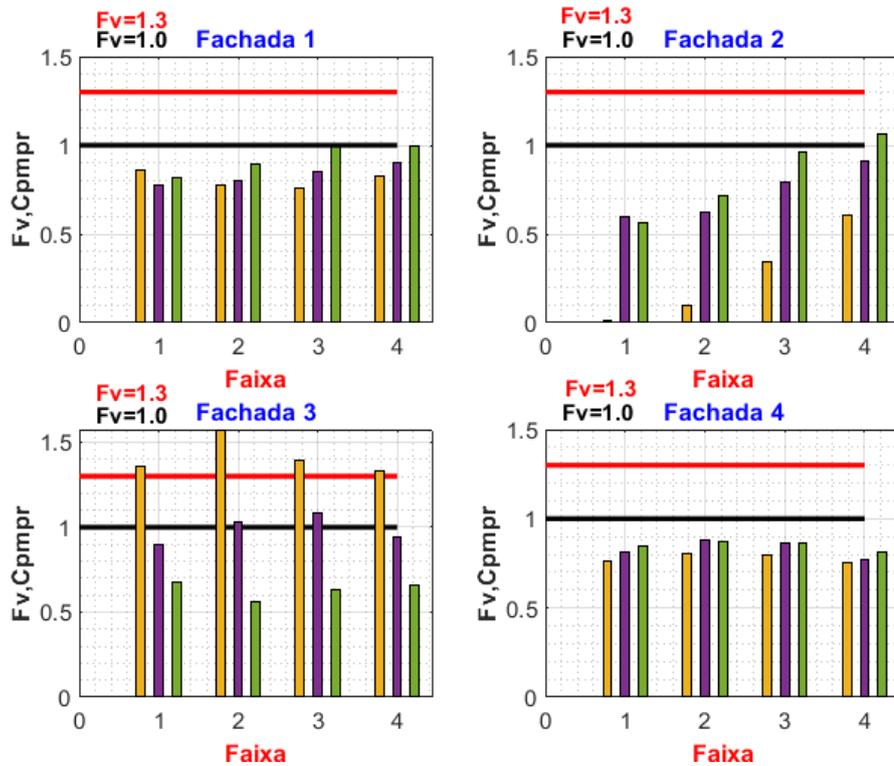


Figura A-87 - Fator de vizinhança F_v dos coeficientes de pressões médias por regiões – C90V0_B1

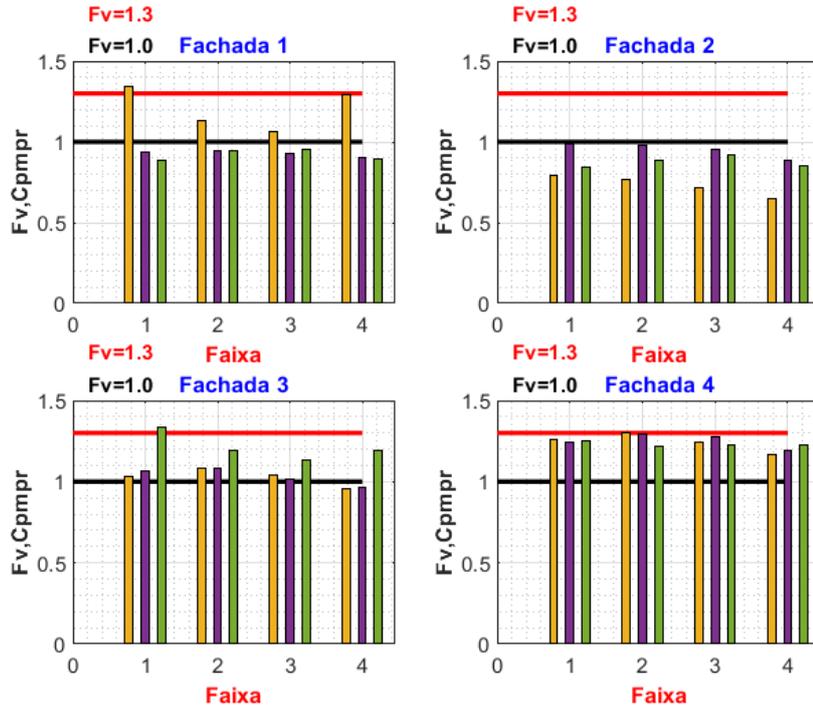


Figura A-88 - Fator de vizinhança F_v dos coeficientes de pressões médias por regiões – C90V0_C1

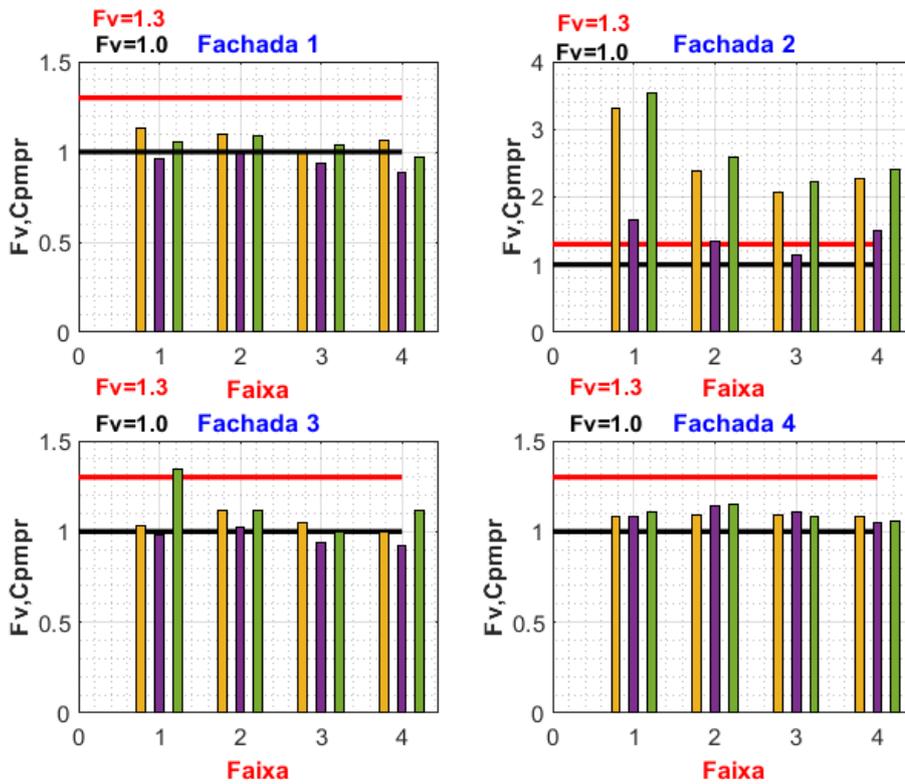


Figura A-89 - Fator de vizinhança F_v dos coeficientes de pressões médias por regiões – C90V0_D2_A1

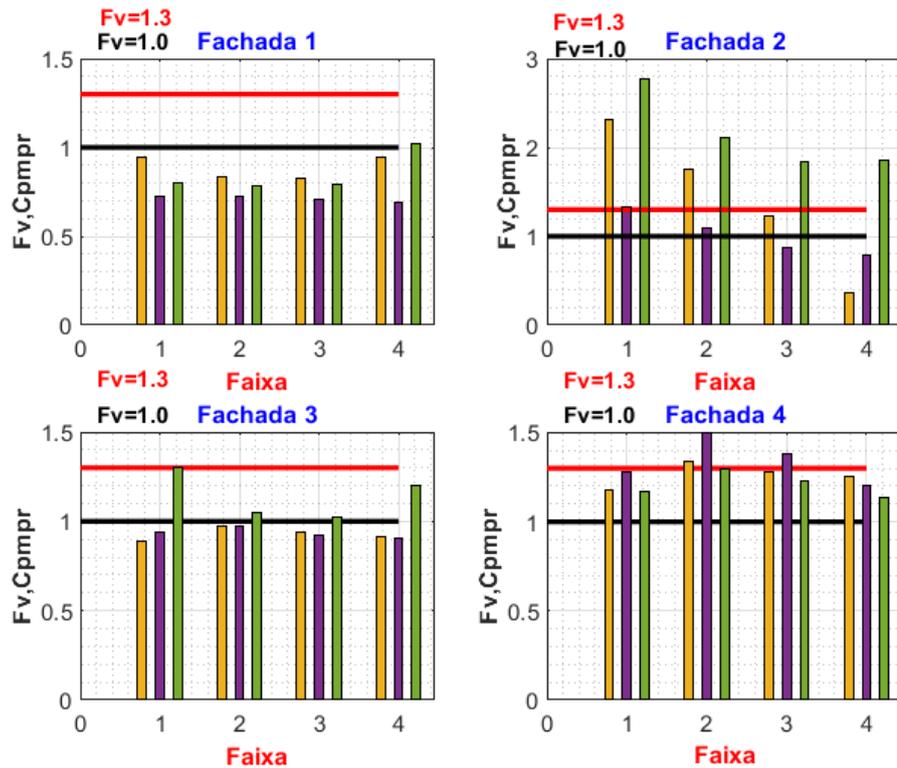


Figura A-90 - Fator de vizinhança F_v dos coeficientes de pressões médias por regiões – C90V0_D2_A2

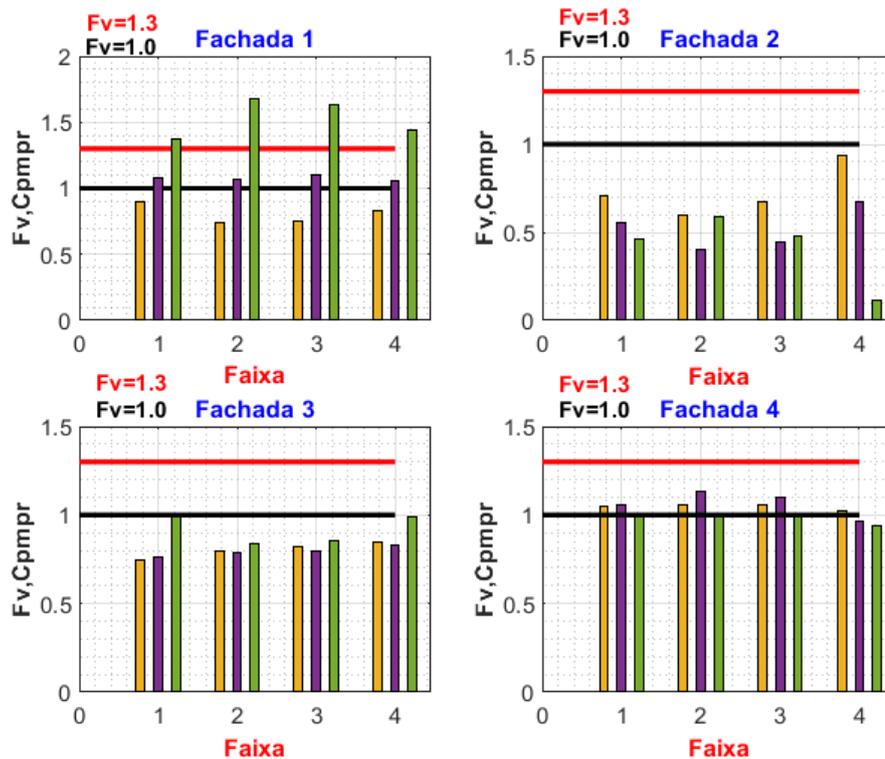


Figura A-91 - Fator de vizinhança F_v dos coeficientes de pressões médias por regiões – C90V0_D2_B1

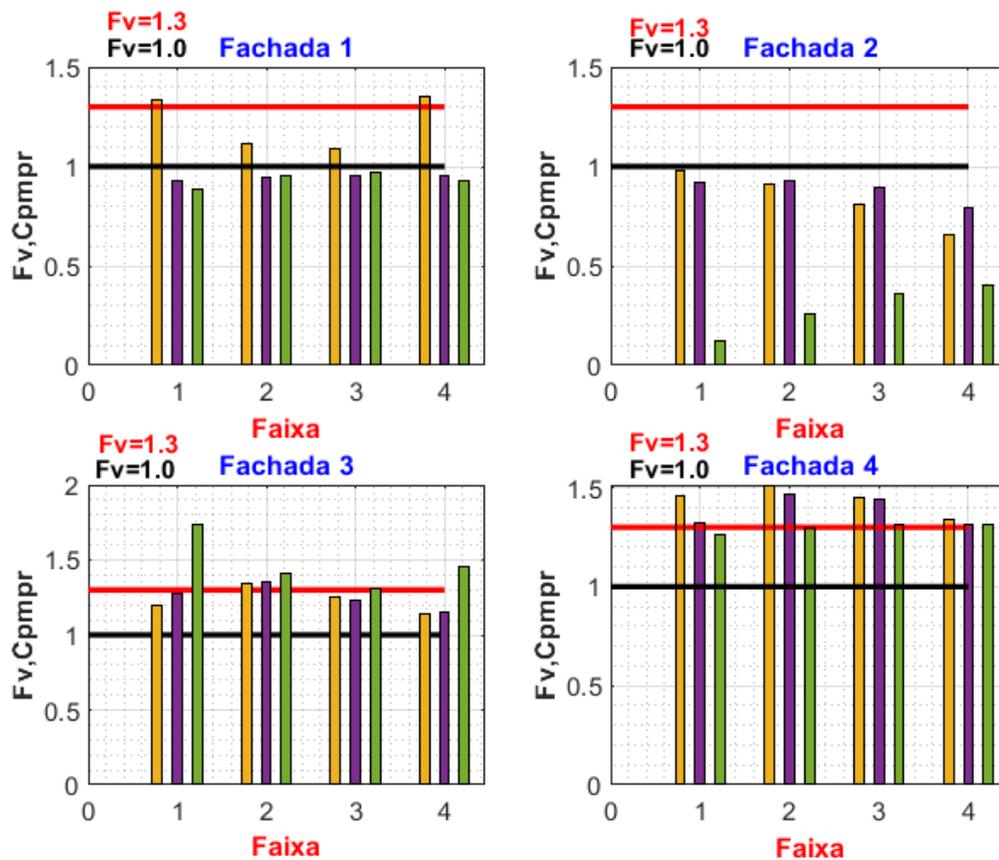


Figura A-92 - Fator de vizinhança F_v dos coeficientes de pressões médias por regiões –
C90V0_D2_C1

A.3.4 - Fatores de Vizinhanças dos Cpe médias por regiões – CAARC à 90° e vizinho à 90°

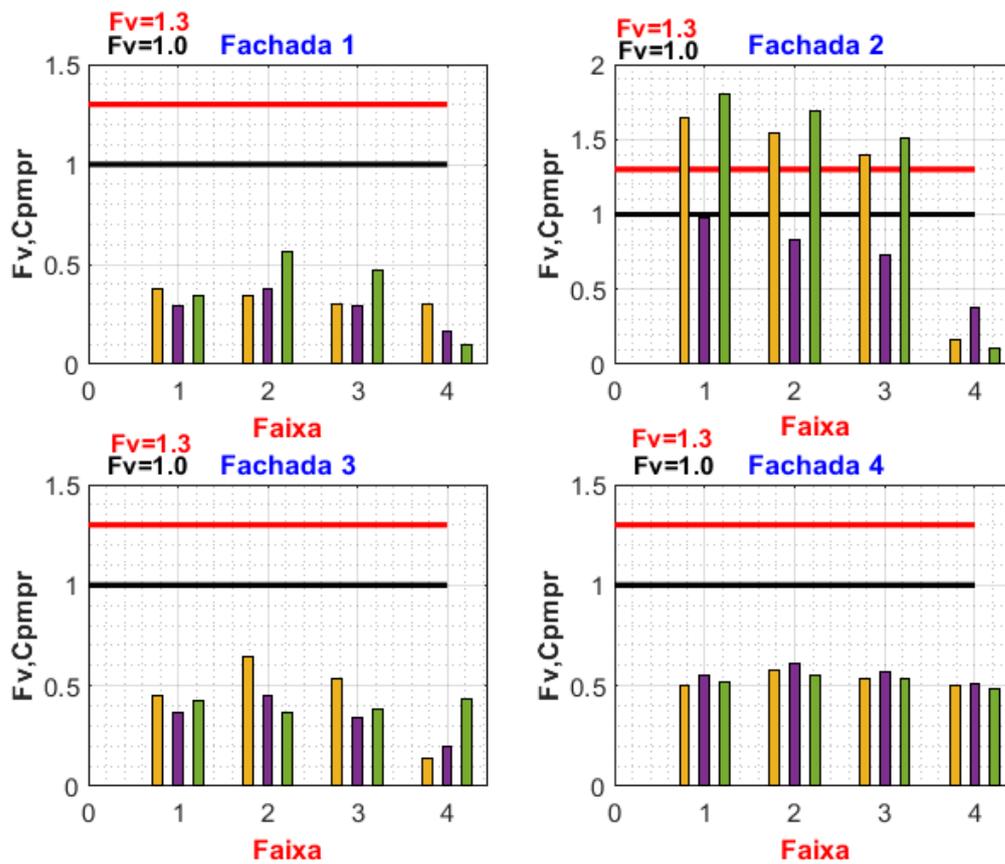


Figura A-93 - Fator de vizinhança F_v dos coeficientes de pressões médias por regiões – C90V90_A1

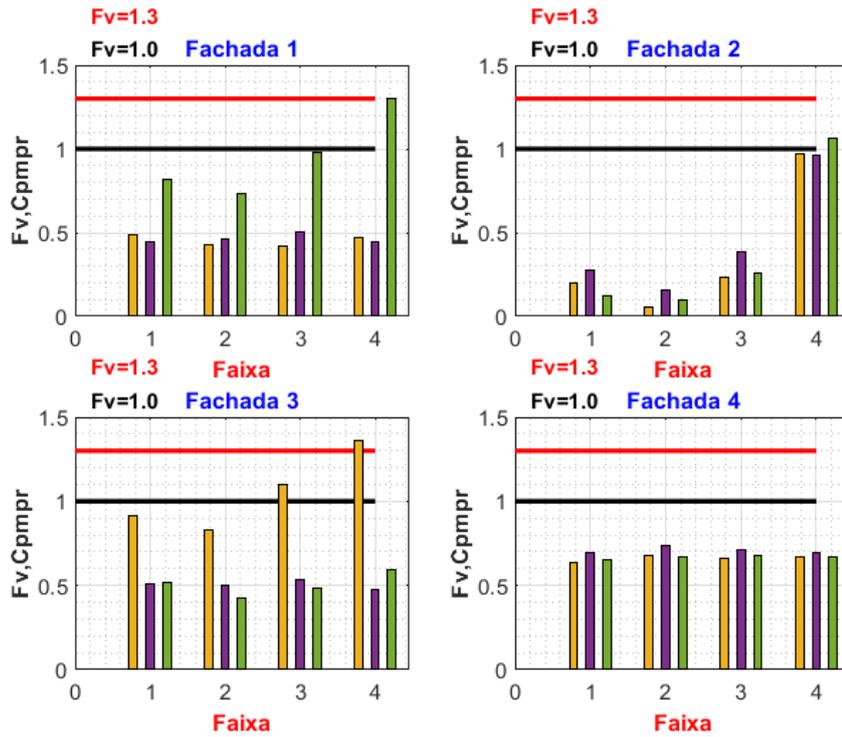


Figura A-94 - Fator de vizinhança F_v dos coeficientes de pressões médias por regiões – C90V90_A2

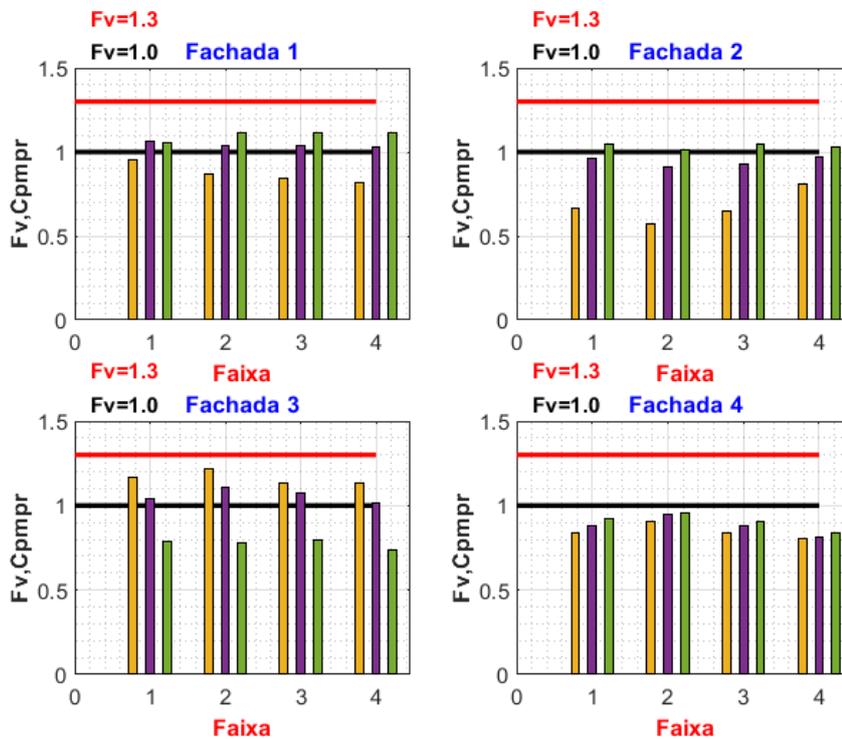


Figura A-95 - Fator de vizinhança F_v dos coeficientes de pressões médias por regiões – C90V90_B1

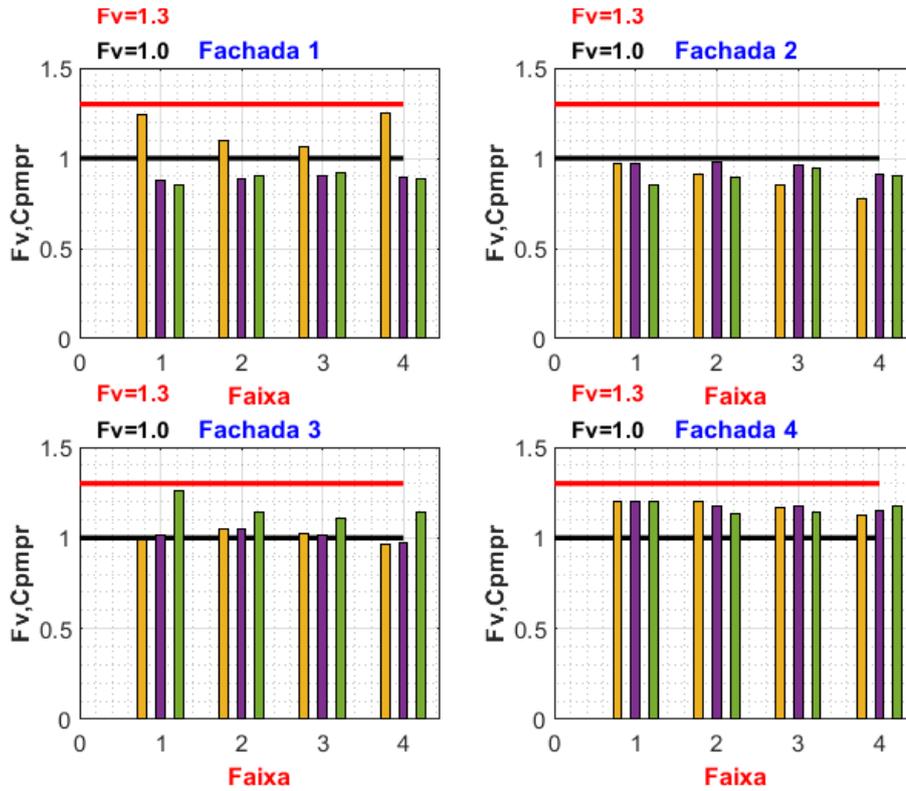


Figura A-96 - Fator de vizinhança F_v dos coeficientes de pressões médias por regiões – C90V90_C1

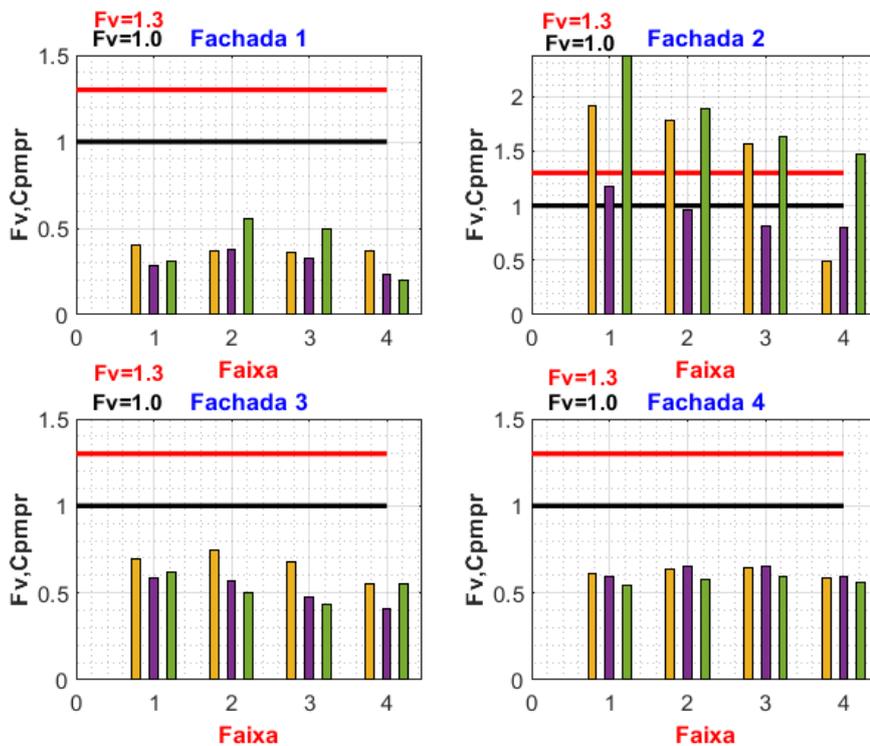


Figura A-97 - Fator de vizinhança F_v dos coeficientes de pressões médias por regiões – C90V90_D2_A1

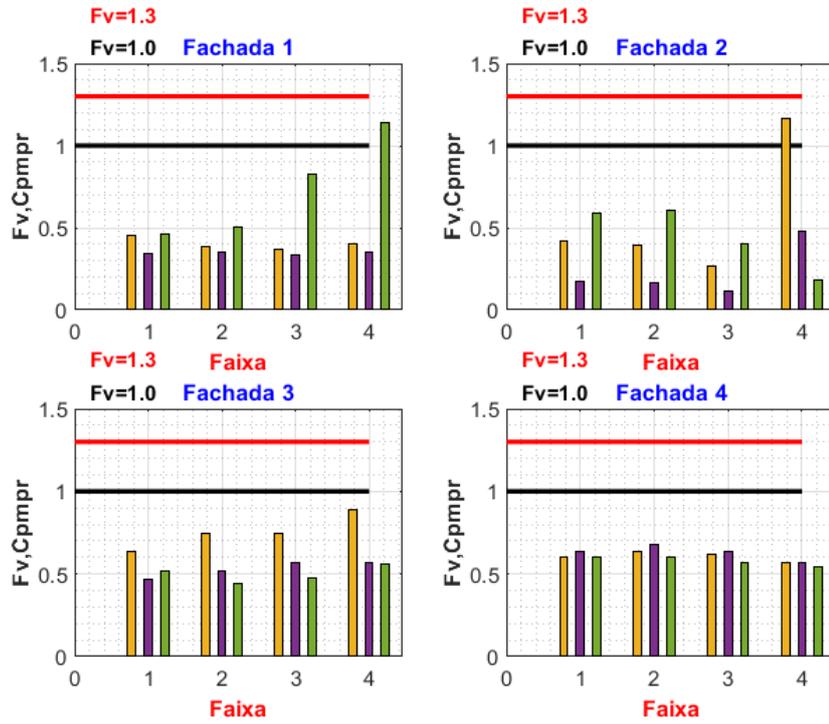


Figura A-98 - Fator de vizinhança F_v dos coeficientes de pressões médias por regiões – C90V90_D2_A2

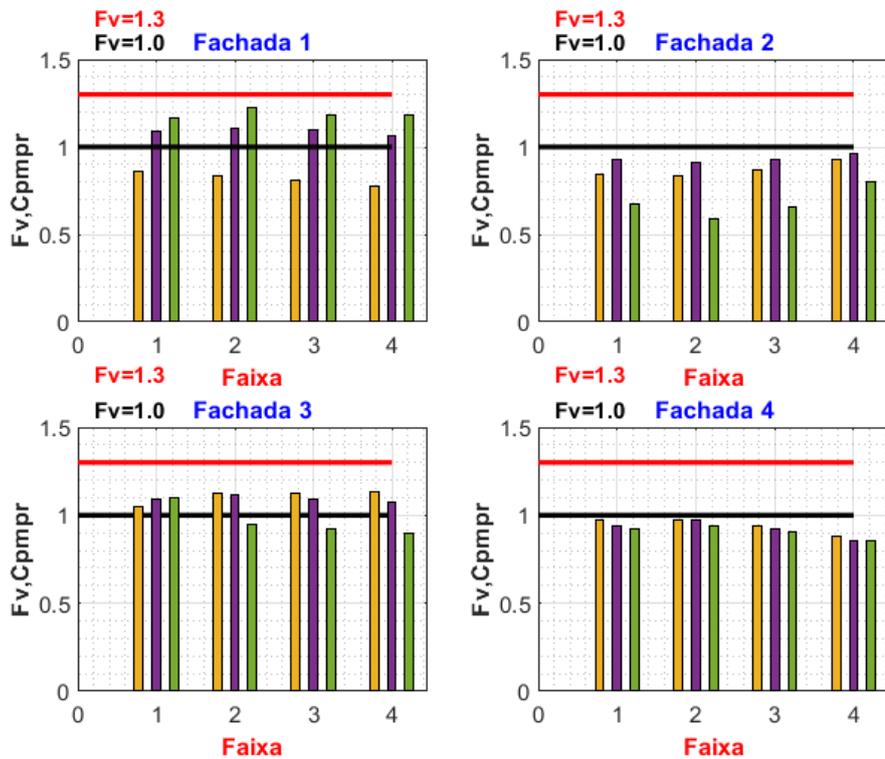


Figura A-99 - Fator de Vizinhança – Coef. de pressões médias por regiões – C90V90_D2_B1

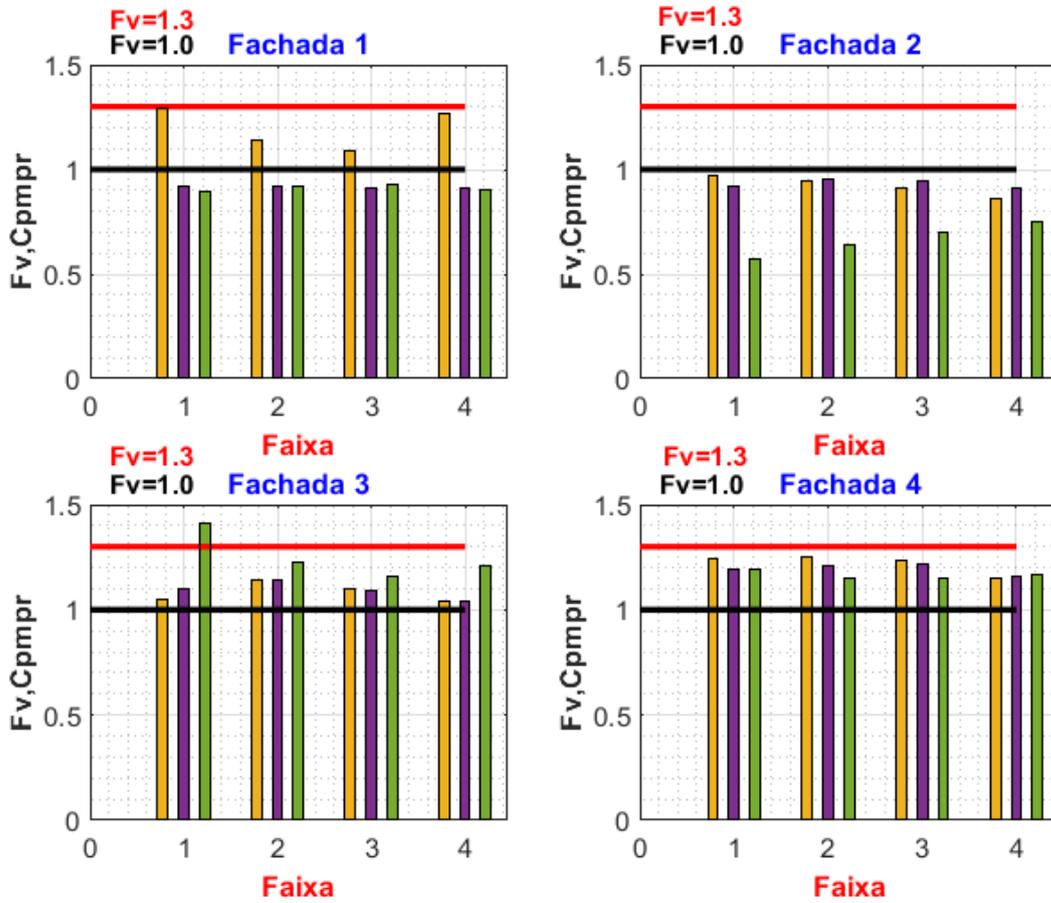


Figura A-100 - Fator de Vizinhança – Coef. de pressões médias por regiões –
 C90V90_D2_C1

APÊNDICE A.4 – FATOR DE VIZINHANÇA DOS COEFICIENTES DE PRESSÕES DE PICO POR REGIÕES

A.4.1 – Fatores de Vizinhanças dos Cpe de pico por regiões – CAARC à 0° e vizinho à 0°

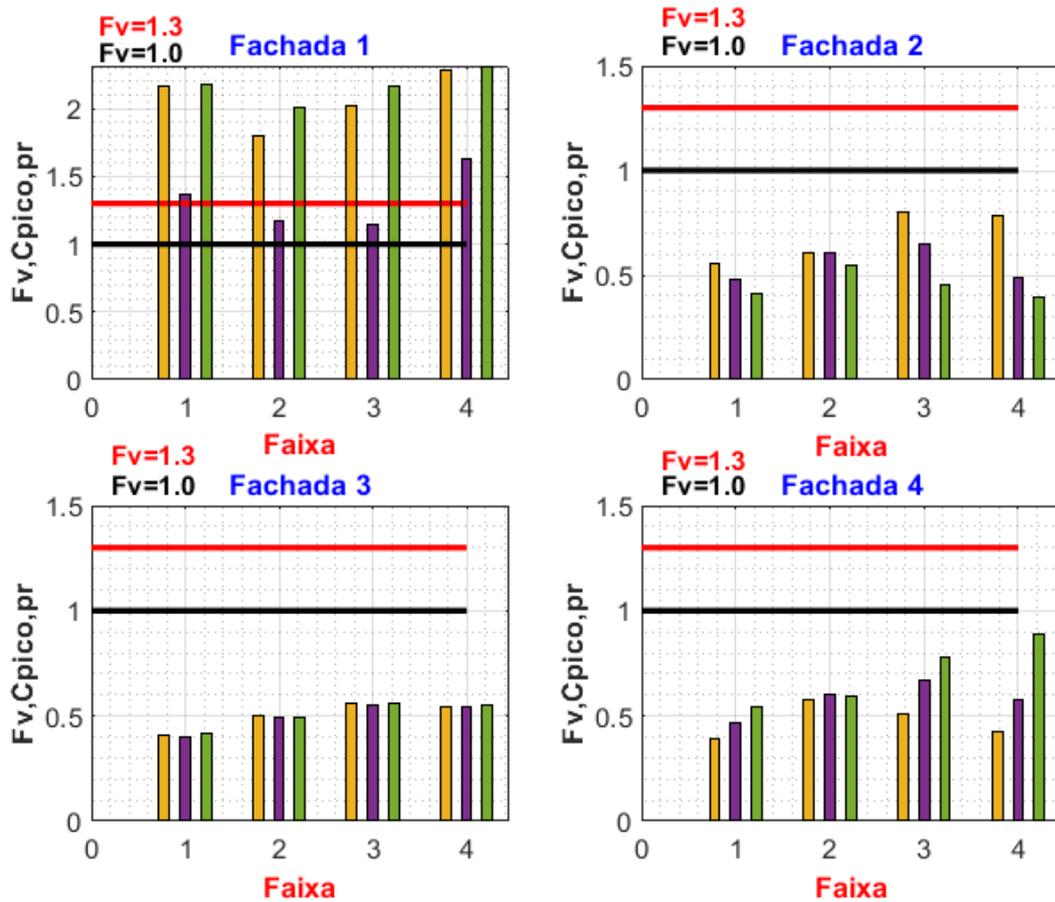


Figura A-101 - Fator de vizinhança dos Coef. de pressões de pico por regiões – C0V0_A1

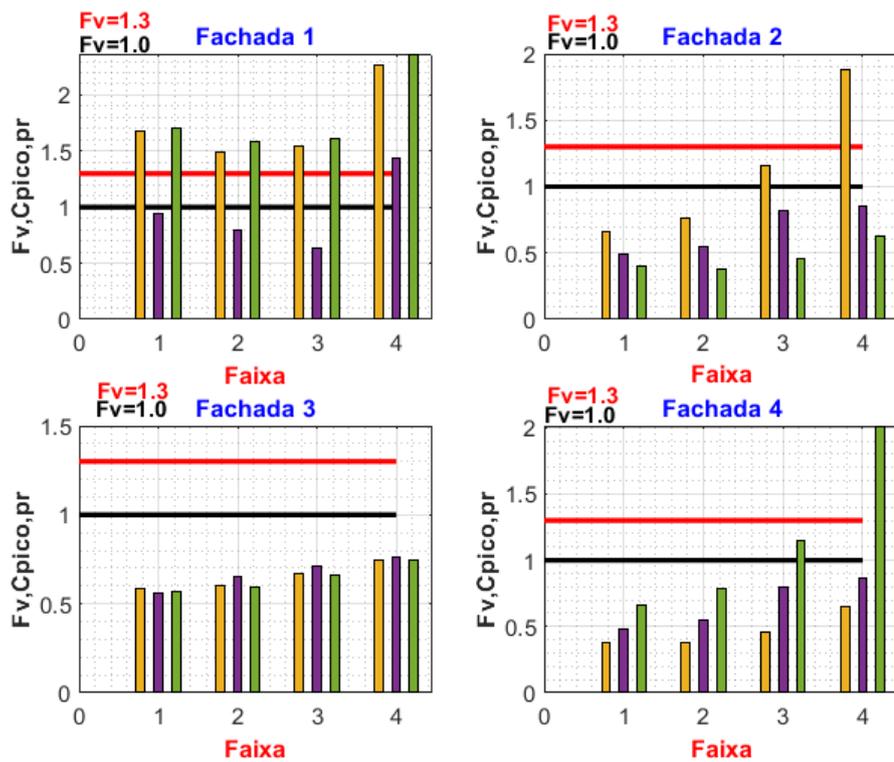


Figura A-102 - Fator de vizinhança dos coef. de pressões de pico por regiões – C0V0_A2

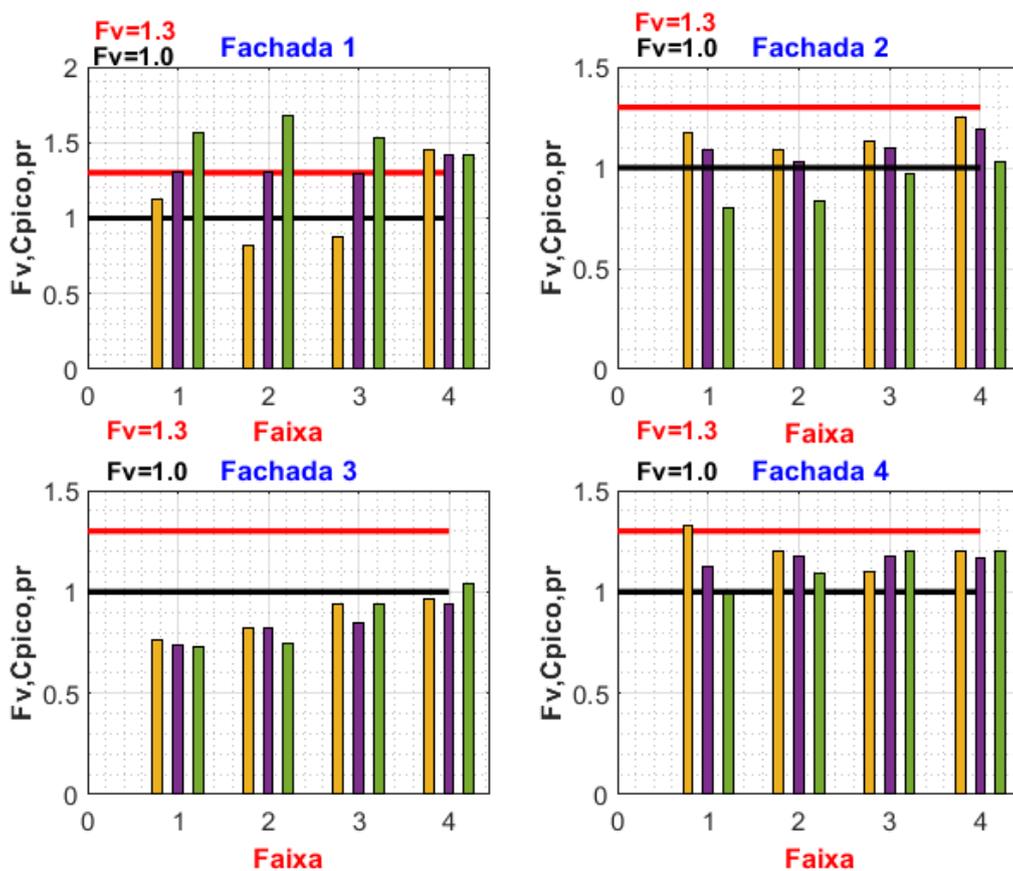


Figura A-103 - Fator de vizinhança dos coef. de pressões de pico por regiões – C0V0_B1

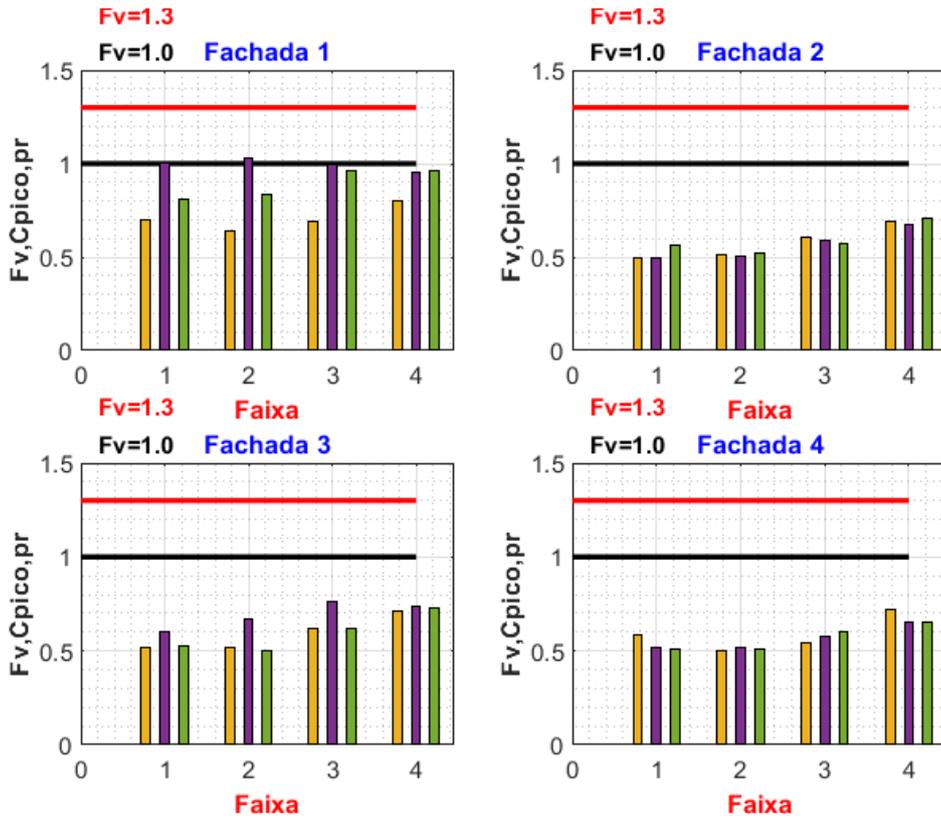


Figura A-104 - Fator de vizinhança dos coef. de pressões de pico por regiões – C0V0_C1

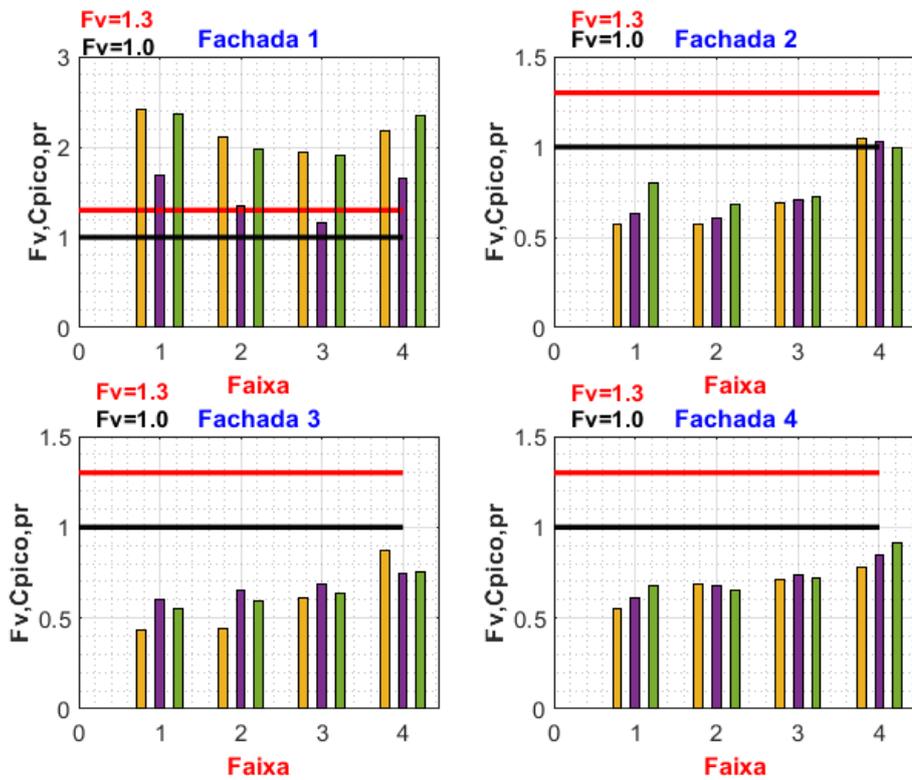


Figura A-105 - Fator de vizinhança dos coef. de pressões de pico por regiões – C0V0_D2_A1

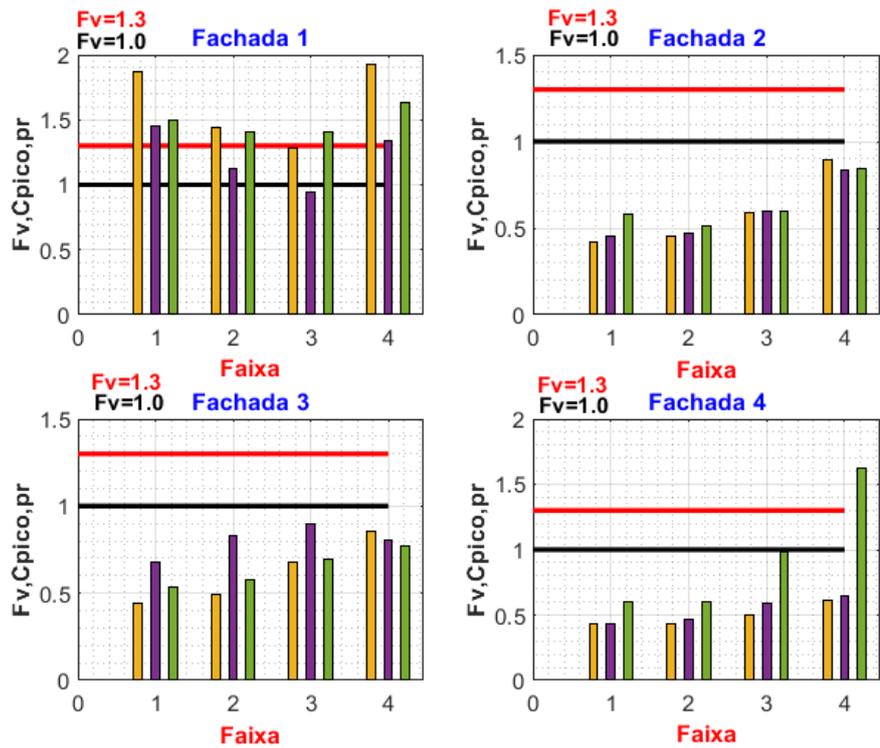


Figura A-106 - Fator de vizinhança dos coef. de pressões de pico por regiões – C0V0_D2_A2

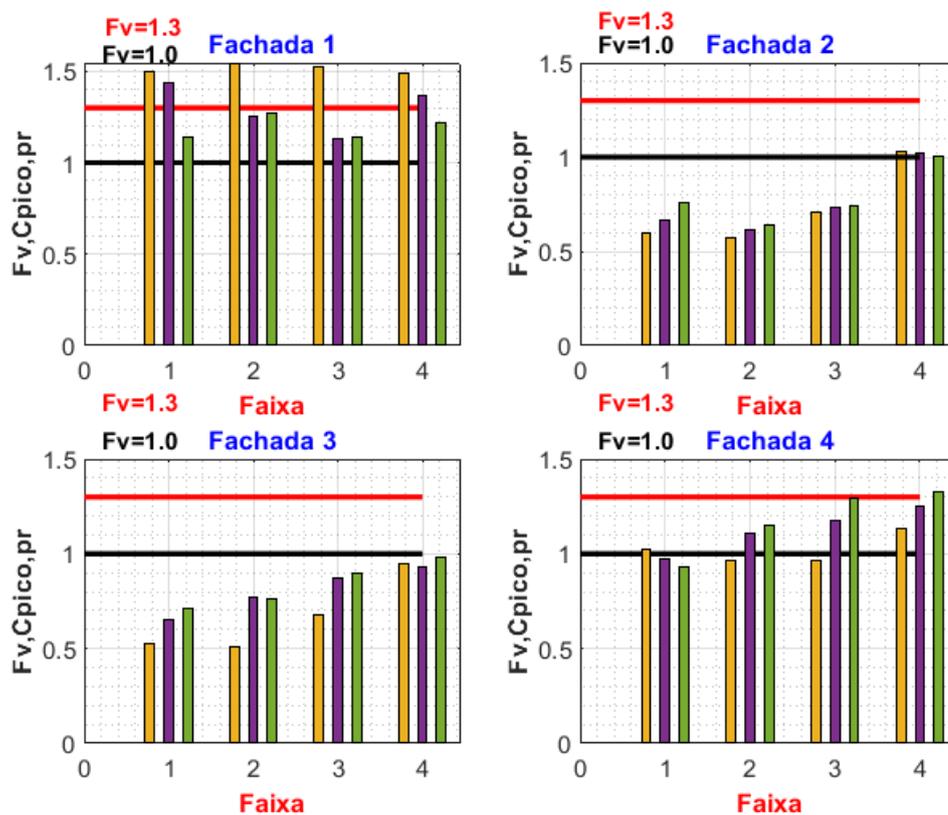


Figura A-107 - Fator de vizinhança dos coef. de pressões de pico por regiões – C0V0_D2_B1

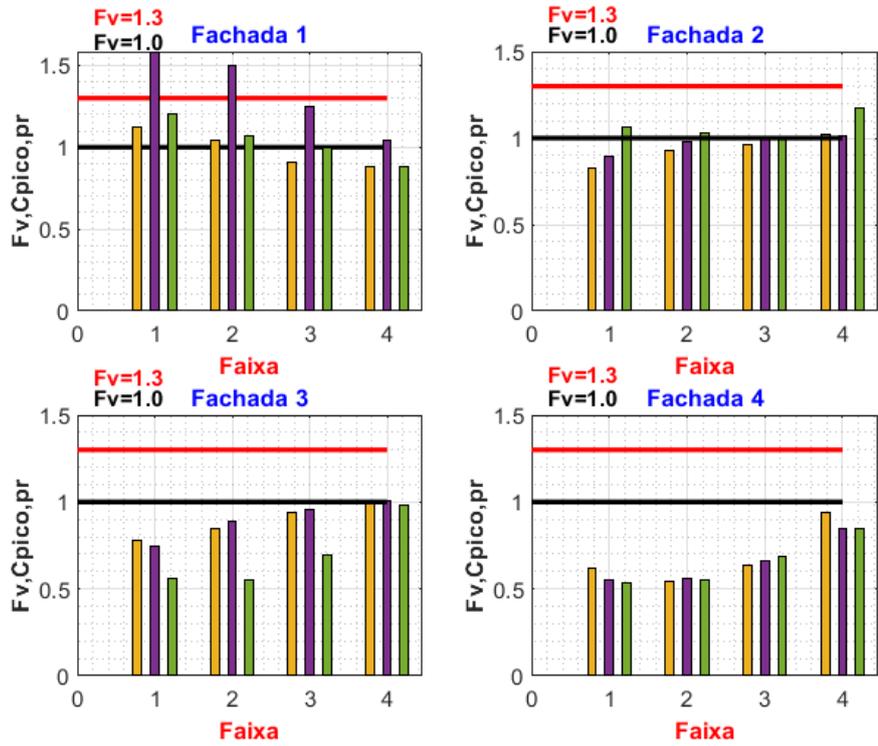


Figura A-108 - Fator de vizinhança dos coef. de pressões de pico por regiões – C0V0_D2_C1

A.4.2 - Fatores de Vizinhanças dos Cpe de pico por regiões – CAARC à 0° e vizinho à 90°

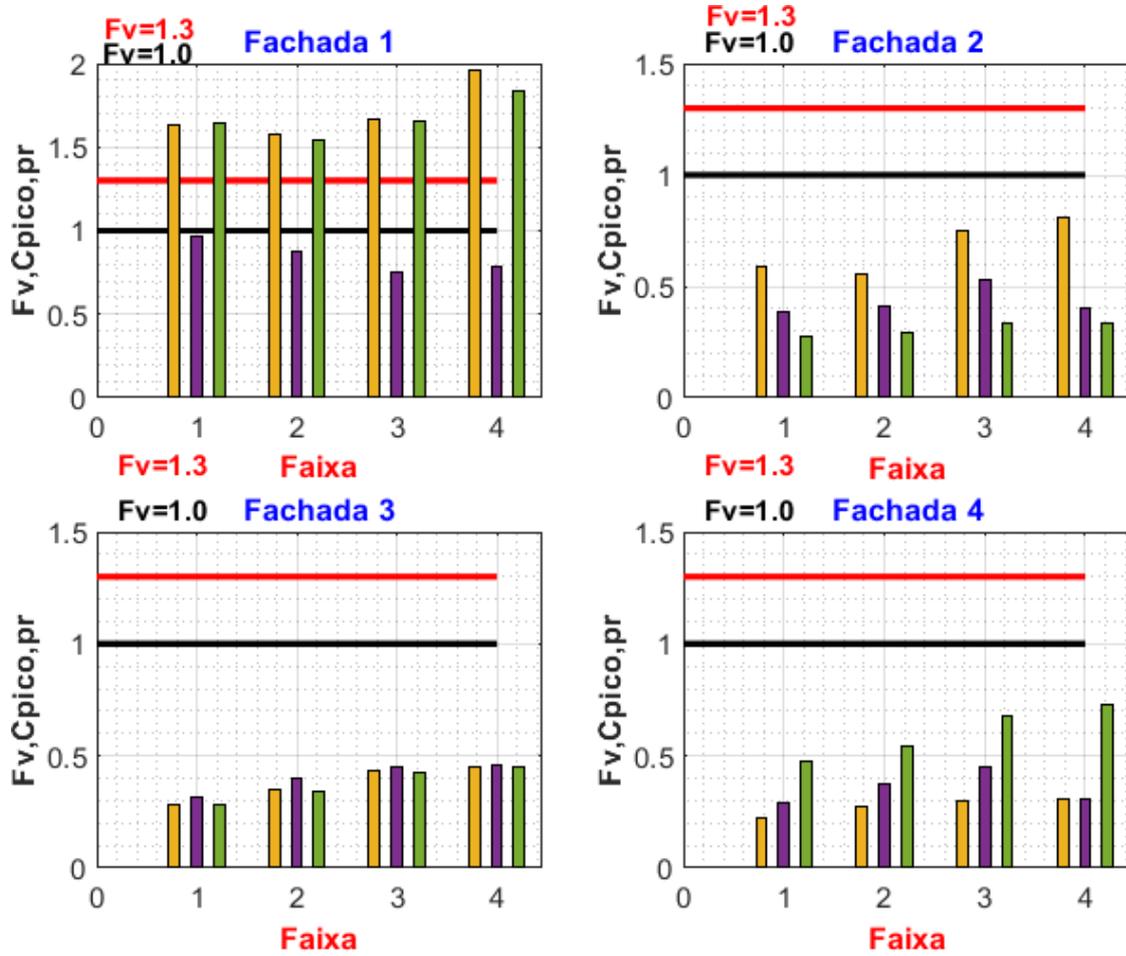


Figura A-109 - Fator de vizinhança dos coef. de pressões de pico por regiões – C0V90_A1

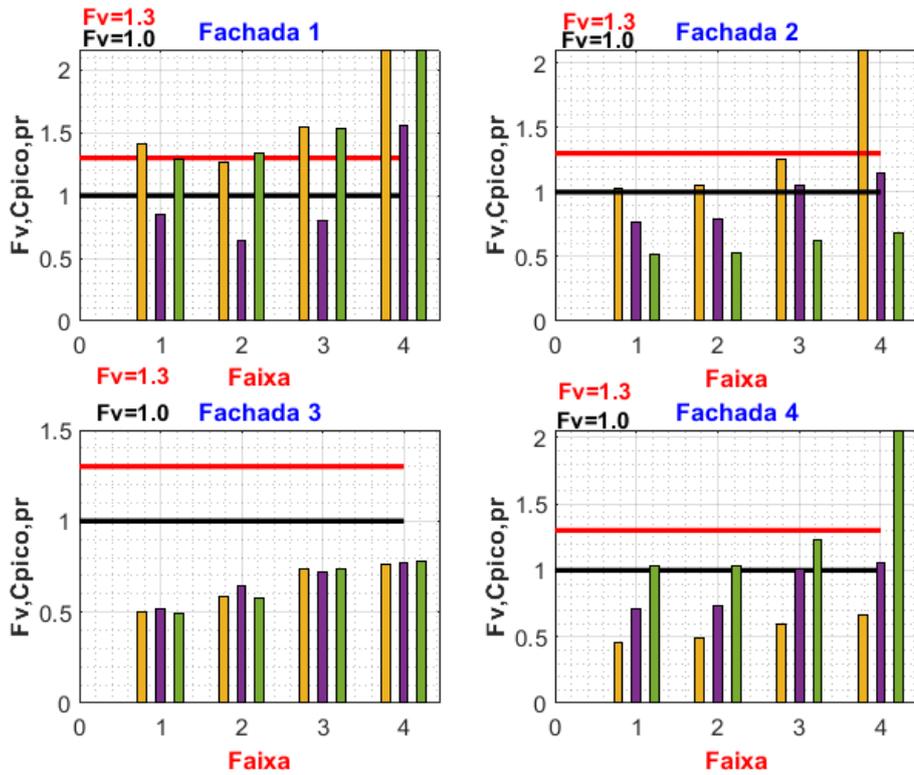


Figura A-110 - Fator de vizinhança dos coef. de pressões de pico por regiões – C0V90_A2

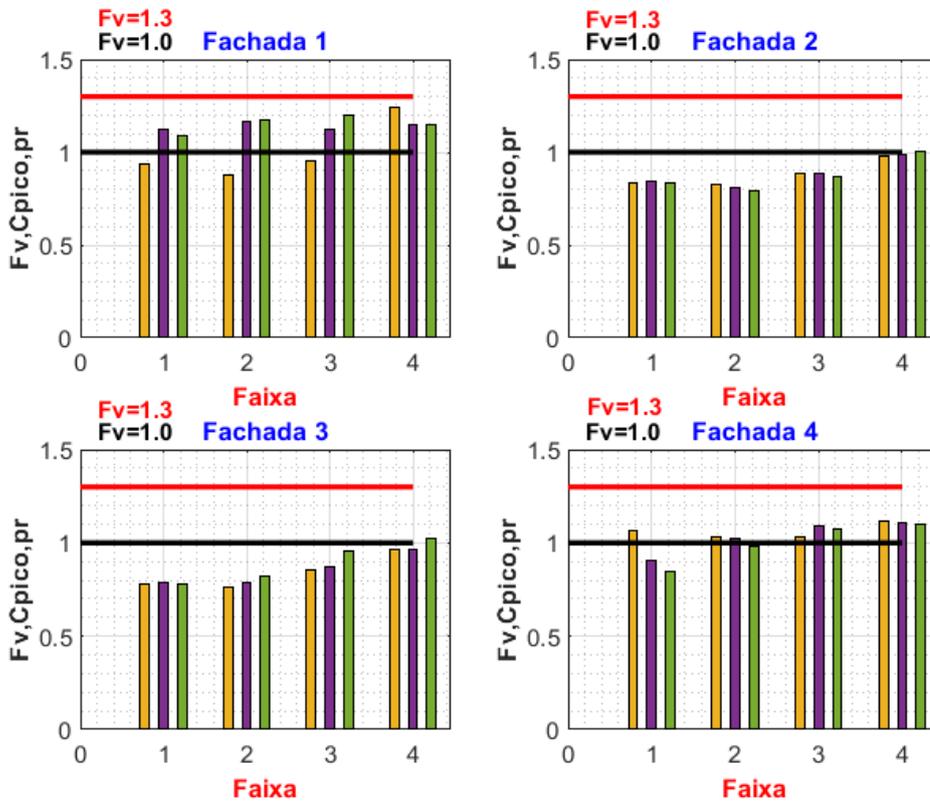


Figura A-111 - Fator de vizinhança dos coef. de pressões de pico por regiões – C0V90_B1

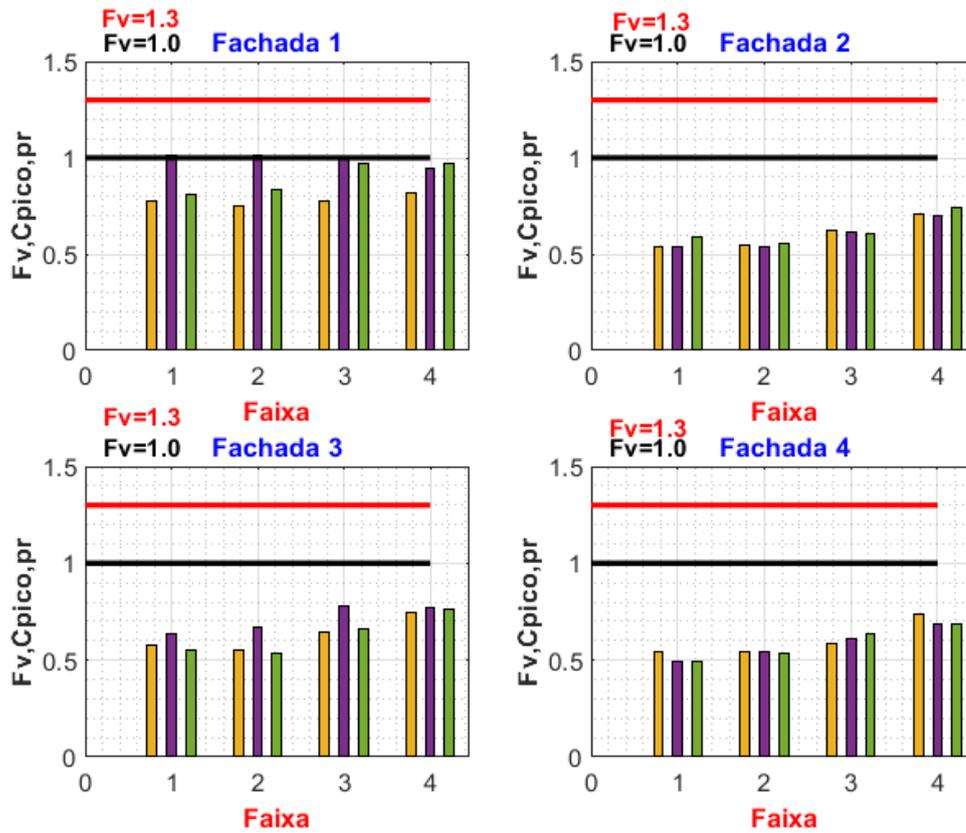


Figura A-112 - Fator de vizinhança dos coef. de pressões de pico por regiões – C0V90_C1

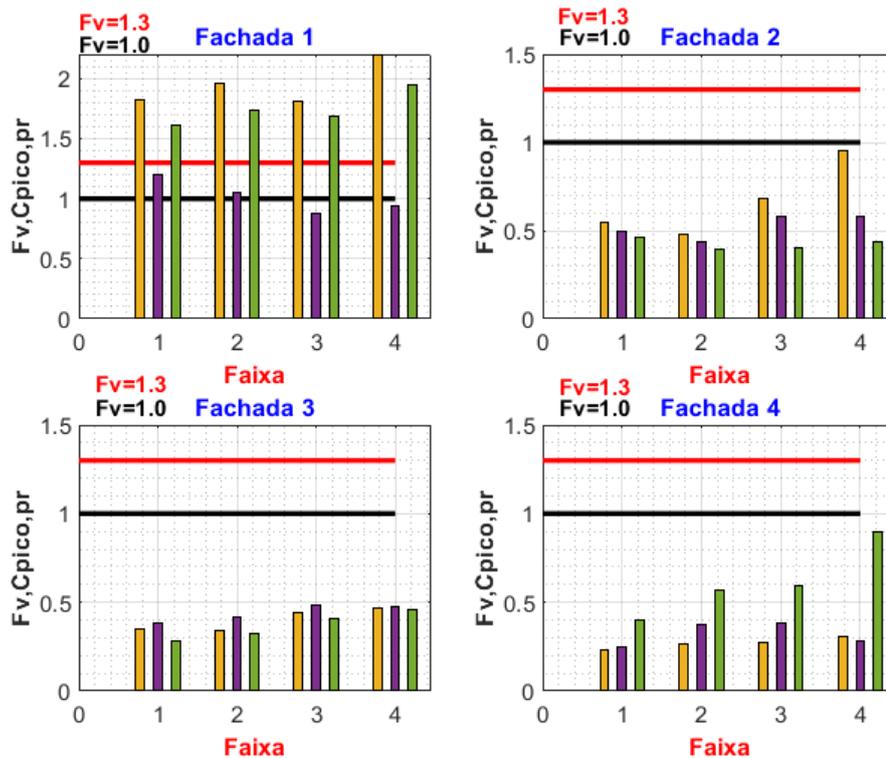


Figura A-113 - Fator de vizinhança dos coef. de pressões de pico por regiões –

C0V90_D2_A1

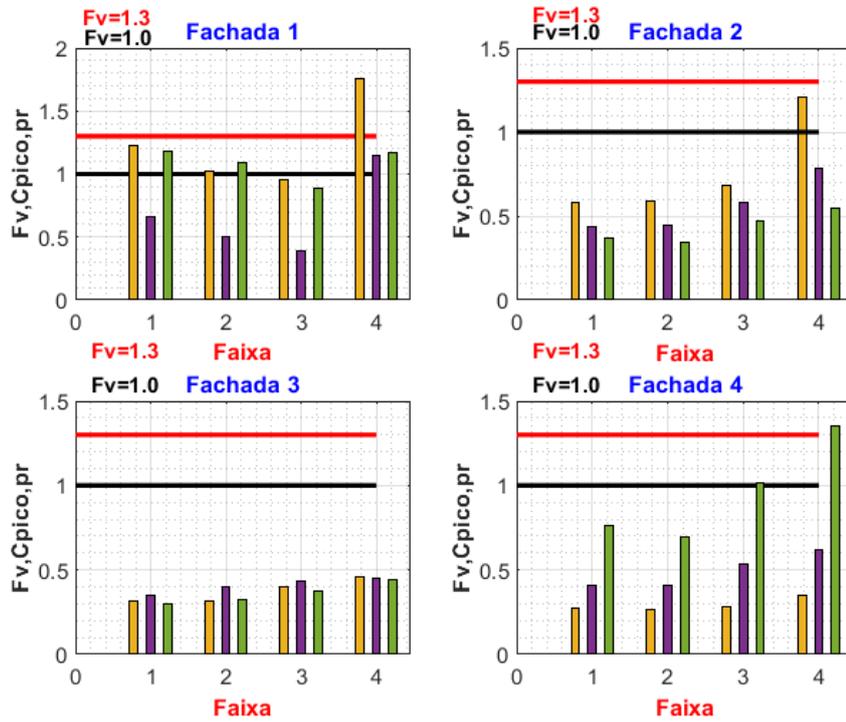


Figura A-114 - Fator de vizinhança dos coef. de pressões de pico por regiões – C0V90_D2_A2

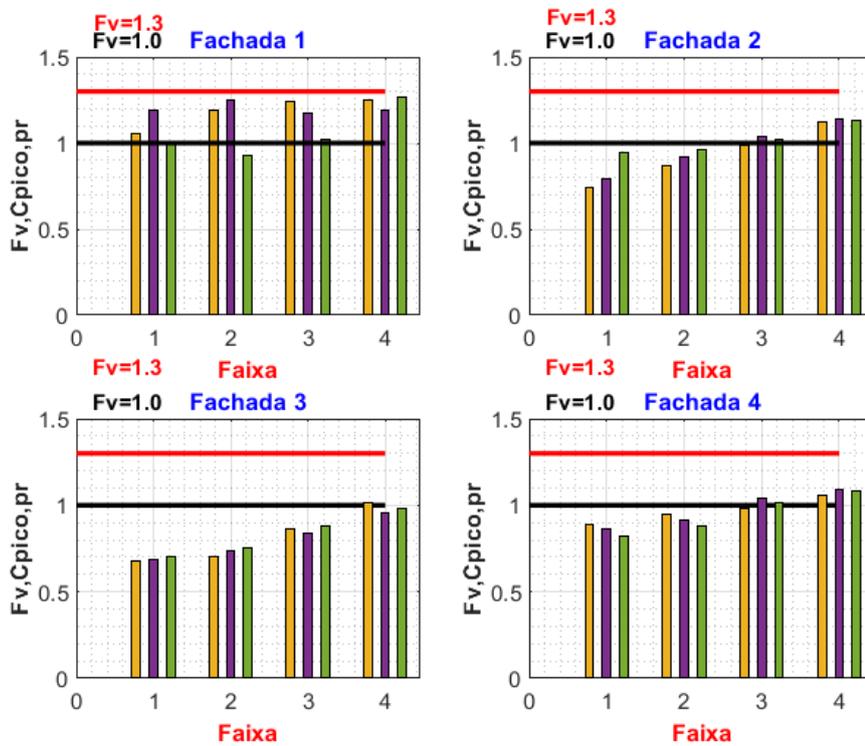


Figura A-115 - Fator de vizinhança dos coef. de pressões de pico por regiões – C0V90_D2_B1

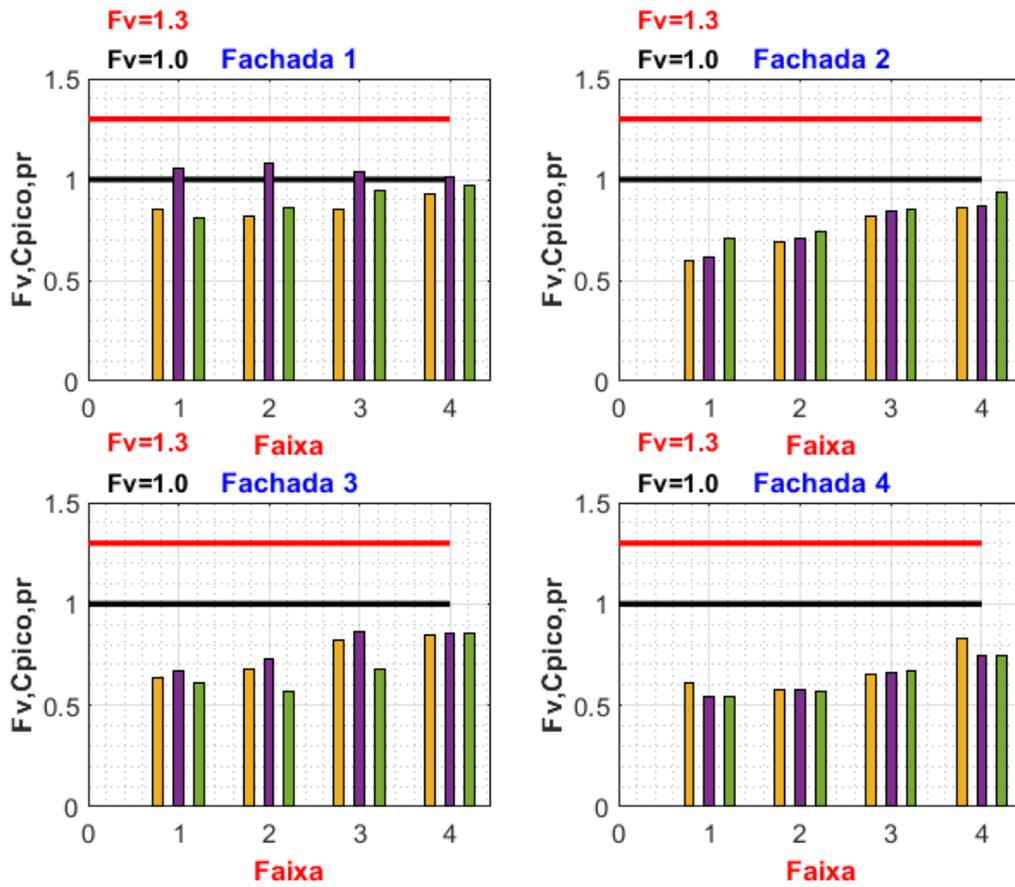


Figura A-116 - Fator de vizinhança dos coef. de pressões de pico por regiões –
C0V90_D2_C1

A.4.3 - Fatores de Vizinhanças dos Cpe de pico por regiões – CAARC à 90° e vizinho à 0°

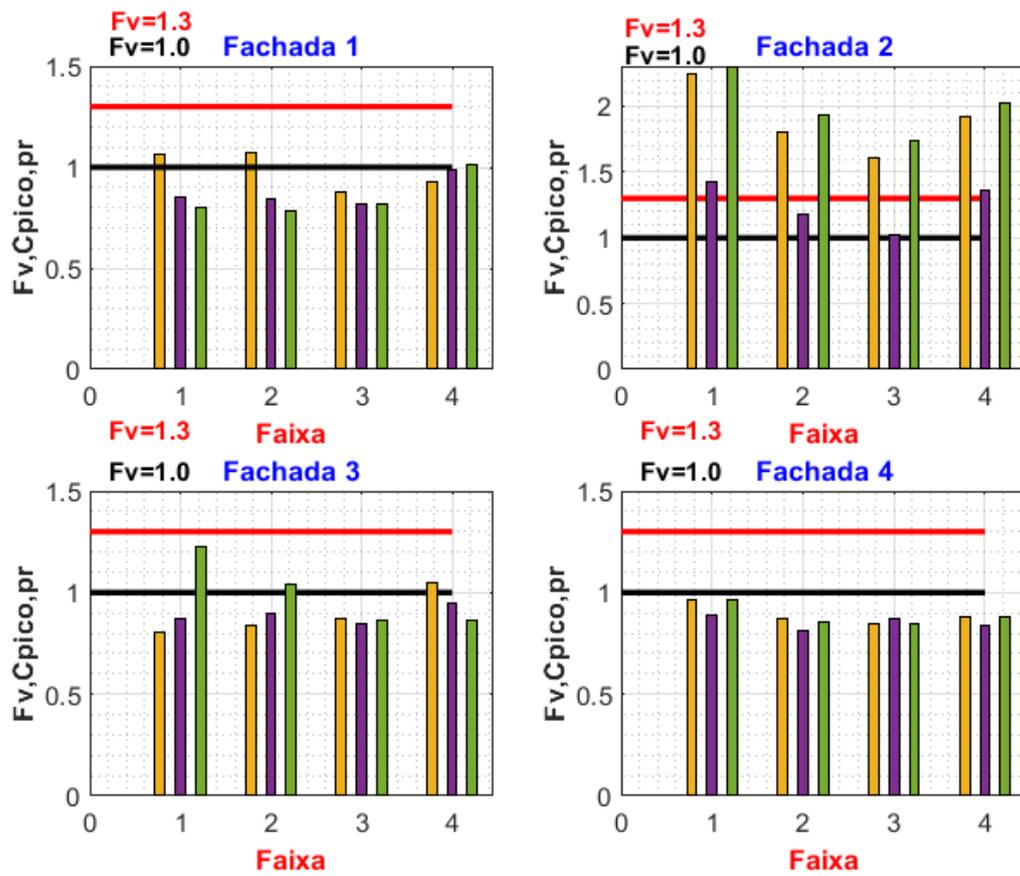


Figura A-117 - Fator de vizinhança dos coef. de pressões de pico por regiões – C90V0_A1

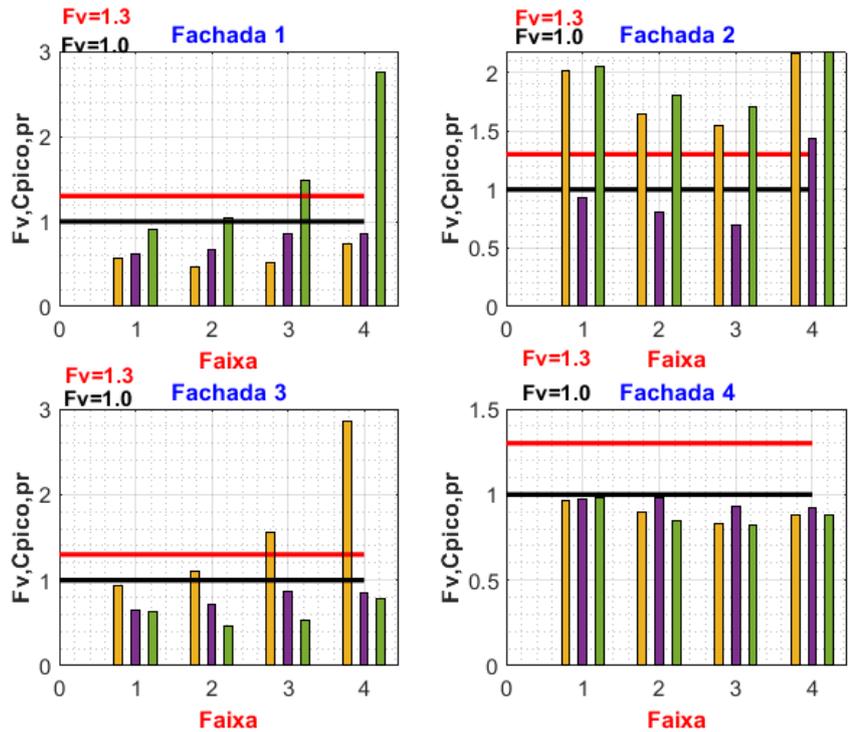


Figura A-118 - Fator de vizinhança dos coef. de pressões de pico por regiões – C90V0_A2

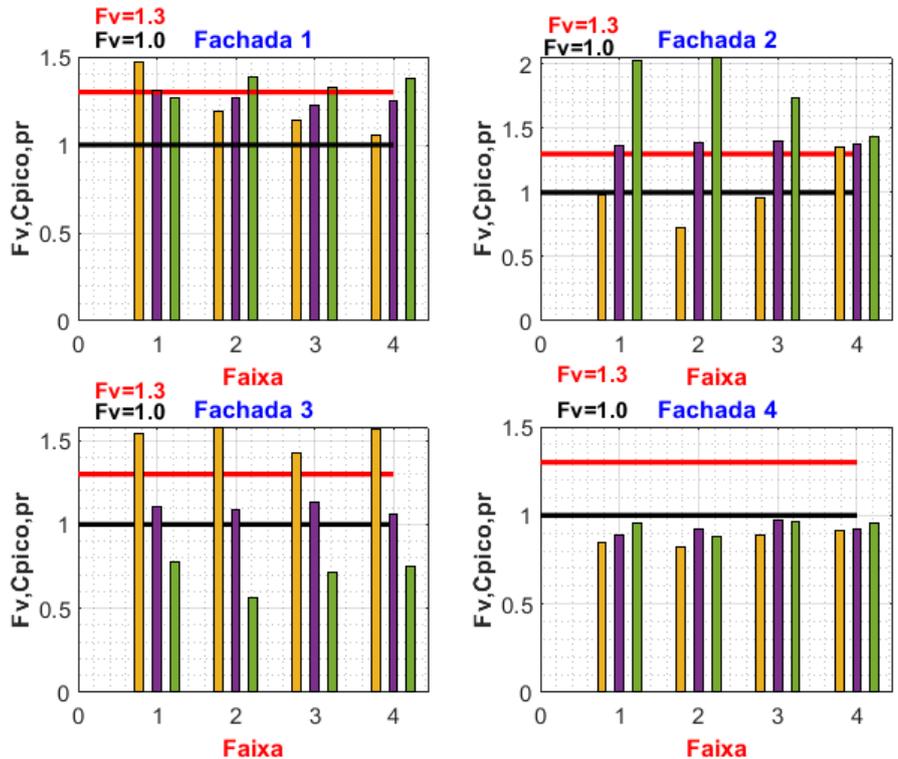


Figura A-119 - Fator de vizinhança dos coef. de pressões de pico por regiões – C90V0_B1

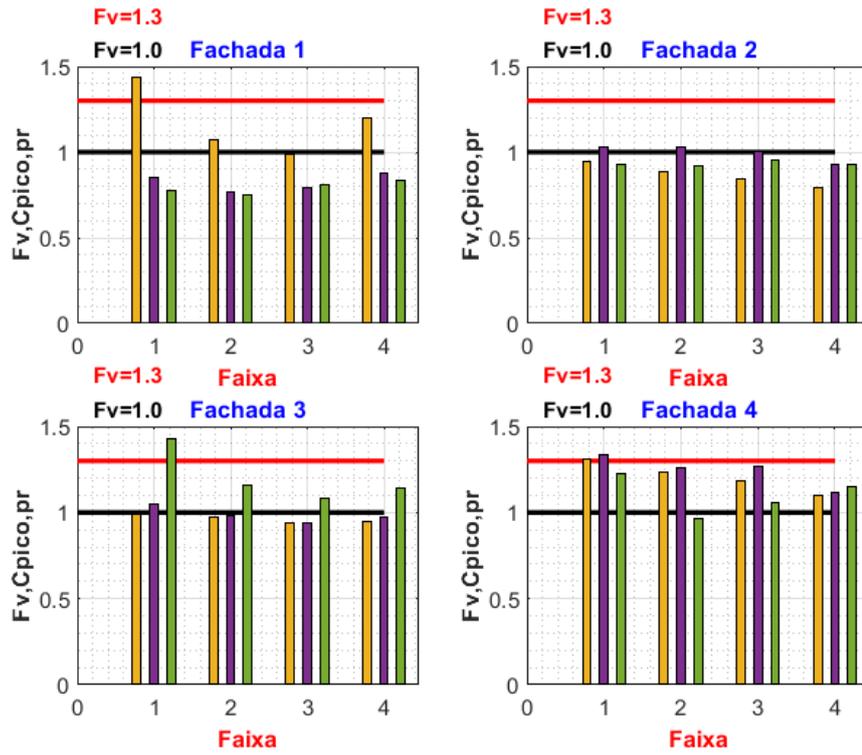


Figura A-120 - Fator de vizinhança dos coef. de pressões de pico por regiões – C90V0_C1

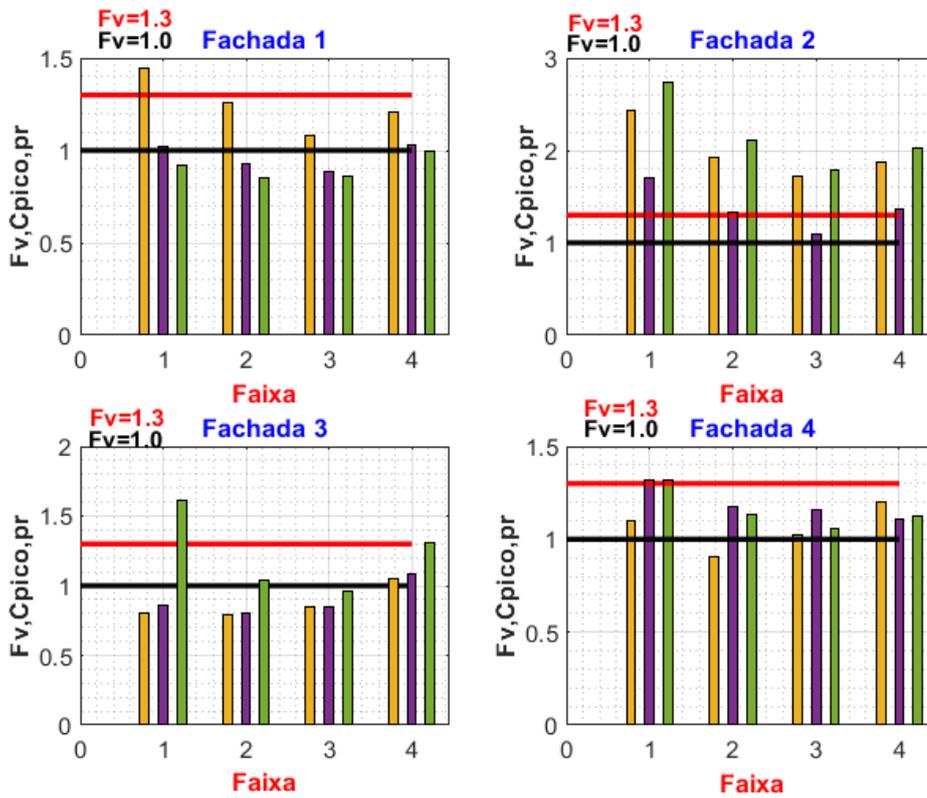


Figura A-121 - Fator de vizinhança dos coef. de pressões de pico por regiões – C90V0_D2_A1

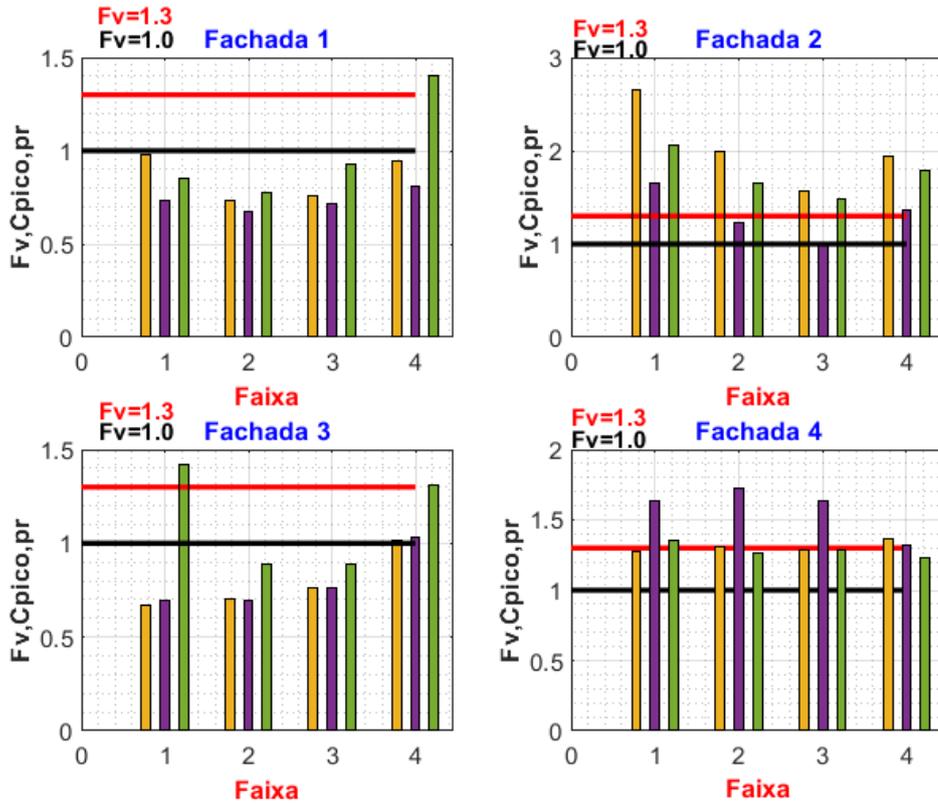


Figura A-122 - Fator de vizinhança dos coef. de pressões de pico por regiões – C90V0_D2_A2

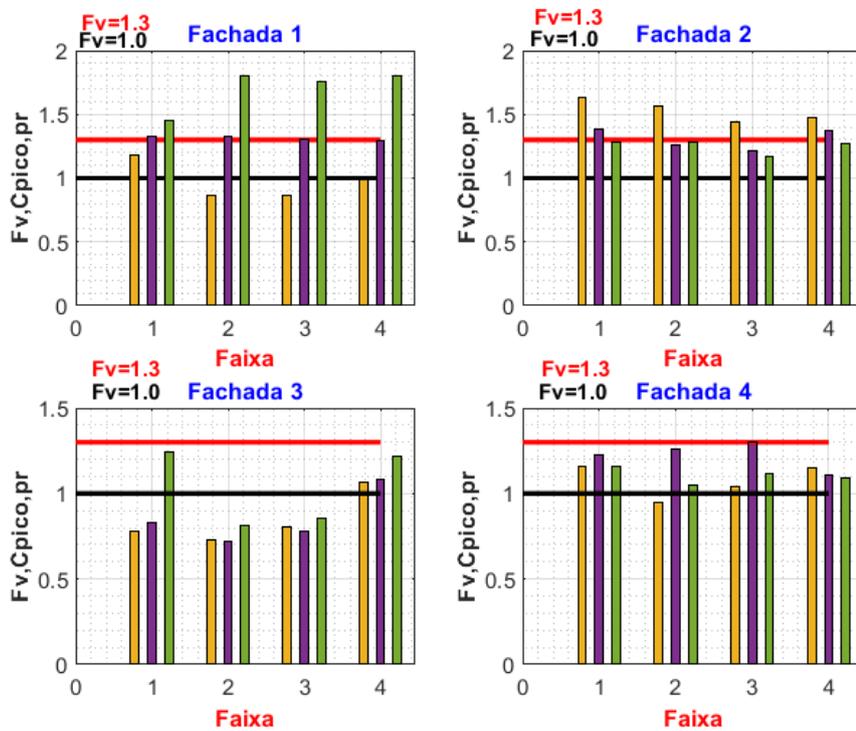


Figura A-123 - Fator de vizinhança dos coef. de pressões de pico por regiões – C90V0_D2_B1

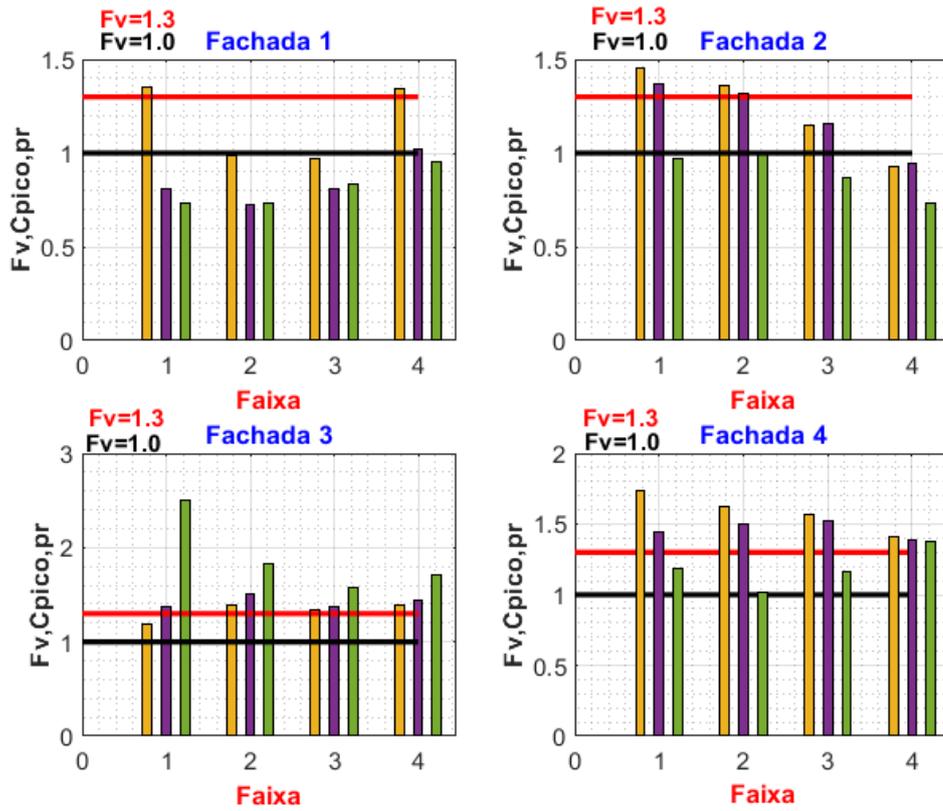


Figura A-124 - Fator de vizinhança dos coef. de pressões de pico por regiões – C90V0_D2_C1

A.4.4 - Fatores de Vizinhanças dos Cpe de pico por regiões – CAARC à 90° e vizinho à 90°

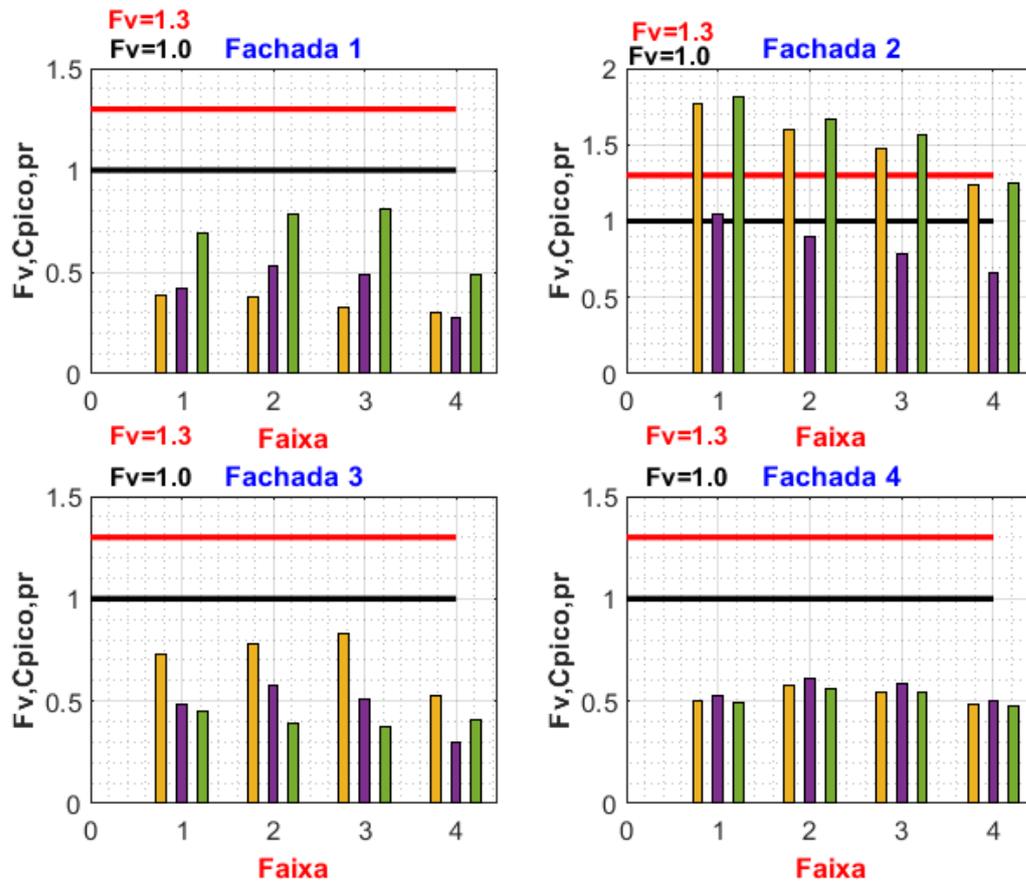


Figura A-125 - Fator de vizinhança dos coef. de pressões de pico por regiões – C90V90_A1

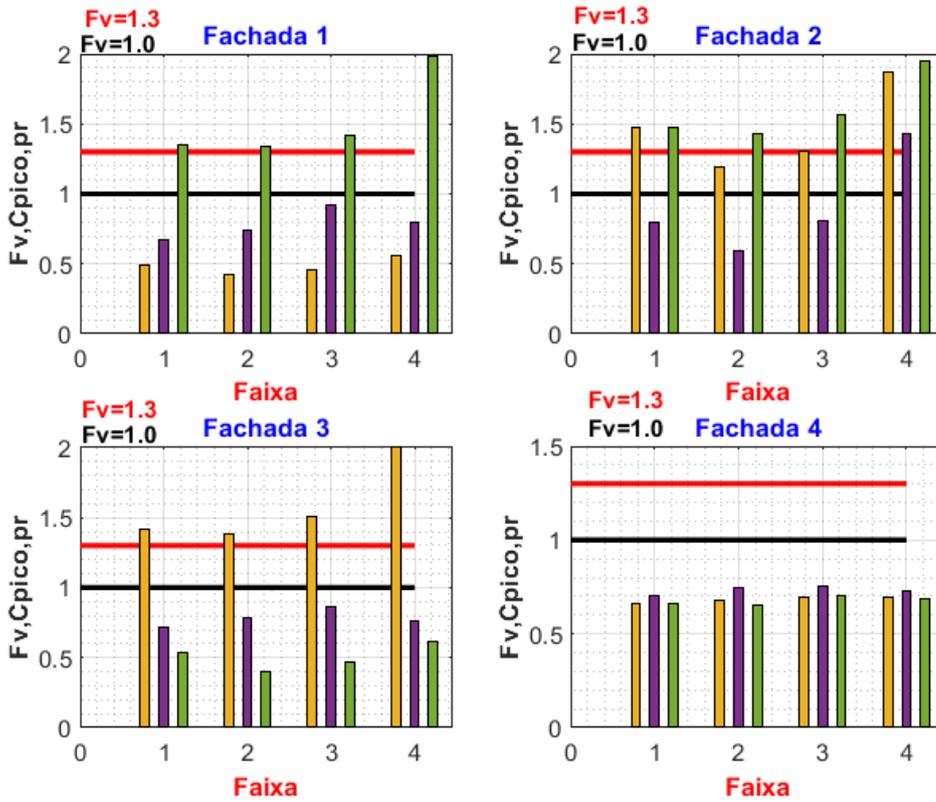


Figura A-126 - Fator de vizinhança dos coef. de pressões de pico por regiões – C90V90_A2

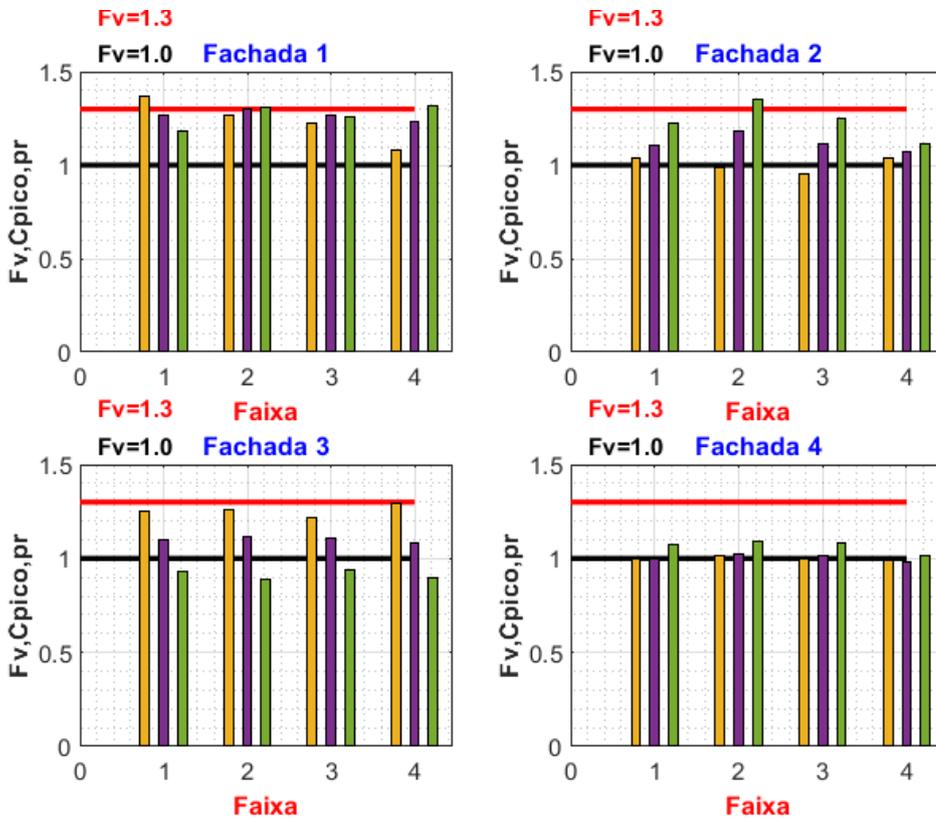


Figura A-127 - Fator de vizinhança dos coef. de pressões de pico por regiões – C90V90_B1

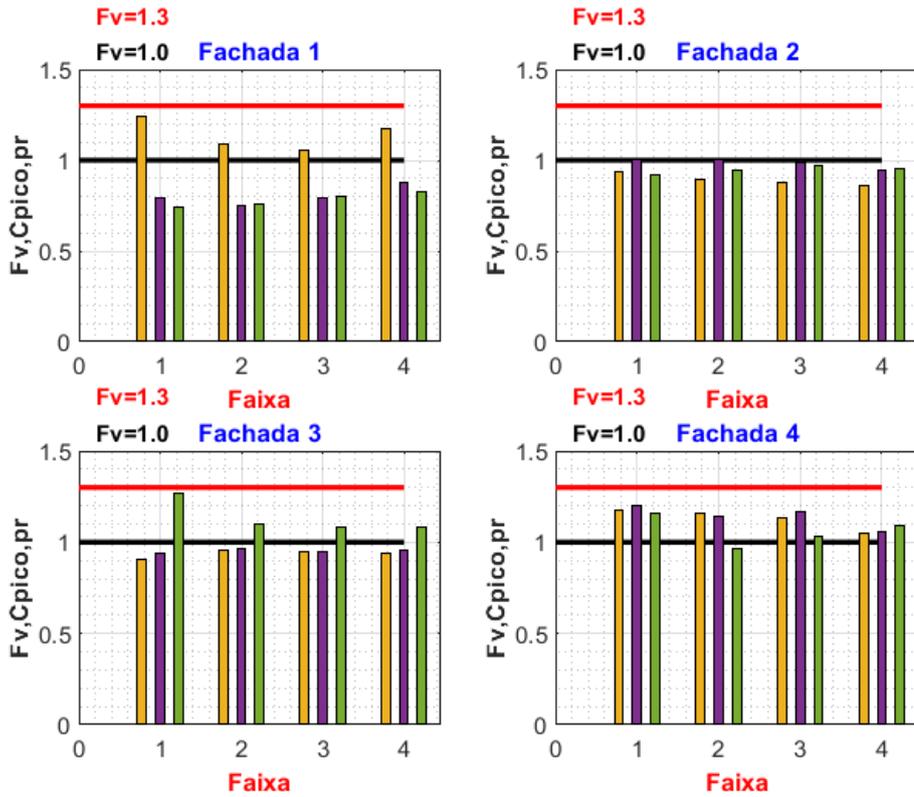


Figura A-128 - Fator de vizinhança dos coef. de pressões de pico por regiões – C90V90_C1

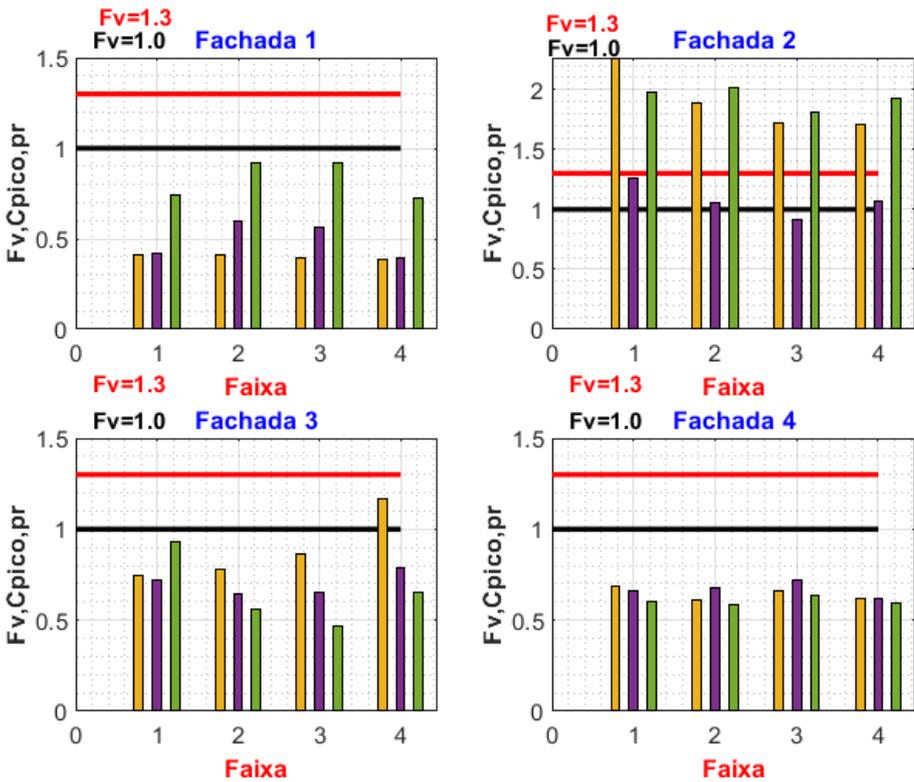


Figura A-129 - Fator de vizinhança dos coef. de pressões de pico por regiões –

C90V90_D2_A1

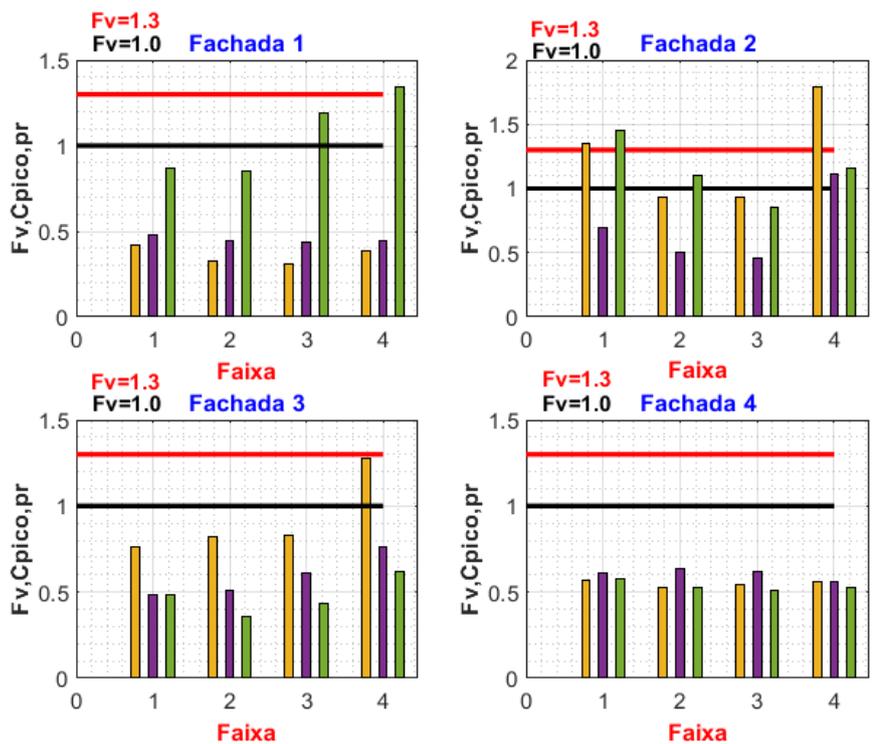


Figura A-130 - Fator de vizinhança dos coef. de pressões de pico por regiões – C90V90_D2_A2

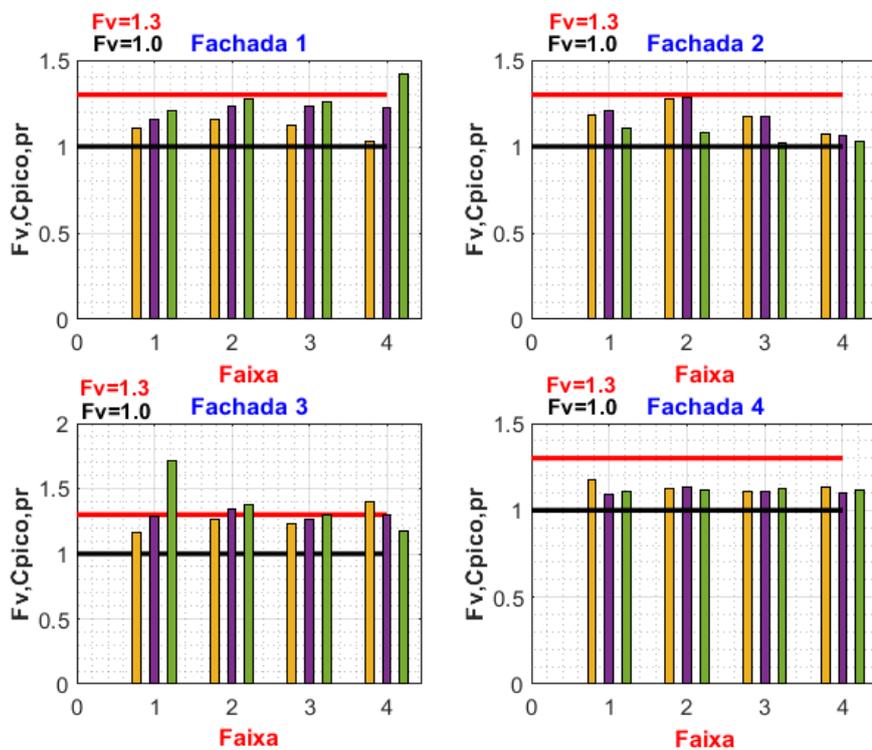


Figura A-131 - Fator de vizinhança dos coef. de pressões de pico por regiões – C90V90_D2_B1

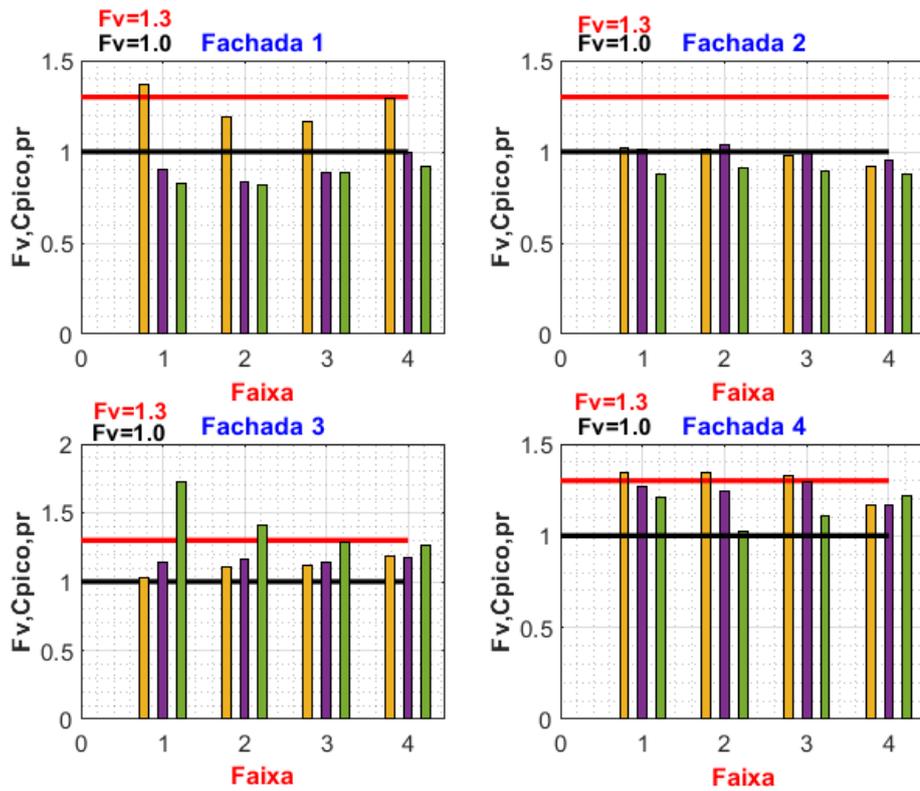


Figura A-132 - Fator de vizinhança dos coef. de pressões de pico por regiões –

C90V90_D2_C1