

Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Escola de Engenharia
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil

**Avaliação de brises sob a ação do vento e sua influência na
distribuição de pressões nas fachadas de um edifício alto**

Caroline Molin do Amaral

Porto Alegre
2021

CAROLINE MOLIN DO AMARAL

**AVALIAÇÃO DE BRISES SOB A AÇÃO DO VENTO E SUA
INFLUÊNCIA NA DISTRIBUIÇÃO DE PRESSÕES NAS
FACHADAS DE UM EDIFÍCIO ALTO**

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

Porto Alegre
2021

CAROLINE MOLIN DO AMARAL

**AVALIAÇÃO DE BRISES SOB A AÇÃO DO VENTO E SUA
INFLUÊNCIA NA DISTRIBUIÇÃO DE PRESSÕES NAS
FACHADAS DE UM EDIFÍCIO ALTO**

Esta dissertação de mestrado foi julgada adequada para a obtenção do título de MESTRE EM ENGENHARIA, Área de Estruturas, e aprovada em sua forma final pelo professor orientador e pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Porto Alegre, 09 de dezembro de 2021

Prof. Acir Mércio Loredou-Souza
Ph.D., University of Western Ontario, Canadá
orientador

Prof. Dr. Lucas Festugato
Coordenador do PPGEC/UFRGS

BANCA EXAMINADORA

Prof. Adrián Roberto Wittwer (UNNE/Argentina)
D. Sc., Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Brasil

Prof. Angela Borges Masuero (UFRGS)
D. Sc., Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Brasil

Prof. Marcelo Maia Rocha (UFRGS)
Dr. Techn., Universität Innsbruck, Áustria

Eng. Mario Gustavo Klaus Oliveira (Vento-S Consultoria)
D. Sc., Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Brasil

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar, agradeço à minha família pelo amor e apoio incondicionais. Aos meus pais, Joana e José, por sempre me incentivarem, por me proporcionarem tantas oportunidades, por acreditarem nos meus sonhos e serem parte fundamental das minhas conquistas e realizações. Ao meu irmão Mateus, por toda a sua ajuda, conselhos e motivação. À Amora, por me manter calma nos momentos mais difíceis.

Agradeço a todos os professores que contribuíram para minha formação acadêmica, profissional e pessoal. Agradeço especialmente ao meu orientador, professor Acir Mércio Loredo-Souza, pela sua paciência, incentivo e, principalmente, por compartilhar do seu vasto conhecimento e do seu precioso tempo para o desenvolvimento deste trabalho. Por ser um exemplo de professor, pesquisador e pessoa.

Agradeço à Roges Leopoldo pelo grande auxílio durante a concepção dos modelos e ensaios envolvidos no desenvolvimento desta pesquisa. Agradeço também à Caio de Britto, Débora Dala Maria Vizioli, Livio Pires, Marcelo Zanflice, Pedro Henrique Fontes-Silva e Raquel Benelli pelo auxílio técnico e apoio durante a etapa experimental.

Agradeço imensamente a todos os amigos que me acompanharam nessa desafiadora jornada, que estiveram ao meu lado comemorando cada pequena vitória, me amparando nos momentos difíceis e me impulsionando a seguir em frente. Em especial, agradeço à Adriano, Daniel, Laís e Mariana, por terem sido minha família dentro do mestrado e em Porto Alegre. À Giovana por ter oferecido seus ouvidos e seu ombro amigo incansavelmente e ter sido fundamental no caminho para a conclusão desta dissertação. À Marina, por dividir suas experiências acadêmicas comigo, por sua compreensão, incentivo e por ser minha inspiração como pesquisadora. À Livia pelo cuidado, apoio e pelas palavras de incentivo ao longo de todas as etapas. À Letícia e Victória por terem trilhado mais esse caminho ao meu lado, mesmo que à distância. À Liziane pela valiosa mentoria de vida que me permitiu chegar até aqui. Estes são apenas alguns dos nomes de pessoas que foram fundamentais para a conclusão desta etapa. Sou muito grata por ter tantas pessoas incríveis na minha vida.

Finalmente, agradeço ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pelo auxílio financeiro que possibilitou a dedicação integral ao programa de pós-graduação.

RESUMO

AMARAL, C.M. **Avaliação de brises sob a ação do vento e sua influência na distribuição de pressões nas fachadas de um edifício alto.** 2021. 205 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

Diante da crescente preocupação com a eficiência energética e com o conforto do ambiente interno, soluções de controle solar passaram a integrar fachadas de edifícios altos. No cenário arquitetônico brasileiro atual, tem-se verificado o retorno da tendência dos brises, especialmente na configuração de painéis deslizantes e articulados (*sliding & folding shutters*). Posto que introduzem maior rugosidade às superfícies e modificações à seção transversal das edificações, tais elementos elevam a complexidade da interação do vento com suas fachadas. Este fato, aliado à falta de diretrizes para o seu projeto seguro, à escassez de estudos aerodinâmicos os envolvendo e à preocupação com os recorrentes danos e acidentes compreendendo componentes de fachadas durante tempestades, evidencia a relevância do desenvolvimento de estudos mais consistentes sobre o tema. Nesse contexto, a presente pesquisa se propõe a contribuir com um maior entendimento de como a configuração de brises supracitada influencia a distribuição de pressões externas induzidas pela ação do vento em fachadas de edifícios altos de seção transversal retangular, bem como determinar como esses elementos são solicitados. Para tal, desenvolveu-se um estudo aerodinâmico comparativo entre três modelos de mesma geometria: o primeiro de faces lisas, o segundo dotado de projeções horizontais contínuas e o terceiro equipado com estas em associação a brises deslizantes e/ou articulados em diferentes combinações, a fim de simular a dinamicidade característica desse tipo de fachada. A partir de ensaios em túnel de vento de camada limite, coeficientes de pressão média, r.m.s. e de picos foram avaliados para 24 ângulos de incidência do vento. Por meio da comparação de diagramas representativos da distribuição destes coeficientes, verificou-se que a introdução dos elementos alvos do presente estudo é capaz de alterar significativamente a distribuição de pressões na fachada. Dentre as principais observações, destacaram-se a elevação das sobrepessões médias e dos picos máximos na porção de topo das faces; a elevação das sucções médias nas arestas laterais de sotavento; a redução das flutuações de pressão nas faces laterais e de sotavento; e a expressiva atenuação dos picos mínimos, sobretudo em regiões próximas ao topo e à base dos modelos, especialmente para faces laterais e de sotavento. Já quanto às solicitações impostas aos brises, com exceção da elevação na magnitude dos picos mínimos em elementos posicionados na extremidade lateral direita da face, para ventos mais perpendiculares à esta, poucos foram os casos nos quais foram submetidos a coeficientes de pico mais significativos que os verificados para regiões correspondentes do modelo de faces lisas, sendo os valores mais expressivos sempre identificados nas extremidades das faces. Além da análise comparativa, o estudo também forneceu noções de valores de coeficientes resultantes nos brises e também de pressões máximas e mínimas para as faces dos três modelos, estas obtidas a partir de estatísticas do vento típicas do território brasileiro. Apesar das particularidades do estudo, verificou-se que os resultados respeitam as tendências observadas em estudos anteriores similares e fornecem informações complementares às normas vigentes destinadas ao projeto de fachadas.

Palavras-chave: *brises; brise-soleil; pressão; vento; fachada; edifícios altos.*

ABSTRACT

AMARAL, C.M. **Aerodynamic study of sliding and folding shutters and their influence on wind-induced pressure distribution in a high-rise building façade.** 2021. 205 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

Given the growing concern with energy efficiency and indoor environmental comfort, solar shading systems started to integrate the facades of high-rise buildings. In the current Brazilian architectural scenario, there has been a return to the trend towards louvers, especially in the configuration of sliding and folding shutters. Since they increase surface roughness and introduce modifications to the cross-section of buildings, such elements enhance the complexity of wind interaction with their envelopes. This fact, combined with the lack of guidelines for their safe design, the scarcity of aerodynamic studies involving them, and the concern with the recurrent damage and accidents involving facade components during storms, reveals the relevance of developing more consistent studies on the subject. In this context, the present research aims to contribute to a better understanding of how the aforementioned louver configuration influences the distribution of external wind-induced pressures on tall building facades with rectangular cross-section, as well as to determine how these elements are requested. To this end, a comparative aerodynamic study was developed between three models of same geometry: the first with smooth surfaces, the second containing continuous horizontal projections, and the third equipped with these in association with sliding and/or folding shutters in different combinations, in order to simulate the various shading possibilities. From tests conducted in a boundary layer wind tunnel, mean, fluctuating and peak external pressure coefficients were evaluated for 24 wind directions. Through the comparison of diagrams representing the distribution of these coefficients, it was found that the introduction of architectural appurtenances can significantly alter the pressure distribution on a facade. Among the main observations, it can be highlighted: the increase of the mean positive pressure coefficients and of the positive peaks in the top portion of the faces; a raise on the mean suctions in the leeward side edges; the reduction of fluctuating pressures on the lateral and leeward faces; the expressive attenuation of the negative peaks, especially in regions near the top and bottom of the models, especially for the lateral and leeward faces. As for the loads imposed on the shutters, except for the increase in the magnitude of the negative peaks in elements located near the right edge of the windward face, there were few cases in which they were subjected to peak coefficients higher, in module, than those verified for corresponding regions of the smooth face model, with the most expressive values always identified at the edges of the faces. Besides the comparative analysis, the study provides notions of the net pressure coefficients on the elements and also of maximum and minimum pressures for the external surfaces of the three models, these obtained from typical wind statistics for the Brazilian territory. Despite the particularities of the study, it was found that the results obtained followed most of the trends observed in previous similar studies and provides complementary information to the current codes involved in the design of facades.

Keywords: *sliding & folding shutters; louvers; wind; façade; tall buildings.*

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	19
1.1	CONTEXTUALIZAÇÃO.....	19
1.2	RELEVÂNCIA DO ESTUDO.....	23
1.3	OBJETIVOS	25
2	REFERENCIAL TEÓRICO.....	26
2.1	CARACTERÍSTICAS DO VENTO NATURAL.....	26
2.1.1	Camada Limite Atmosférica (CLA)	26
2.1.2	Perfis de velocidade média	28
2.1.3	Turbulência	29
2.2	AERODINÂMICA DE PRISMAS RETANGULARES	31
2.2.1	Principais características do escoamento	31
2.2.2	Distribuição de pressões externas	38
2.2.3	Forças aerodinâmicas.....	41
2.3	AÇÃO DO VENTO EM FACHADAS	43
2.3.1	Considerações das normas brasileiras.....	45
2.3.1.1	ABNT NBR 10821	45
2.3.1.2	ABNT NBR 6123	47
2.3.1.3	ABNT NBR 7199	50
2.4	AÇÃO DO VENTO EM FACHADAS EQUIPADAS COM ELEMENTOS DE CONTROLE SOLAR	51
2.4.1	Estudos anteriores	52
2.4.1.1	Projeções verticais e horizontais	53
2.4.1.2	Anteparos	64
3	PROGRAMA EXPERIMENTAL.....	69
3.1	O TÚNEL DE VENTO <i>PROFESSOR JOAQUIM BLESSMANN</i>	70
3.2	SIMULAÇÃO DO VENTO NATURAL	73
3.3	CARACTERIZAÇÃO DOS MODELOS	74
3.3.1	Modelo I: fachada lisa.....	75

3.3.2	Modelo II: projeções horizontais	77
3.3.3	Modelo III: brises.....	79
3.4	PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL.....	85
3.5	PROCESSAMENTO DE DADOS	87
4	RESULTADOS	89
4.1	DISPOSIÇÕES INICIAIS	89
4.2	ANÁLISE: FACE 1	93
4.2.1	Coeficientes médios	93
4.2.2	Coeficientes r.m.s.....	103
4.2.3	Coeficientes de pico mínimo	108
4.2.4	Coeficientes de pico máximo.....	120
4.2.5	Coeficientes resultantes	125
4.3	ANÁLISE: FACE 2	131
4.3.1	Coeficientes médios	131
4.3.2	Coeficientes r.m.s.....	140
4.3.3	Coeficientes de pico mínimo	144
4.3.4	Coeficientes de pico máximo.....	153
4.3.5	Coeficientes resultantes	158
4.4	RESUMO E COMENTÁRIOS.....	161
4.5	VALORES DE PROJETO.....	167
5	CONCLUSÕES	175
5.1	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	177
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	179
	APÊNDICE I – COEFICIENTES CARACTERÍSTICOS POR REGIÃO DAS FACES DOS MODELOS I, II E III	187

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1: <i>Brisés-soleil</i> característicos do período modernista brasileiro. À esquerda, o antigo Ministério da Educação e Saúde do Rio de Janeiro e à direita, o edifício Copan em São Paulo.	21
Figura 1.2: Exemplo de brises do estilo <i>muxarabi</i> articulado. Edifício Vertical Itaim, São Paulo	22
Figura 1.3: Exemplo de brises ripados deslizantes. Edifício Teená Três Figueiras, Porto Alegre	23
Figura 2.1: Desenho esquemático da Camada Limite Atmosférica (CLA) e seus perfis de velocidade e tensões de Reynolds.....	27
Figura 2.2: Desenvolvimento da velocidade na camada limite de uma placa plana	33
Figura 2.3: Características do escoamento ao redor de um prisma retangular	34
Figura 2.4: Características do escoamento ao redor de prismas bidimensionais de seção retangular, considerando diferentes <i>side ratios</i> , l_2/l_1	35
Figura 2.5: Vórtices envolvidos no escoamento ao redor de um prisma de base quadrada e comprimento finito	36
Figura 2.6: Vórtice do tipo arco.....	38
Figura 2.7: Orientação das componentes da força horizontal	42
Figura 2.8: Valores de pressão de vento (Pa) de acordo com a região do país e o número de pavimentos da edificação.....	46
Figura 2.9: Mapa de isopletas da velocidade básica do vento, V_0 (m/s), no Brasil, conforme a ABNT NBR 6123	47
Figura 2.10: Coeficientes de pressão e de forma, externos, para paredes de edificações de planta retangular	48
Figura 2.11: Tensões máximas admissíveis (MPa) para vidros de diferentes configurações ..	50
Figura 2.12: Modelo equipado com <i>mullions</i> avaliado por Leutheusser (1970).....	53
Figura 2.13: Configurações de rugosidade ensaiadas por Maruta, Kanda e Sato (1998).....	55
Figura 2.14: Projeções utilizadas como base para o estudo de Rofail e Kwok (1999)	56
Figura 2.15: Configurações de rugosidade analisadas por Lignarolo, Lelieveld e Teuffel (2011)	58
Figura 2.16: Regiões críticas na distribuição de pressões de uma fachada equipada com projeções verticais contínuas, sendo (a) a representação dos vórtices na base do	

modelo, para ângulos de incidência do vento de 0° e 45° e (b) a distribuição de pressões na região de topo do modelo	59
Figura 2.17: Configurações de projeções horizontais ensaiadas por Yuan, Hui e Chen (2018)	60
Figura 2.18: Configurações de projeções verticais ensaiadas por Yang <i>et al.</i> (2020).....	62
Figura 2.19: Configurações avaliadas por Liu <i>et al.</i> (2021).....	63
Figura 2.20: Elementos de controle solar avaliados por Kahsay, Bitsuamlak e Tariku (2019).....	64
Figura 2.21: Características do modelo experimental avaliado por Jiang <i>et al.</i> (2018)	66
Figura 2.22: Brises verticais analisados por Rocchi <i>et al.</i> (2016).....	67
Figura 3.1: Vista externa do túnel de vento <i>Professor Joaquim Blessmann</i>	70
Figura 3.2: Circuito aerodinâmico do túnel de vento <i>Professor Joaquim Blessmann</i> . Dimensões em centímetros.....	71
Figura 3.3: Perfis de velocidade média, intensidade e macroescala da componente longitudinal de turbulência, considerando os expoentes característicos da lei potencial 0,11, 0,23 e 0,34.....	74
Figura 3.4: Perspectiva do Modelo I. Dimensões em metros.....	76
Figura 3.5: Esquema representativo das posições das tomadas de pressão na planta do Modelo I.....	77
Figura 3.6: Perspectiva do Modelo II. Dimensões em metros.....	78
Figura 3.7: Configurações de brises selecionadas para compor o Modelo III.	79
Figura 3.8: Caracterização das fachadas utilizadas nas análises do Modelo III.....	81
Figura 3.9: Detalhes das faces 1 e 4 do Modelo III: instrumentação e combinações de brises.....	82
Figura 3.10: Modelo I.....	83
Figura 3.11: Modelo II	84
Figura 3.12: Modelo III	85
Figura 3.13: Sistema de aquisição de dados do LAC	86
Figura 3.14: Transdutor de pressões modelo ZOC33.....	87
Figura 4.1: Referência para os ângulos de incidência do vento	90
Figura 4.2: Exemplo de setorização das faces 1 e 2 utilizada como base para as análises dos coeficientes aerodinâmicos	91

Figura 4.3: Vistas frontal (a) e isométrica (b) da distribuição de coeficientes de pressão média, externos, referente a porção superior da face 1 do Modelo III, considerando o azimute de 45°	92
Figura 4.4: Distribuição de coeficientes de pressão média, externos, nas faces de número 1 dos modelos I, II e III, respectivamente, considerando o azimute de 15°	94
Figura 4.5: Distribuição de coeficientes de pressão média, externos, nas faces de número 1 dos modelos I, II e III, respectivamente, considerando o azimute de 60°	96
Figura 4.6: Distribuição de coeficientes de pressão média, externos, nas faces de número 1 dos modelos I, II e III, respectivamente, considerando o azimute de 90° (vento perpendicular à face).....	97
Figura 4.7: Distribuição de coeficientes de pressão média, externos, nas faces de número 1 dos modelos I, II e III, respectivamente, considerando o azimute de 105°	99
Figura 4.8: Distribuição de coeficientes de pressão média, externos, nas faces de número 1 dos modelos I, II e III, respectivamente, considerando o azimute de 135°	100
Figura 4.9: Distribuição de coeficientes de pressão média, externos, nas faces de número 1 dos modelos I, II e III, respectivamente, considerando o azimute de 150°	102
Figura 4.10: Distribuição de coeficientes de pressão r.m.s., externos, nas faces de número 1 dos modelos I, II e III, respectivamente, considerando o azimute de 0° (vento paralelo à face).....	104
Figura 4.11: Distribuição de coeficientes de pressão r.m.s., externos, nas faces de número 1 dos modelos I, II e III, respectivamente, considerando o azimute de 90° (vento perpendicular à face).....	105
Figura 4.12: Distribuição de coeficientes de pressão r.m.s., externos, nas faces de número 1 dos modelos I, II e III, respectivamente, considerando o azimute de 270° (face a sotavento).....	107
Figura 4.13: Distribuição de coeficientes de pico mínimo, externos, nas faces de número 1 dos modelos I, II e III, respectivamente, considerando o azimute de 0° (vento paralelo à face).....	109
Figura 4.14: Distribuição de coeficientes de pico mínimo, externos, nas faces de número 1 dos modelos I, II e III, respectivamente, considerando o azimute de 15°	110
Figura 4.15: Distribuição de coeficientes de pico mínimo, externos, nas faces de número 1 dos modelos I, II e III, respectivamente, considerando o azimute de 90° (vento perpendicular à face).....	112
Figura 4.16: Distribuição de coeficientes de pico mínimo, externos, nas faces de número 1 dos modelos I, II e III, respectivamente, considerando o azimute de 180° (vento paralelo à face).....	114
Figura 4.17: Distribuição de coeficientes de pico mínimo, externos, nas faces de número 1 dos modelos I, II e III, respectivamente, considerando o azimute de 195°	116

Figura 4.18: Distribuição de coeficientes de pico mínimo, externos, nas faces de número 1 dos modelos I, II e III, respectivamente, considerando o azimute de 270° (face a sotavento).....	117
Figura 4.19: Distribuição de coeficientes de pico mínimo, externos, nas faces de número 1 dos modelos I, II e III, respectivamente, considerando o azimute de 345°	119
Figura 4.20: Distribuição de coeficientes de pico máximo, externos, nas faces de número 1 dos modelos I, II e III, respectivamente, considerando o azimute de 60°	121
Figura 4.21: Distribuição de coeficientes de pico máximo, externos, nas faces de número 1 dos modelos I, II e III, respectivamente, considerando o azimute de 90° (face a barlavento)	122
Figura 4.22: Distribuição de coeficientes de pico máximo, externos, nas faces de número 1 dos modelos I, II e III, respectivamente, considerando o azimute de 135°	124
Figura 4.23: Distribuição de coeficientes de pico máximo, externos, nas faces de número 1 dos modelos I, II e III, respectivamente, considerando o azimute de 150°	125
Figura 4.24: Distribuição dos coeficientes adimensionais de pressão médios, externos, que dão origem aos maiores coeficientes resultantes nos brises da face 1 do Modelo III.	127
Figura 4.25: Distribuição dos coeficientes adimensionais de pressão de pico, externos, que dão origem aos maiores coeficientes resultantes nos brises da face 1 do Modelo III.	129
Figura 4.26: Distribuição de coeficientes de pressão média, externos, nas faces de número 2 dos modelos I, II e III, respectivamente, considerando o azimute de 105°	132
Figura 4.27: Distribuição de coeficientes de pressão média, externos, nas faces de número 2 dos modelos I, II e III, respectivamente, considerando o azimute de 135° (vento oblíquo a face)	135
Figura 4.28: Distribuição de coeficientes de pressão média, externos, nas faces de número 2 dos modelos I, II e III, respectivamente, considerando o azimute de 165°	136
Figura 4.29: Distribuição de coeficientes de pressão média, externos, nas faces de número 2 dos modelos I, II e III, respectivamente, considerando o azimute de 180° (face a barlavento)	138
Figura 4.30: Distribuição de coeficientes de pressão média, externos, nas faces de número 2 dos modelos I, II e III, respectivamente, considerando o azimute de 210°	139
Figura 4.31: Distribuição de coeficientes de pressão r.m.s., externos, nas faces de número 2 dos modelos I, II e III, respectivamente, considerando o azimute de 90° (vento paralelo à face).....	141
Figura 4.32: Distribuição de coeficientes de pressão r.m.s., externos, nas faces de número 2 dos modelos I, II e III, respectivamente, considerando o azimute de 105°	143

Figura 4.33: Distribuição de coeficientes de pico mínimo, externos, nas faces de número 2 dos modelos I, II e III, respectivamente, considerando o azimute de 75°	145
Figura 4.34: Distribuição de coeficientes de pico mínimo, externos, nas faces de número 2 dos modelos I, II e III, respectivamente, considerando o azimute de 90° (vento paralelo à face).....	147
Figura 4.35: Distribuição de coeficientes de pico mínimo, externos, nas faces de número 2 dos modelos I, II e III, respectivamente, considerando o azimute de 255°	150
Figura 4.36: Distribuição de coeficientes de pico mínimo, externos, nas faces de número 2 dos modelos I, II e III, respectivamente, considerando o azimute de 270° (vento paralelo à face).....	151
Figura 4.37: Distribuição de coeficientes de pico mínimo, externos, nas faces de número 2 dos modelos I, II e III, respectivamente, considerando o azimute de 285°	152
Figura 4.38: Distribuição de coeficientes de pico máximo, externos, nas faces de número 2 dos modelos I, II e III, respectivamente, considerando o azimute de 150°	154
Figura 4.39: Distribuição de coeficientes de pico máximo, externos, nas faces de número 2 dos modelos I, II e III, respectivamente, considerando o azimute de 180° (face a barlavento)	156
Figura 4.40: Distribuição de coeficientes de pico máximo, externos, nas faces de número 2 dos modelos I, II e III, respectivamente, considerando o azimute de 210°	157
Figura 4.41: Coeficientes de pressão resultantes nos brises da face 2 do Modelo III.....	159
Figura 4.42: Diagramas de blocos indicando a envoltória de pressões externas mínimas na face 1 do Modelo III.	170
Figura 4.43: Diagramas de blocos indicando a envoltória de pressões externas mínimas na face 2 do Modelo III.....	171
Figura 4.44: Diagramas de blocos indicando a envoltória de pressões externas máximas na face 1 do Modelo III.	172
Figura 4.45: Diagramas de blocos indicando a envoltória de pressões externas máximas na face 2 do Modelo III.....	173
Figura 4.46: Diagramas de blocos indicando a envoltória de pressões externas mínimas nas faces 1 e 2 do Modelo I.....	174
Figura 4.47: Diagramas de blocos indicando a envoltória de pressões externas máximas nas faces 1 e 2 do Modelo I.....	174

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1: Relação dos resultados obtidos por Rofail e Kwok (1999).	56
Tabela 3.1: Dimensões dos brises do Modelo III (mm).	80
Tabela 3.2: Principais características do Modelo III.	83
Tabela 4.1: Coeficientes adimensionais de pressão média referentes à Figura 4.24.	128
Tabela 4.2: Coeficientes adimensionais de pressão de pico referentes à Figura 4.25.	130
Tabela 4.3: Coeficientes adimensionais de pressão associados à Figura 4.41.	160
Tabela 4.4: Coeficientes aerodinâmicos característicos por região da face 1 do Modelo III.	163
Tabela 4.5: Coeficientes aerodinâmicos característicos por região da face 2 do Modelo III.	165

LISTA DE SÍMBOLOS

Letras romanas maiúsculas

A	área de uma superfície plana sobre a qual é calculada a força exercida pelo vento
C	coeficiente de forma ou de força
C_e	coeficiente de forma externo
$C_{f'}$	coeficiente de atrito
F	força em uma superfície plana de área A , perpendicular à respectiva superfície
F'	força de atrito em uma superfície plana de área A , tangente à respectiva superfície
F_a	força de arrasto: componente da força horizontal na direção do vento
F_g	força global do vento: resultante de todas as forças exercidas pelo vento sobre uma edificação ou parte dela
F_h	força horizontal: componente, em um plano horizontal, de F_g
F_l	força lateral: componente da força horizontal na direção normal ao vento
F_s	força de sustentação: componente vertical das forças do vento
F_x	componente da força do vento na direção x
F_y	componente da força do vento na direção y
$I_i(\underline{r})$	intensidade local da componente i da turbulência, no ponto \underline{r}
I_1	intensidade local da componente longitudinal da turbulência
L_1	macroescala da componente longitudinal de turbulência
N	número de observações
P	pressão de cálculo
P_a	pressão de estanqueidade a água
P_{atm}	pressão atmosférica
P_e	pressão de ensaio
P_p	pressão de projeto ou dinâmica

P_p	pressão da carga resultante do peso próprio por unidade de área
P_s	pressão de segurança
P_v	pressão do vento
R	constante universal dos gases
Re	número de Reynolds
S_1	fator topográfico
S_2	fator que considera a influência da rugosidade do terreno, das dimensões da edificação ou parte da edificação em estudo, e de sua altura sobre o terreno
S_3	fator baseado em conceitos probabilísticos
S_t	número de Strouhal
T	período de amostragem
V	velocidade do vento
$V(\underline{r}, t)$	vetor velocidade em um ponto \underline{r}
$\bar{V}(\underline{r})$	vetor velocidade média em um ponto \underline{r}
$\bar{V}(z)$	velocidade média do vento na altitude z
$\bar{V}(z_{ref})$	velocidade média do vento na altura de referência
V_0	velocidade básica do vento
V_k	velocidade característica do vento
\bar{V}_h	velocidade média do vento no topo do modelo

Letras romanas minúsculas

a	maior dimensão horizontal de uma edificação
b	menor dimensão horizontal de uma edificação
\bar{c}_p	coeficiente de pressão média
\hat{c}_p	coeficiente de pressão máxima
\check{c}_p	coeficiente de pressão mínima

\tilde{c}_p	coeficiente de pressão r.m.s.
c_{pe}	coeficiente de pressão externa
d	profundidade da projeção
f_s	frequência de desprendimento de vórtices
g	aceleração da gravidade
g	fator de pico
h	altura de uma edificação acima do terreno, medida até o topo da platibanda ou nível do beiral
k_b	fator de bloqueio
k_0	coeficiente que vincula a pressão dinâmica à pressão estática diferencial
l	comprimento de uma superfície
l_1	largura: dimensão horizontal de uma edificação perpendicular à direção do vento
l_2	profundidade: dimensão de uma edificação na direção do vento
p	expoente característico da lei potencial do perfil de velocidade média do vento
p	pressão estática em um ponto
$p(t)$	pressão superficial instantânea medida em relação a uma pressão estática de referência
p_0	pressão estática de referência no fluxo não perturbado
p_p	pressão de projeto
\bar{p}	valor médio de $p(t)$ para um período de amostragem T
p_{max}	máximo valor de $p(t)$ para um período de amostragem T
p_{min}	mínimo valor de $p(t)$ para um período de amostragem T
q	pressão dinâmica ao longe
\bar{q}	pressão dinâmica média de referência
\bar{q}_h	pressão dinâmica média no topo do modelo
\check{q}	pressão dinâmica de pico
\underline{r}	vetor posição
t	tempo

u_*	velocidade de corte, fricção ou de cisalhamento
$\underline{v}(\underline{r}, t)$	vetor rajada ou vetor flutuações da velocidade
v_i	componentes escalares do vetor rajada
x_2	eixo em relação a seção transversal do túnel de vento
x_3	eixo vertical do túnel de vento, medida do piso até o eixo, igual a 450 mm
z	cota acima do terreno
z_0	rugosidade aerodinâmica ou altura média das rugosidades do terreno
z_d	deslocamento do plano-zero
z_g	altura gradiente
z_{ref}	altura de referência

Letras gregas

α	ângulo de incidência do vento, medido no plano horizontal, a partir do eixo x e no sentido anti-horário
ϵ	altura média das rugosidades de uma superfície
θ	menor ângulo que a peça de vidro pode formar com a horizontal
Θ	temperatura medida durante o ensaio
δ	espessura da camada limite
ΔP_a	diferencial de pressão estática
Δp_e	pressão efetiva externa
κ	constante de von Kármán
ν	viscosidade cinemática
ρ	massa específica
ρ_{ar}	massa específica do ar
$\sigma_i(\underline{r})$	desvio padrão da componente flutuante da velocidade no ponto \underline{r}
σ_{cp}	desvio padrão ou valor r.m.s. de $p(t)$ para o período de amostragem T

1 INTRODUÇÃO

Este capítulo introdutório visa, inicialmente, contextualizar o leitor sobre a utilização dos *brises-soleil*, ou brises, no Brasil, destacando suas características e sua relevância como elemento de controle solar no cenário ambiental e energético atual. Em seguida, busca expor a importância de sua avaliação sob a perspectiva aerodinâmica, dadas as modificações que podem introduzir no escoamento ao redor do edifício em que se encontram inseridos. Finalmente, propõe os objetivos a serem alcançados por meio do presente trabalho.

1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO

O projeto de edifícios de alta performance consiste em uma prática cada vez mais complexa. Além da demanda por elevada esbeltez, a fim de suprir as exigências populacionais de grandes centros urbanos, verifica-se a crescente preocupação com o cenário ambiental. Estima-se que a construção e operação de edifícios sejam responsáveis por cerca de 39% das emissões de gás carbônico do mundo e 36% do consumo final global de energia (GLOBAL ALLIANCE FOR BUILDINGS AND CONSTRUCTION, 2019). Assim, denota-se a importância da adoção de medidas que minimizem tais impactos, de modo a criar um equilíbrio entre os requisitos energéticos, ambientais, estéticos, econômicos e sociais (MOGHTADERNEJAD; CHOUINARD; MIRZA, 2020).

Nesse contexto, o projeto de fachadas possui grande relevância. Uma vez que representam a interface entre o ambiente interno e externo, são capazes de reduzir o impacto das mudanças climáticas de maneira eficaz, o que reflete diretamente na eficiência energética das edificações (MARYSSE, 2016). O maior desafio dessa prática é aproveitar ao máximo a energia natural que é trocada entre esses ambientes, seja referente à temperatura, ventilação ou iluminação, de modo a permitir o conforto dos ocupantes ao menor consumo possível de energia (JOHNSEN; WINTHER, 2015).

Por facilitarem a iluminação natural dos ambientes e promoverem uma maior conexão dos usuários com o meio externo, tem-se verificado a tendência do projeto de fachadas altamente envidraçadas. Juntamente com esses atributos favoráveis, a elevada transparência provoca

desvantagens, essencialmente sob o ponto de vista térmico (MOGHTADERNEJAD; CHOUINARD; MIRZA, 2020). Durante o inverno, essa configuração pode ser responsável pela perda significativa de calor dos ambientes internos, enquanto durante o período de verão podem provocar seu aquecimento excessivo. Como consequência, a fim de atender aos requisitos de conforto ambiental, surge a necessidade da implementação de sistemas de aquecimento e resfriamento, os quais demandam elevados consumos de energia e de recursos naturais (LOONEN *et al.*, 2013).

A importância das questões ambientais e energéticas, atreladas ao desenvolvimento de novas tecnologias, viabilizaram a otimização das fachadas dos edifícios, de modo a assumirem configurações diversificadas e incorporarem materiais e elementos capazes de minimizar a necessidade de utilização dos sistemas supracitados. Tais estratégias incorporam o conceito da arquitetura bioclimática e se fundamentam na adaptabilidade às condições climáticas nas quais o edifício se encontra inserido, de modo a garantirem melhorias nas performances térmica, acústica e visual, além de aspectos relacionados à incidência solar, ventilação e qualidade do ar interno (BEDON *et al.*, 2019; JOHNSEN; WINTHER, 2015).

Uma grande variedade de soluções é encontrada na literatura, desde a simples utilização de vidros de baixa emissividade (ABUNDIZ-CISNEROS *et al.*, 2020), ao uso de elementos de controle solar fixos ou móveis (BELLIA *et al.*, 2014) e a incorporação de fachadas duplas ventiladas (POIRAZIS, 2006), além da possibilidade de combinação de diferentes estratégias em um mesmo sistema. Assim, com a combinação de materiais inteligentes e design estratégico, torna-se possível garantir, simultaneamente, o conforto dos usuários e melhores níveis de desempenho energético.

Dentre as estratégias mencionadas, destaca-se a utilização dos elementos de controle solar no cenário arquitetônico nacional. Integram essa classificação: varandas, marquises, sacadas, telas especiais, toldos, cortinas e persianas, elementos vazados, pérgulas e *brises-soleil* (FROTA, 2004 *apud* SILVA, 2007). Dos elementos citados, os *brises-soleil* se sobressaem, sendo considerados os mais efetivos no controle da incidência solar e manutenção da temperatura dos ambientes, sendo capazes de atenuar os ganhos térmicos e, conseqüentemente, minimizar expressivamente a demanda por climatização artificial (SILVA, 2007). São diversos os estudos que avaliam a performance energética desses elementos no contexto nacional (MARAGNO, 2000; GUTIERREZ, 2004; MIANA, 2005; COSTA; LOURENÇO; OLIVEIRA, 2006; SILVA,

2007; MEDEIROS, 2012; FONTANELLE; BASTOS, 2014; LIMA; KARAM, 2015; LIMA; BRUGNERA; KARAM, 2015; GARCIA *et al.*, 2020).

Idealizado pelo arquiteto franco-suíço Le Corbusier em 1933, o *brise-soleil* integrou a primeira edificação de destaque em 1936, compondo a fachada do antigo Ministério da Educação e Saúde do Rio de Janeiro (Figura 1.1) (SILVA, 2007). Albernaz e Lima (2000, p.99) conceituam o brise como um “anteparo composto por uma série de peças, em geral placas estreitas e compridas, colocadas em fachadas, para reduzir a ação direta do sol”. Os brises podem ser classificados quanto à sua tipologia, mobilidade (fixos ou móveis), dimensões (finito ou infinito) e ao seu acabamento (sólidos ou perfurados). Seu projeto depende de diversos fatores, como a orientação e a finalidade do edifício, o local e a latitude nos quais se situa, além das características climáticas e o período do ano de interesse (GUTIERREZ, 2004).

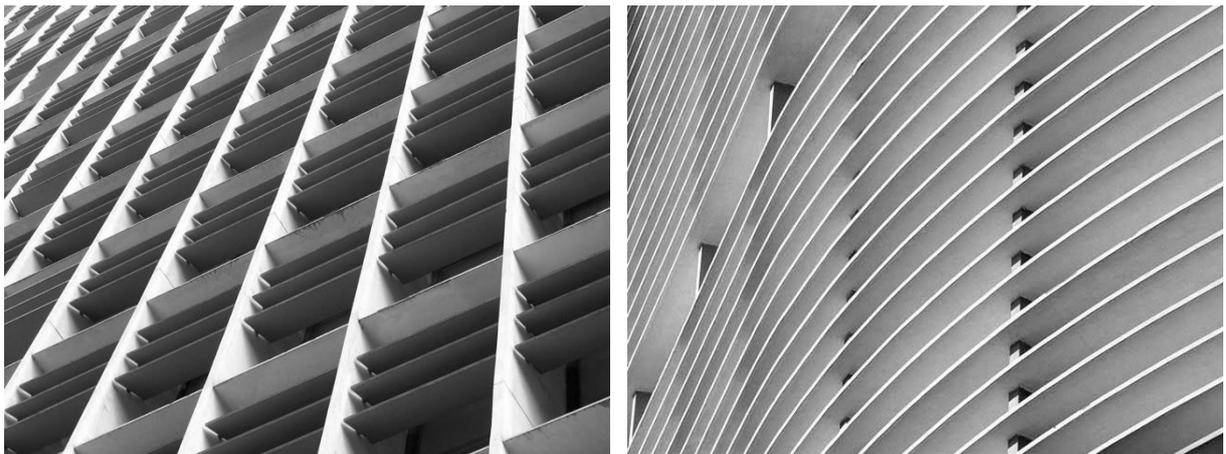


Figura 1.1: *Brisas-soleil* característicos do período modernista brasileiro. À esquerda, o antigo Ministério da Educação e Saúde do Rio de Janeiro e à direita, o edifício Copan em São Paulo (fonte: Fracalossi 2013; Oukawa, 2020).

Desde a sua introdução, na década de 1930, esse elemento arquitetônico se difundiu e passou a integrar a paisagem urbana brasileira, especialmente durante o período que ficou conhecido como “Modernismo Bioclimático Brasileiro”, o qual se estendeu até a década de 1960 (GONÇALVES *et al.*, 2018). Durante esse período, foram essencialmente caracterizados por elementos horizontais, verticais ou mistos, constituídos em concreto, fibrocimento ou madeira. O desenvolvimento de novas tecnologias possibilitou sua evolução ao longo dos anos, de modo a assumirem uma grande variedade de configurações e materiais, incluindo concreto celular, chapas de aço sólidas ou perfuradas, telas, vidros, policarbonatos, painéis fotovoltaicos,

terracota natural, ligas metálicas, fibras minerais e ecorresinas (SILVA, 2007; HUNTER DOUGLAS, 2020).

Nos últimos anos, tem-se verificado o retorno da tendência dos brises na composição do envelope das edificações. Após uma extensa pesquisa, voltada para edifícios residenciais intermediários a altos, constatou-se a predominância dos brises ripados, compostos por perfis metálicos ou amadeirados de pequena seção transversal, dispostos usualmente na horizontal, vertical ou de forma combinada, configurando um painel quadriculado do estilo *muxarabi*. Ademais, seguindo a mesma proposta, também foram encontrados painéis metálicos perfurados. Tais elementos estão sendo empregados com mobilidade, a fim de tornar a estrutura mais adaptável às condições climáticas, criando diversas possibilidades de sombreamento dos ambientes internos e, conseqüentemente, diferentes aspectos à fachada. Isso se torna possível graças a um sistema *sliding & folding*, o qual viabiliza o deslizamento dos painéis e também sua articulação, tal qual uma veneziana. Alguns exemplos característicos podem ser visualizados na Figura 1.2 e na Figura 1.3.

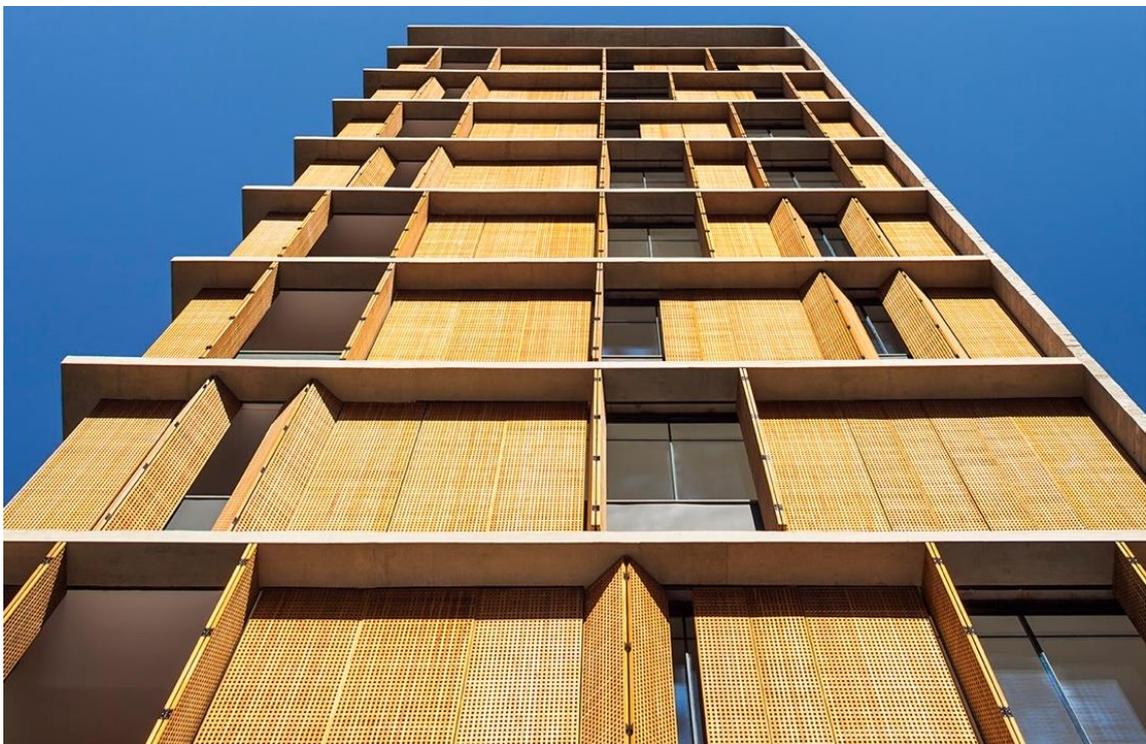


Figura 1.2: Exemplo de brises do estilo *muxarabi* articulado. Edifício Vertical Itaim, São Paulo (fonte: Vannucchi, 2014).



Figura 1.3: Exemplo de brises ripados deslizantes. Edifício Teená Três Figueiras, Porto Alegre (fonte: Casas, 2020).

1.2 RELEVÂNCIA DO ESTUDO

Apesar de todas as vantagens apresentadas pelos brises, tais elementos elevam o nível de complexidade do projeto de fachadas de edifícios, posto que introduzem modificações geométricas às suas seções transversais e conferem maior rugosidade às suas faces. Uma vez que edifícios altos são bastante sensíveis à sua forma geométrica (LI *et al.*, 2018), que o carregamento dominante nas fachadas é frequentemente representado pela ação do vento e que as normas vigentes apenas contemplam configurações de edifícios mais simplificadas (GEURTS; STAALDUINEN; WIT, 2004), verifica-se a relevância do desenvolvimento de estudos mais consistentes sobre a ação do vento em fachadas caracterizadas pela incorporação dos brises.

Ademais, segundo Geurts, Staalduinen e Wit (2004), a maioria dos danos decorrentes da ação do vento se sucede em fachadas e telhados. Seu colapso coloca em perigo as pessoas que transitam pelo entorno da estrutura, bem como as demais construções em sua proximidade, o que resulta em custos extras com seguros e outras precauções para garantir a segurança dos

transeuntes, usuários e do espaço público. Esse fato encarece o projeto e manutenção das fachadas, as quais chegam a representar cerca de 25% dos custos totais de uma edificação (OVEREND; ZAMMIT, 2006). Williams e Kareem (2003) ainda adicionam que todas essas questões, incluindo os custos de reposição dos elementos danificados, os danos provocados ao conteúdo interno e o tempo de inatividade dos espaços e negócios, sugerem um dilema urbano crescente, ao qual as comunidades de pesquisa e design devem dedicar mais atenção.

Estudos prévios demonstram que a interação entre o vento e a fachada do edifício pode ser significativamente modificada pela introdução de sacadas, marquises, sistemas de controle solar, fachadas duplas ventiladas, revestimentos porosos e outros tipos de elementos. A incorporação dessas estruturas é capaz de provocar alterações nas características do escoamento, na distribuição de pressões e no perfil de velocidade do vento que atinge as fachadas, podendo viabilizar, inclusive, padronização ou canalização do escoamento para diferentes regiões (LIGNAROLO; LELIEVELD; TEUFFEL, 2011).

Sabe-se também que os elementos componentes de alguns sistemas de controle solar são leves e flexíveis, o que os torna bastante suscetíveis aos efeitos da ação do vento (IRWIN; DENOON; SCOTT, 2013). Ademais, esses costumam ser instalados a uma certa distância da estrutura principal, região na qual a magnitude e direção do vento local podem variar muito no tempo e espaço (MANS; KOPP; SURRY, 2002). Diante dessas considerações, o comportamento de fachadas equipadas com esses elementos pode variar significativamente do esperado para o padrão genérico abordado pelas normas (MARUTA; KANDA; SATO, 1988).

Assim, diante da crescente utilização de sistemas de controle solar no cenário arquitetônico brasileiro, da falta de diretrizes para o seu projeto seguro, da escassez de estudos aerodinâmicos envolvendo-os e frente a preocupação com os recorrentes danos a elementos de fachada durante tempestades, a motivação desta pesquisa se insere. A partir da nova tendência de brises apresentada no subcapítulo anterior, o presente trabalho pretende contribuir com um maior entendimento sobre como esses elementos são solicitados e como afetam a distribuição de pressões externas induzidas pelo vento em fachadas de edifícios altos de seção transversal retangular. Para isso, propõe-se uma análise comparativa entre pressões locais nas superfícies de modelos rígidos destituídos desses elementos e outro com sua incorporação em diferentes combinações, a fim de simular a dinamicidade característica das fachadas. Tal avaliação foi possível a partir da análise experimental desses modelos no túnel de vento *Professor Joaquim*

Blessmann, do Laboratório de Aerodinâmica das Construções (LAC) da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS).

1.3 OBJETIVOS

Este trabalho possui como objetivos principais:

1. avaliar a influência de brises caracterizados por painéis deslizantes e articulados (*sliding & folding shutters*) na distribuição de pressões externas induzidas pela ação do vento nas fachadas de um edifício alto de seção transversal retangular;
2. determinar as pressões que incidem sobre esses elementos.

A partir disso, pretende-se promover um maior entendimento sobre como se dá a interação do vento com esses elementos, de modo a contribuir com informações complementares às normas vigentes envolvidas no projeto de fachadas, ABNT NBR 6123:1988 e ABNT 10821:1988, a fim de auxiliar projetistas na concepção mais segura e econômica de fachadas equipadas com brises.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

O presente capítulo possui por finalidade revisar aspectos e conceitos relevantes ao desenvolvimento deste trabalho. Inicialmente, serão abordadas as principais características do vento e de seu escoamento ao redor de prismas retangulares. Em seguida, será apresentado como se dá a interação do vento com fachadas de edifícios, em adição a uma breve descrição das diretrizes para seu projeto, disponibilizadas pelas normativas brasileiras. Por fim, serão expostos estudos aerodinâmicos referentes à influência de elementos de controle solar na distribuição de pressões devidas ao vento em fachadas de edifícios, a fim de introduzir a problemática do estudo.

2.1 CARACTERÍSTICAS DO VENTO NATURAL

O vento pode ser conceituado como uma movimentação do ar em relação à superfície terrestre, oriunda de diferenças de pressão, provocadas pelo aquecimento não uniforme do ar atmosférico pelo sol, e das forças de Coriolis, decorrentes da rotação da Terra (HOLMES, 2015). Para a aerodinâmica das construções, a porção de ar atmosférico de interesse é denominada Camada Limite Atmosférica (CLA) e um dos principais parâmetros avaliados para projetos é a sua velocidade média e as flutuações em torno desse valor, denominadas rajadas (BLESSMANN, 1995). Vista a importância desses aspectos, os itens subsequentes se dedicarão ao desenvolvimento de suas principais características.

2.1.1 Camada Limite Atmosférica (CLA)

A CLA consiste na porção de ar diretamente afetada pela superfície terrestre, na qual as características do vento são afetadas pela topografia, forma e rugosidade do terreno, bem como pela temperatura do ar (BLESSMANN, 1995). Assim, nessa região, o movimento do ar sofre os efeitos do atrito com a superfície do solo, o qual atua na direção oposta à do escoamento. Esses esforços de atrito se transmitem entre diferentes camadas, também originando tensões de cisalhamento (SOCKEL, 1994).

A espessura dessa camada corresponde à chamada altura gradiente, z_g , a qual varia de centenas de metros a poucos quilômetros (SIMIU; YEO, 2019). Para ventos fortes, essa dimensão fica condicionada ao *fetch*, distância a barlavento que o vento tem de percorrer sobre o terreno (LOREDO-SOUZA; SCHETTINI; PALUCH, 2004), além da altura, forma e densidade dos obstáculos no solo (GEURTS, 1997). Em seu interior, é caracterizada pela elevação da velocidade média com a altura, a qual parte de zero, na superfície, até a velocidade gradiente, na altura gradiente. Para qualquer velocidade está associado um elevado número de Reynolds, o que denuncia a sua natureza turbulenta. Inclusive, verifica-se que a turbulência se eleva à medida que a rugosidade da superfície aumenta, o que também reflete em uma altura gradiente superior (BLESSMANN, 1995).

A CLA pode ainda ser subdividida em outras duas camadas, com base no comportamento das tensões turbulentas ou de Reynolds, as quais comandam a transferência de quantidade de movimento em seu interior. A porção mais próxima da superfície recebe o nome de camada superficial, onde as tensões variam muito pouco e a produção de turbulência é alta. Sua espessura é denominada “deslocamento do plano-zero”, z_d , a qual corresponde à altura média dos obstáculos, ponto no qual as tensões assumem seu valor máximo. Já na camada subsequente, a camada de Ekman, há a presença das forças de pressão e de Coriolis e as tensões de Reynolds decrescem até atingirem um valor nulo na altura gradiente (LOREDO-SOUZA; SCHETTINI; PALUCH, 2004). A Figura 2.1 ilustra os detalhes referentes a composição da CLA.

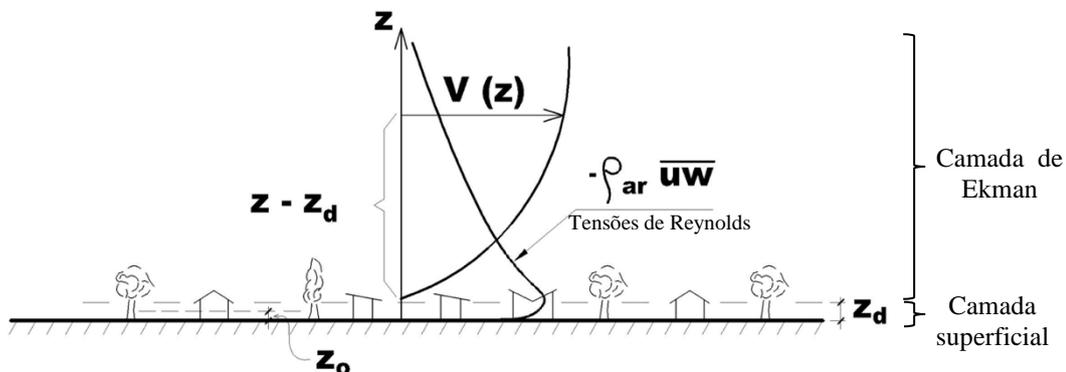


Figura 2.1: Desenho esquemático da Camada Limite Atmosférica (CLA) e seus perfis de velocidade e tensões de Reynolds (fonte: adaptado de Loredo-Souza; Schettini; Paluch, 2004).

2.1.2 Perfis de velocidade média

A velocidade do vento em um ponto no espaço é definida de acordo com três componentes ortogonais, os quais compõem um sistema de eixos 1, 2 e 3 que representam as velocidades instantâneas na direção do escoamento (eixo x), perpendicular a ela (eixo y) e na direção vertical (eixo z), respectivamente. Cada uma dessas velocidades instantâneas, por sua vez, resulta da soma de parcelas média e flutuante (GEURTS, 1997).

No interior da CLA, a variação da velocidade média com a altitude costuma ser expressa por meio de duas leis: uma potencial e outra logarítmica. A primeira, apesar de não possuir uma justificativa teórica, é amplamente utilizada e representa muito bem a camada, exceto na proximidade da superfície terrestre (LOREDO-SOUZA; SCHETTINI; PALUCH, 2004). Essa lei é dada pela Equação (2.1):

$$\frac{\bar{V}(z)}{\bar{V}(z_{ref})} = \left(\frac{z - z_d}{z_{ref}} \right)^p \quad (2.1)$$

na qual:

$\bar{V}(z)$ consiste na velocidade média do vento em uma altitude z ;

$\bar{V}(z_{ref})$ representa a velocidade média do vento em uma altura de referência z_{ref} ;

p é o expoente característico da lei potencial.

Conforme as disposições da NBR 6123 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1988, p. 3), a altura de referência é tomada como 10 metros acima do terreno. Já o expoente p é condicionado às características de rugosidade do terreno, categorizadas em cinco grupos pela norma, e ao intervalo de tempo considerado. Tipicamente, seus valores variam de 0,095 para superfícies lisas, a 0,31 para regiões urbanas caracterizadas por uma grande quantidade de edifícios altos. A Equação (2.1) é considerada válida para qualquer altitude dentro da camada de Ekman, possuindo o contraponto de não reconhecer a altura gradiente. Na Engenharia do Vento, é bastante utilizada para análises envolvendo edifícios, torres e linhas de transmissão (LOREDO-SOUZA; SCHETTINI; PALUCH, 2004).

Ao contrário da lei potencial, a lei logarítmica fornece uma boa caracterização da camada superficial, em detrimento da camada de Ekman. De acordo com Holmes (2015), é considerada a mais adequada para situações de ventos extremos, sendo representada pela Equação (2.2):

$$\bar{V}(z) = \frac{u_*}{\kappa} \ln\left(\frac{z - z_d}{z_0}\right) \quad (2.2)$$

na qual:

u_* consiste na velocidade de corte, de fricção ou de cisalhamento;

κ é a constante de von Kármán;

z_0 configura a altura média da rugosidade do terreno, denominada rugosidade aerodinâmica.

A velocidade de corte é definida a partir da tensão de cisalhamento média da superfície. Para terrenos rugosos, é determinada a partir das componentes flutuantes de velocidade nas direções x e y , além das características dos obstáculos. Já a constante de von Kármán é uma constante universal com o valor clássico de 0,4 (GEURTS, 1997). Por fim, a rugosidade aerodinâmica define a intersecção do perfil de velocidades médias com o plano de deslocamento zero (LOREDO-SOUZA; SCHETTINI; PALUCH, 2004). Apesar de suas vantagens, a lei limita a avaliação de altitudes abaixo de z_d , uma vez que a operação de um logaritmo de número negativo não é possível. Ademais, quando $z - z_d$ é inferior a z_0 , a equação resulta em uma velocidade de vento negativa (HOLMES, 2015). Diante dessas considerações, normalmente a lei potencial é preferível.

2.1.3 Turbulência

Como visto nos itens anteriores, a turbulência é outro fator importante para a caracterização do vento no interior da CLA. Essa propriedade representa flutuações tridimensionais e aleatórias de velocidade contidas no vento natural (BEARMAN; MOREL, 1983), oriundas de movimentos circulatorios da atmosfera e da rugosidade da superfície pela qual o vento escoar, sendo essa composta tanto por obstáculos naturais, como artificiais. Na interação do vento com esses corpos, parte da energia do escoamento se converte em turbilhões de diferentes dimensões, os quais dão origem a rajadas de intensidade e frequência aleatórias (BLESSMANN, 2011).

Apesar de boa parte da energia cinética ser dissipada devido ao atrito do vento com os obstáculos do terreno, ocorre uma transferência de parte da energia cinética dos turbilhões de maior para os de menor dimensão, em um processo cascata que culmina na dissipação dessa energia em calor, devido à viscosidade dinâmica. Turbilhões de dimensões suficientes para envolver toda a estrutura produzem forças de baixa frequência, as quais podem entrar em ressonância com a de estruturas esbeltas, resultando em deslocamentos horizontais superiores. Em contrapartida, turbilhões menores são capazes de originar rajadas concentradas e mais violentas. Assim, o conhecimento da turbulência é imprescindível para a avaliação da resposta dinâmica das estruturas e sua simulação em túnel de vento (BLESSMANN, 2011).

Na análise da turbulência, considera-se um vetor velocidade, $\underline{V}(\underline{r}, t)$, o qual é função da posição, \underline{r} e do tempo, t , com componentes nos três eixos retangulares. Esse vetor é composto pela soma de duas parcelas, uma média, $\bar{\underline{V}}(\underline{r})$, e outra flutuante, $\underline{v}(\underline{r}, t)$, conforme a Equação (2.3):

$$\underline{V}(\underline{r}, t) = \bar{\underline{V}}(\underline{r}) + \underline{v}(\underline{r}, t) \quad (2.3)$$

A caracterização da turbulência em um determinado ponto do escoamento é comumente realizada por meio de sua intensidade, $I_i(\underline{r})$, definida pelo quociente entre o desvio padrão de cada componente flutuante, $\sigma_i(\underline{r})$, e a velocidade média no ponto considerado (BLESSMANN, 2011). Essa operação resulta em um adimensional de energia cinética, descrito pela Equação (2.4).

$$I_i(\underline{r}) = \frac{\sigma_i(\underline{r})}{\bar{\underline{V}}(\underline{r})}, \quad i = 1,2,3 \quad (2.4)$$

Já o desvio padrão das flutuações de velocidade, estas representadas por v_i , são determinados por meio da Equação (2.5), na qual T representa o período de medição.

$$\sigma_i(\underline{r})^2 = \frac{1}{T} \int_0^T v_i^2(\underline{r}, t) dt, \quad i = 1,2,3 \quad (2.5)$$

Outra maneira de caracterizar a turbulência é por meio de espectros de potências, os quais ilustram a distribuição da energia cinética contida em cada componente das flutuações, em termos de frequências (BLESSMANN, 2011). Ademais, para avaliar as dimensões dos turbilhões presentes no escoamento, também são utilizadas escalas de turbulência, as quais representam o tamanho médio dos turbilhões de maior energia na direção considerada (BEARMAN; MOREL, 1983).

2.2 AERODINÂMICA DE PRISMAS RETANGULARES

Apesar da concepção de edificações em formatos cada vez mais variados e complexos, ainda se verifica a predominância de edifícios de planta retangular na vista dos pequenos e grandes centros urbanos, o que denota a relevância de seu estudo. Edificações dessa natureza são classificadas, dentro da aerodinâmica, como corpos rombudos angulosos de comprimento finito (WANG *et al.*, 2004).

À essa classe de elementos estão associados fenômenos de estagnação, separação e recirculação do escoamento, além do desenvolvimento de camadas de cisalhamento e do desprendimento de vórtices (JOUBERT; HARMS; VENTER, 2015). Diante da complexidade desses eventos, esta seção pretende discorrer sobre suas características e demais conceitos envolvidos na interação do vento com essas estruturas.

2.2.1 Principais características do escoamento

Dentre as propriedades envolvidas no estudo dos fluidos, a viscosidade é a que rege a sua velocidade de deformação. Quanto mais viscoso o fluido, mais lentamente ocorre esse processo (BLESSMANN, 2011). Para o ar, em condições normais de temperatura e pressão atmosférica, a viscosidade assume um valor relativamente pequeno, de modo que seus efeitos podem ser desprezados. Todavia, para uma fina camada que circunda um sólido imerso no escoamento, essa simplificação não é possível. Isso porque a porção de ar imediatamente em contato com a superfície desse sólido adere a ele, originando forças de atrito que provocam a desaceleração do movimento em sua proximidade. Assim, dentro dessa camada, cujos efeitos da viscosidade não podem ser desprezados, a velocidade do ar parte de um valor nulo, no contato com a superfície, até atingir a magnitude correspondente ao escoamento adjacente (SIMIU; YEO, 2019). À esta fina camada, Prandtl deu o nome de camada limite (BLESSMANN, 2011).

Além da viscosidade do fluido e da rugosidade superficial do corpo imerso no escoamento, a espessura da camada limite depende de um conjunto de parâmetros, os quais se encontram relacionados por meio de um adimensional, o número de Reynolds, Re . Este expressa a razão entre as forças inerciais, que agem de modo a amplificar as perturbações do escoamento, e as forças viscosas, que tendem a amortecê-las (AYNSLEY, 1999). A simplificação dessa relação é representada pela Equação (2.6):

$$Re = \frac{V l_1}{\nu} \quad (2.6)$$

na qual:

V é a velocidade do escoamento no ponto considerado;

l_1 consiste na dimensão do corpo normal ao escoamento, conforme a nomenclatura utilizada pela ABNT NBR 6123:1988;

ν expressa a viscosidade cinemática do fluido.

A partir da Equação (2.6), observa-se que, para valores baixos de Re , tem-se a predominância das forças de viscosidade. Esse fato configura uma situação de escoamento laminar, caracterizada pela presença de forças de cisalhamento entre camadas adjacentes do fluido, as quais se movem com diferentes velocidades. Já para valores elevados de Re , há a dominância das forças de inércia, exercidas pelo movimento das partículas e pelo momento gerado através do desprendimento de vórtices, caracterizando um escoamento turbulento, que é o de maior interesse para o estudo da ação do vento em edifícios altos (AYNSLEY, 1999). É importante ressaltar que, ao contrário do que se verifica para os corpos arredondados, o número de Reynolds influi muito pouco ou até mesmo não representa influência sobre o escoamento em torno de corpos rombudos angulosos, a não ser para valores muito pequenos (BLESSMANN, 2011).

Entre esses dois extremos, há uma zona de transição instável, na qual variações de velocidade se intensificam para sotavento, até que a turbulência se desenvolva completamente. Nessa região, verifica-se um aumento da espessura da camada limite, que se prolonga na mesma direção. Ademais, em uma porção ainda mais fina, em contato direto com o corpo, há uma camada que se mantém em regime laminar ao longo de todo o escoamento, na qual não há

desenvolvimento de turbulência, em virtude da presença de elevadas tensões tangenciais, a qual recebe o nome de subcamada laminar (BLESSMANN, 2011). Uma representação dessas regiões pode ser visualizada na Figura 2.2.

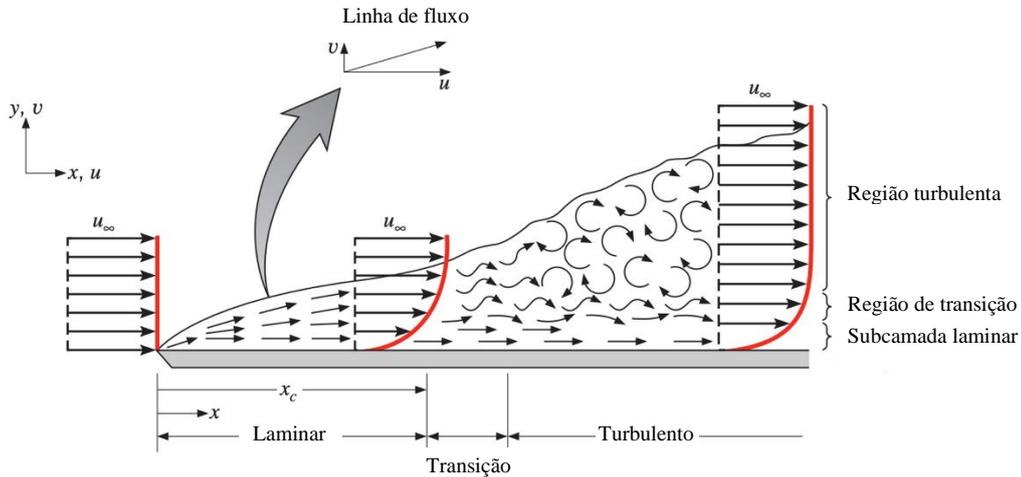


Figura 2.2: Desenvolvimento da velocidade na camada limite de uma placa plana (fonte: Bergman *et al.*, 2011).

A viscosidade e as características da camada limite são essenciais para a compreensão do fenômeno de separação do escoamento e os que o sucedem. Nos pontos aonde o fluido atinge perpendicularmente o elemento, sua velocidade é anulada, constituindo os chamados pontos de estagnação (BLESSMANN, 2011). Já o fenômeno de separação é oriundo da desaceleração da camada limite, quando a energia cinética de suas partículas é insuficiente para vencer o aumento das pressões no sentido do escoamento, o que dá origem a gradientes de pressão adversos e, consequentemente, a forças de oposição ao movimento dessas partículas (SIMIU; YEO, 2019).

A combinação de baixas velocidades próximas a superfície do corpo à desaceleração progressiva para sotavento conduz a um ponto em que a velocidade se anula, denominado ponto de separação ou descolamento. Esse ponto está condicionado a parâmetros como a forma e a rugosidade do elemento, bem como a velocidade e a turbulência do escoamento. Uma vez que prismas retangulares são dotados de arestas vivas, a identificação desse ponto é facilitada, consistindo em uma ou algumas de suas arestas, dependendo de sua posição em relação ao escoamento (BLESSMANN, 2011). A Figura 2.3 ilustra a localização desses pontos, bem como as demais características envolvidas no escoamento perpendicular a uma das faces de um prisma de seção transversal retangular.

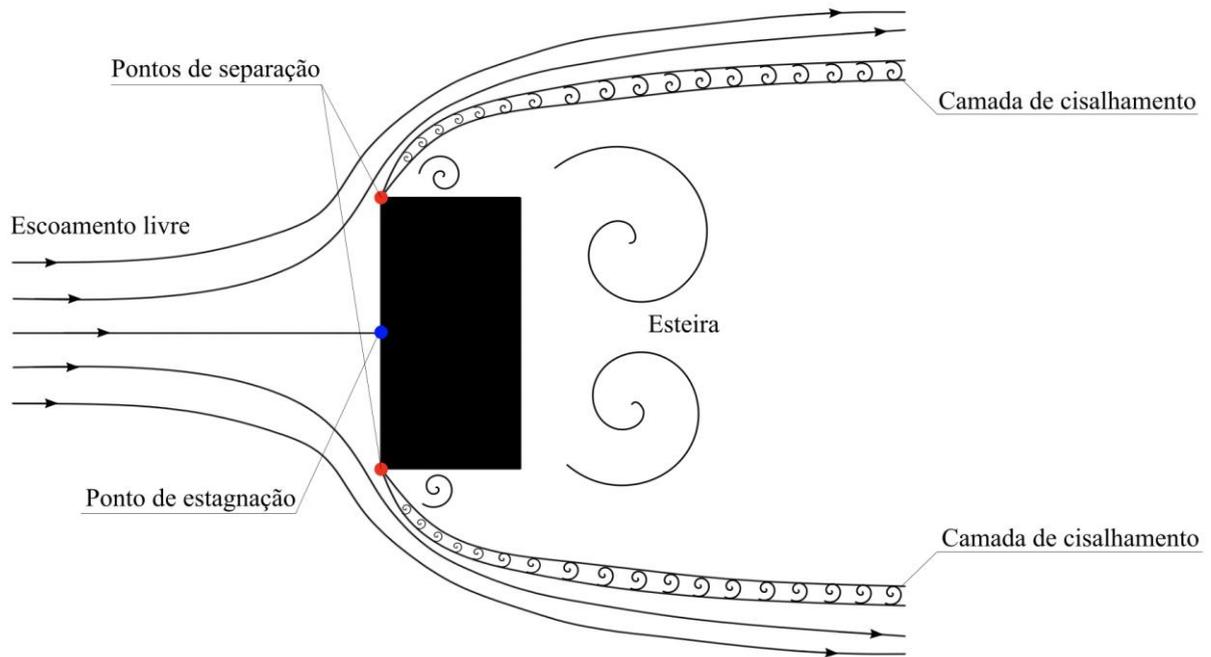


Figura 2.3: Características do escoamento ao redor de um prisma retangular (fonte: autora, com base em Aynsley, 1999).

A partir do ponto de descolamento, o movimento próximo a superfície do corpo inverte o seu sentido, sendo separado do escoamento externo por uma região fina e instável, caracterizada por elevado cisalhamento e vorticidade, conhecida como camada de cisalhamento livre (HOLMES, 2015). Já a região que abriga o escoamento reverso, confinada entre o corpo e as camadas de cisalhamento, é denominada esteira. Esta consiste em uma zona turbilhonar, na qual há o despreendimento de vórtices de tamanhos e velocidades variáveis, os quais são arrastados no sentido do fluxo e substituídos progressivamente. Uma vez que a separação geralmente se dá em zonas de baixas pressões, têm-se pressões negativas nessa região (BLESSMANN, 2011). Inclusive, sua vorticidade é responsável por elevadas sucções na proximidade dos pontos de separação (SIMIU; YEO, 2019).

A forma da esteira e dos vórtices depende de parâmetros como o número de Reynolds, das dimensões e do formato do corpo. Para corpos rombudos angulosos, essa região normalmente assume largura e turbulência mais acentuadas em relação aos corpos arredondados (BLESSMANN, 2011). Já o despreendimento de vórtices na esteira está intimamente relacionado à interação entre as camadas de cisalhamento, sendo o corpo rombudo um agente de modificação nesse processo (BEARMAN, 1984).

Quanto mais profundos forem os prismas retangulares, maior a possibilidade de ocorrência do fenômeno de recolamento do escoamento, quando as camadas de cisalhamento atingem mais uma vez a superfície do sólido. Essas camadas, por não estarem completamente estabilizadas, podem provocar o desprendimento de vórtices, que acabam rolando ao longo de suas superfícies laterais (HOLMES, 2015). A Figura 2.4 demonstra o aspecto do escoamento para prismas de diferentes relações l_2/l_1 , também denominadas *side ratios*, sendo l_2 a dimensão da base na direção da ação do vento e l_1 transversal à primeira.

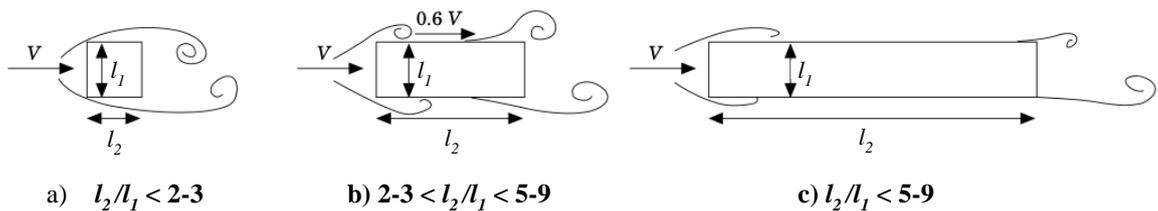


Figura 2.4: Características do escoamento ao redor de prismas bidimensionais de seção retangular, considerando diferentes *side ratios*, l_2/l_1 (fonte: adaptado de Deniz; Staubli, 1997).

Em sua pesquisa, Deniz e Staubli (1997) apresentaram resultados de diversos autores que relacionaram o efeito da razão l_2/l_1 de prismas retangulares bidimensionais à frequência e caracterização do processo de desprendimento de vórtices. Seguindo a ordem dos esquemas abordados na Figura 2.4, verifica-se que para a situação (a), o desprendimento de vórtices ocorre a partir das bordas de ataque, sem ocorrência de colisão com as paredes laterais. Já para a situação (b), os vórtices, destacados nos mesmos pontos da situação anterior, colidem com as paredes laterais e/ou bordas do prisma, não necessariamente ocorrendo o fenômeno de recolamento. Finalmente, para o caso (c), esse fenômeno se verifica, ocorrendo a predominância do desprendimento de vórtices a partir das bordas de fuga.

Ao analisar o escoamento turbulento ao redor de prismas de base quadrada e comprimento finito, Wang *et al.* (2004) apresentou um esquema conceitual, identificando quatro tipos de vórtices envolvidos nesse processo: vórtices de base, vórtices ferradura, vórtices verticais e periódicos desenvolvidos ao longo das paredes laterais e um par de vórtices de topo. O esquema se encontra representado na Figura 2.5 e, apesar de suas especificidades, fornece uma visão geral satisfatória do que se espera para o escoamento ao redor de prismas retangulares em geral (JOUBERT; HARMS; VENTER, 2015).

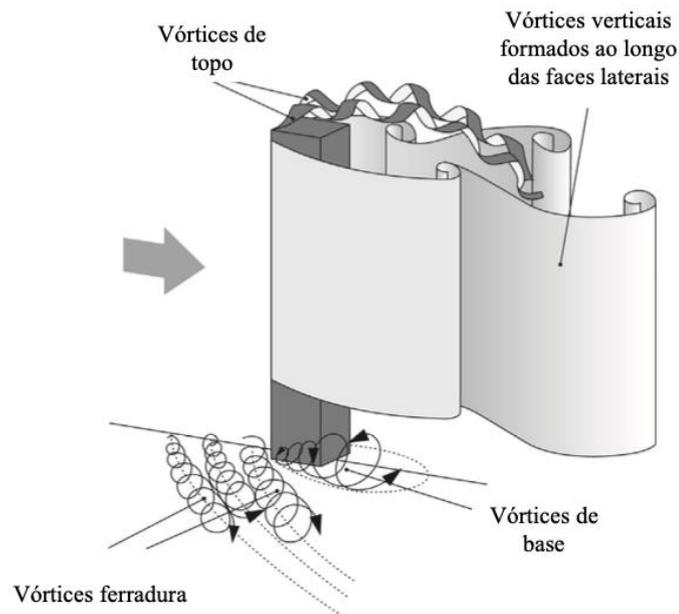


Figura 2.5: Vórtices envolvidos no escoamento ao redor de um prisma de base quadrada e comprimento finito (fonte: adaptado de Uffinger; Ali; Becker, 2013, com base em Wang *et al.*, 2004).

De acordo com Bourgeois, Sattari e Martinuzzi (2011), o vórtice ferradura, que se estende ao redor da base frontal do prisma, normalmente pouco interfere no escoamento. Já os vórtices de base exercem maior influência na porção inicial da esteira, atingindo maior intensidade na profundidade do prisma, diminuindo de tamanho e força para sotavento, ao passo que os vórtices de topo se tornam maiores e mais fortes nessa direção (WANG *et al.*, 2004). Por fim, os vórtices periódicos que se desenvolvem na altura média das faces laterais, onde a influência dos vórtices de base e topo é fraca, são comparáveis aos vórtices de Kármán observados em prismas de comprimento infinito (WANG; ZHOU, 2009).

Os conhecidos vórtices de Kármán ocorrem na porção inicial da esteira e consistem em um par de vórtices que se desenvolve nas laterais do corpo, de maneira alternada e ordenada, com uma frequência bem definida. À medida que o número de Reynolds aumenta, perdem a sua periodicidade e essa nomenclatura, tornando-se irregulares até finalmente desaparecerem em virtude dos efeitos da viscosidade. Esse tipo de vórtice é responsável pelo surgimento de forças alternadas e periódicas, as quais, na direção do vento, ocorrem na mesma frequência do desprendimento individual dos vórtices, enquanto na direção transversal, seguem a frequência do par de vórtices gerado (BLESSMANN, 2011).

Tais forças induzem oscilações no prisma, na direção em que atuam, sendo a mais importante na direção transversal à ação do vento. Nessa direção, o desprendimento alternado de vórtices induz uma variação quase harmônica da força, a qual pode entrar em ressonância com a frequência natural do corpo, potencializando as oscilações. A frequência de desprendimento de vórtices, f_s , é proporcional à velocidade do fluxo que atinge o corpo, V , e inversamente proporcional a sua dimensão na direção transversal ao escoamento, l_1 . Essa relação pode ser expressa pelo adimensional retratado na Equação (2.7), denominado número de Strouhal, S_t , (HOLMES, 2015).

$$S_t = \frac{f_s l_1}{V} \quad (2.7)$$

Além da razão l_2/l_1 , as características da esteira também são influenciadas pelo chamado *aspect ratio*, AR , o qual consiste na razão entre a altura do prisma, h , e sua largura característica, l_1 . A partir de estudos envolvendo diferentes valores desse parâmetro, verificou-se a existência de uma razão crítica para a qual as características da esteira se modificam completamente. Para elementos com um AR acima do valor crítico, a esteira assume a configuração já vista na Figura 2.5, no qual ocorre o desprendimento dos pares de vórtices antissimétricos de Kármán, exceto na proximidade com as extremidades. Já para elementos com AR inferior ao valor crítico, a esteira é caracterizada pela ocorrência de vórtices do tipo arco simétrico, como pode ser visualizado na Figura 2.6. Essa tendência foi inicialmente observada por Sakamoto e Arie (1983) e endossada posteriormente por outros autores, incluindo Wang e Zhu (2009).

A configuração apresentada na Figura 2.6 ilustra a conexão entre vórtices de topo, base e laterais, de modo a formarem um elemento único. De acordo com McClean e Sumner (2014), a maior diferença da configuração da Figura 2.6, em relação à da Figura 2.5, consiste na substituição dos vórtices de Kármán pelo desprendimento simétrico de vórtices em forma de arco, os quais têm origem nas camadas de cisalhamento formadas na separação do escoamento nas arestas laterais e de topo. Os autores também ressaltam que, até a conclusão de sua pesquisa, não havia clareza em relação a como ocorre essa transição, nem uma definição precisa a respeito do valor crítico de AR . Todavia, estudos prévios demonstram que esse valor pode se situar entre 0,5 e 8,0.

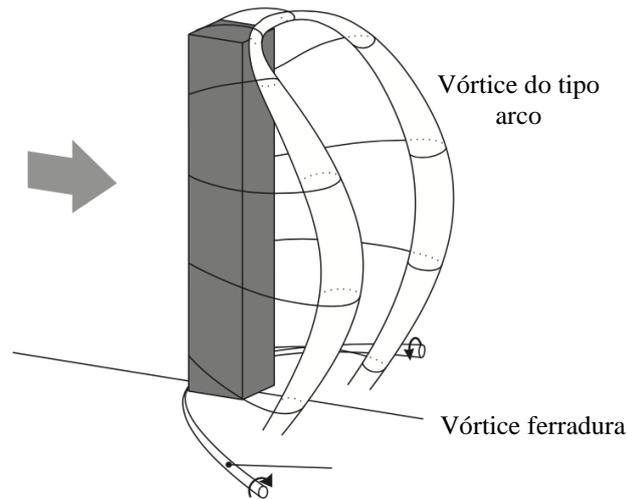


Figura 2.6: Vórtice do tipo arco (fonte: adaptado de Uffinger; Ali; Becker, 2013).

2.2.2 Distribuição de pressões externas

A região turbulenta da esteira é responsável por introduzir modificações na forma do escoamento e, conseqüentemente, na sua distribuição de pressões, especialmente em relação às parcelas flutuantes, as quais variam significativamente com o tempo e o ponto observado. A análise de pressões no escoamento é feita com base no Teorema de Bernoulli, válido para o escoamento permanente e irrotacional de um fluido incompressível e de viscosidade desprezível (BLESSMANN, 2011). O Teorema se encontra descrito na Equação (2.8):

$$\frac{1}{2}\rho V^2 + p + \rho g z = \text{constante} \quad (2.8)$$

na qual:

ρ representa a massa específica do fluido;

p expressa a pressão estática no ponto considerado;

g é a aceleração da gravidade.

Uma vez que a energia potencial ao longo de uma linha de fluxo não sofre mudanças significativas, pode-se desprezar a terceira parcela do teorema, resumindo-o na Equação (2.9). Assim, tem-se a constante igual à soma da pressão dinâmica agindo na direção do fluxo,

representada pela primeira parcela da equação, e da pressão estática, a qual age igualmente em todas as direções (AYNSLEY, 1999).

$$\frac{1}{2}\rho V^2 + p = \text{constante} \quad (2.9)$$

De acordo com a ABNT NBR 6123:1988, a pressão dinâmica é determinada conforme uma velocidade característica, V_k . Esta parte de um valor de velocidade básica, V_0 , fornecido por um mapa de isopletas, multiplicado por fatores que contabilizam os efeitos dos seguintes parâmetros: variações no relevo do terreno no qual o edifício está inserido (S_1); rugosidade do terreno e o efeito das dimensões da edificação e sua altura sobre o terreno (S_2); e a probabilidade de a velocidade básica do vento ser excedida durante sua vida útil (S_3). Assim, essa parcela pode ser definida conforme a Equação (2.10), já feita a substituição da massa específica do ar ($\rho_{ar} = 1,225 \text{ N/m}^2$).

$$q = 0,613V_k^2 \quad (2.10)$$

Vale ressaltar que a Equação (2.9) não é considerada válida na região da esteira, uma vez que não há formação de linhas de corrente em meio a grande turbulência. Todavia, a pressão média nessa região é influenciada pela velocidade média ao longo da linha de separação do escoamento. Ademais, é importante destacar que essa equação não leva em consideração os efeitos da viscosidade do fluido. Assim, para a avaliação do escoamento na proximidade de pequenos elementos presentes na superfície de um edifício, é importante atentar para tais efeitos (AYNSLEY, 1999).

As pressões na superfície externa de um corpo costumam ser expressas por meio de um coeficiente de pressão adimensional c_{pe} (Equação (2.11)), o qual consiste na razão entre a pressão efetiva externa, Δp_e , e a pressão dinâmica. A pressão efetiva é dada pela diferença de pressão estática em um ponto da superfície do elemento, p , e uma pressão estática de referência, no fluxo não perturbado, p_0 (BLESSMANN, 2011). As mesmas considerações são feitas para pressões internas, as quais são relevantes para o dimensionamento de revestimentos de fachadas, como será visto em maiores detalhes no subcapítulo 2.3.

$$c_{pe} = \frac{p - p_0}{q} \quad (2.11)$$

Quando a velocidade do escoamento é nula, como ocorre no ponto de estagnação, tem-se máxima pressão positiva (sobrepessão). Já quando a velocidade do escoamento é superior à de referência, relativa ao escoamento não perturbado, têm-se pressões negativas (sucções), as quais podem superar significativamente a magnitude da máxima pressão positiva (HOLMES, 2015). Quando as velocidades se igualam, a pressão estática no ponto considerado assume o mesmo valor da correspondente ao escoamento livre, resultando em uma pressão efetiva e coeficiente nulos (BLESSMANN, 2011).

No presente trabalho, a distribuição de pressões na superfície do modelo é avaliada experimentalmente em túnel de vento por meio de valores médio, máximo, mínimo e flutuante (desvio padrão em relação à média), para diferentes ângulos de incidência do vento, α , também denominados azimutes. As Equações (2.12), (2.13), (2.14), (2.15) apresentam os respectivos coeficientes \bar{c}_p , \hat{c}_p , \check{c}_p e \tilde{c}_p .

$$\bar{c}_p = \frac{1}{T} \int_0^T p(t) dt \quad (2.12)$$

$$\hat{c}_p = \frac{p_{max}}{q} \quad (2.13)$$

$$\check{c}_p = \frac{p_{min}}{q} \quad (2.14)$$

$$\tilde{c}_p = \sigma_{c_p} = \frac{\sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T (p(t) - \bar{p})^2 dt}}{q} \quad (2.15)$$

nas quais:

$p(t)$ é a pressão superficial instantânea medida em relação a uma pressão estática de referência; \bar{p} , p_{max} e p_{min} consistem nos valores médio, máximo e mínimo de $p(t)$ para o período de amostragem T , sendo que os valores de pico utilizados não sofreram tratamento estatístico, sendo condicionados ao tempo de registro utilizado;

σ_{c_p} representa o valor r.m.s. de $p(t)$ para o período de amostragem T . É importante destacar que as flutuações de pressão avaliadas no presente trabalho se referem ao desvio padrão em relação às pressões médias, sendo usual na Engenharia do Vento a sua associação à nomenclatura r.m.s.

Irwin, Denoon e Scott (2013) ressaltam a complexidade da caracterização das pressões atuantes em edifícios altos, uma vez que flutuam tanto devido a turbulência do escoamento que o atinge, quanto em virtude da própria turbulência característica do corpo. Assim, as pressões em sua superfície externa dependem de sua própria forma, dimensões e rugosidade de suas faces, bem como das características do escoamento a montante e da sua interação com a vizinhança (GEURTS, 1997).

Holmes (2015) apresenta uma descrição geral e simplificada do que ocorre em cada uma das faces de edificações altas de base retangular submetidas a ação do vento. Segundo o autor, a face de barlavento é caracterizada por sobrepressões e pela ocorrência de um forte fluxo descendente a uma altura entre $0,7h$ e $0,8h$. Já as faces laterais são subjugadas por fortes sucções, especialmente para ventos paralelos às suas superfícies. Por fim, a face de sotavento também sofre pressões negativas, porém com parcelas médias de magnitude inferior e pequenas parcelas flutuantes. Já as pressões de pico possuem tipicamente metade da magnitude das pressões que ocorrem nas faces laterais, uma vez que a face de sotavento recebe maior proteção, sendo exposta a ventos de menor velocidade.

2.2.3 Forças aerodinâmicas

A resultante das forças devidas ao vento sobre um prisma retangular é denominada força global, F_g , a qual consiste na soma vetorial de duas componentes: uma horizontal, F_h , e outra vertical, F_s , também chamada de força de sustentação. A primeira componente pode ser decomposta de acordo com dois critérios, sendo o primeiro conforme os eixos x e y . O segundo critério consiste na sua decomposição em uma componente na direção do vento (*along-wind*), denominada força de arrasto, F_a , e outra perpendicular a esta (*cross-wind*), a qual recebe o nome de força lateral, F_l (BLESSMANN, 2011). A orientação dessas componentes pode ser visualizada no desenho esquemático da Figura 2.7.

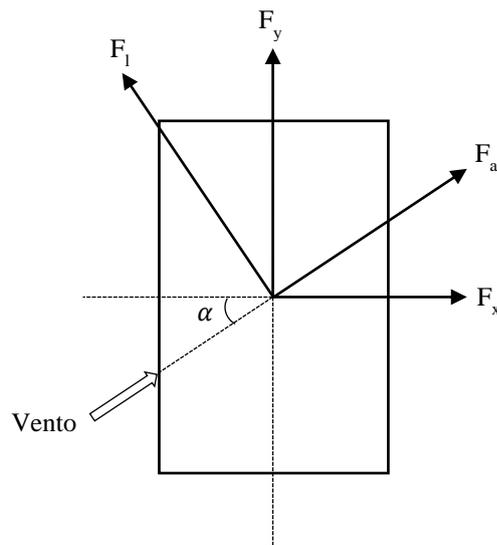


Figura 2.7: Orientação das componentes da força horizontal (fonte: autora, com base em Holmes, 2015).

As forças aerodinâmicas costumam ser expressas por meio de coeficientes adimensionais, seguindo o formato da Equação (2.16), na qual A expressa uma área de referência, específica de cada caso de análise. Quando o coeficiente se refere à resultante de pressões sobre uma superfície plana, isto é, uma força perpendicular a ela, recebe o nome de coeficiente de forma e quando é relativo às componentes da força global, é denominado coeficiente de força. Uma maneira de obter as forças aerodinâmicas é através da integração dos coeficientes de pressão, conforme a Equação (2.17) (BLESSMANN, 2011).

$$C = \frac{F}{q A} \quad (2.16)$$

$$F = \int_A c_p q dA \quad (2.17)$$

Assim como as pressões, forças e momentos oriundos da ação do vento são dependentes das características do escoamento a barlavento da estrutura, da rugosidade do terreno na qual ela está inserida, da configuração de sua vizinhança, de suas dimensões e do ângulo de incidência do vento (KO; YOU; KIM, 2005). Posto que a análise de forças aerodinâmicas não faz parte do escopo deste trabalho, limita-se o seu desenvolvimento a este ponto.

2.3 AÇÃO DO VENTO EM FACHADAS

Além das exigências arquitetônicas, funcionais e energéticas expostas no primeiro capítulo, as fachadas devem atender a requisitos estruturais. Dessa forma, devem ser dimensionadas para resistir a solicitações impostas pelo peso próprio, por ações ambientais (vento e efeitos térmicos), naturais (eventos sísmicos) e também ocasionadas pelo homem, sem apresentar deformações excessivas ou provocar acidentes (BEDON *et al.*, 2019). Dentre as cargas supracitadas, a principal é frequentemente representada pela ação do vento (GIACHETTI; BARTOLI; MANNINI, 2019). Assim, uma vez que a fachada dos edifícios sofre os primeiros impactos provenientes dessa ação, verifica-se a importância da previsão adequada dos carregamentos incidentes sobre ela.

A ação do vento em fachadas e seus elementos costuma ser caracterizada por meio de coeficientes de pressão local (DAVENPORT; ISYUMOV, 1967). Medidos em pequenas áreas, esses coeficientes são altamente influenciados pela turbulência do escoamento e por fenômenos locais, especialmente pelo desprendimento de vórtices, os quais incitam elevadas sucções externas principalmente na proximidade das bordas do edifício (IRWIN; DENOON; SCOTT, 2013).

As pressões locais em fachadas podem ser previstas de três formas: por meio de normas de dimensionamento, ensaios em túnel de vento e por análise numérica através de recursos da Dinâmica dos Fluidos Computacional. A aplicabilidade da primeira abordagem fica restrita às configurações simplificadas retratadas pelas normas, as quais incluem edifícios de seção transversal retangular, de fachada lisa e impermeável. Para configurações diferenciadas, torna-se necessária a utilização de alguma das duas últimas abordagens, a fim de determinar as pressões com maior precisão (GEURTS; STAALDUINEN; WIT, 2004).

Em túnel de vento, abordagem utilizada para a presente pesquisa, tomadas de pressão, distribuídas em diversos pontos de um modelo em escala reduzida, medem pressões que flutuam rapidamente no tempo. Por meio da repetição dessas medições, para diversos ângulos de incidência do vento, procura-se estimar as pressões médias, desvios padrão e os valores de pico positivos e negativos nas regiões de interesse. De acordo com Maruta, Kanda e Sato (1998), são as pressões de pico instantâneas que melhor caracterizam a ação do vento nos componentes das fachadas, posto que, em um intervalo típico de uma hora, podem assumir valores muito superiores aos das pressões médias verificadas nesse mesmo período.

No túnel de vento *Professor Joaquim Blessmann*, no qual foram conduzidos os procedimentos experimentais da presente pesquisa, duas abordagens são utilizadas para a determinação das pressões locais em fachadas. A primeira consiste no produto da pressão dinâmica média, referente a um intervalo de tempo de uma hora, q_{1h} , e de coeficientes de pressão de pico, sejam estes provenientes das medições experimentais, \hat{c}_p e \check{c}_p , ou oriundos da soma, ou subtração, das parcelas média e flutuante de pressão, sendo a última multiplicada por um fator de pico, g , representativo de valores experimentais conservadores ou relativo a propriedades da resistência do material. No túnel de vento em questão, tal fator é tomado como 3,50, valor fundamentado em um longo histórico de projetos realizados.

Já a segunda abordagem se fundamenta no produto da pressão dinâmica de pico, referente a um intervalo de tempo de três segundos, q_{3s} , e do coeficiente de pressão média. As pressões de projeto, p_p , respectivas de cada uma das abordagens, podem ser visualizadas na Equações (2.18), (2.19), (2.20), (2.21) e (2.22). Dentre os cinco valores obtidos através das equações descritas, selecionam-se os piores casos, máximo e mínimo, referentes a cada tomada de pressão, para a construção das envoltórias de pressão das fachadas de um edifício.

$$p_p = q_{1h} \hat{c}_p \quad (2.18)$$

$$p_p = q_{1h} \check{c}_p \quad (2.19)$$

$$p_p = q_{1h} (\bar{c}_p + \sigma_{c_p} g) \quad (2.20)$$

$$p_p = q_{1h} (\bar{c}_p - \sigma_{c_p} g) \quad (2.21)$$

$$p_p = q_{3s} \bar{c}_p \quad (2.22)$$

Para o design de vidros e elementos de revestimento, requer-se também estimativas de pressões internas, uma vez que tais componentes respondem à pressão efetiva entre suas superfícies interna e externa. As pressões internas sofrem a influência de fatores incertos como caminhos de permeabilidade através da fachada e aberturas, além da própria influência das pressões externas nesses pontos, bem como de quaisquer pressões adicionais, como as oriundas de sistemas de climatização artificial. Sua determinação é feita com base em estimativas

disponibilizadas por normas de dimensionamento ou a partir da integração de pressões externas nesses pontos (IRWIN; DENOON; SCOTT, 2013).

É importante também ressaltar que, além de serem determinantes para o projeto das fachadas de edificações, elevados picos de sucção são responsáveis pela maior parte dos danos envolvendo seus elementos (KO; YOU; KIM, 2005), especialmente quando estes são leves e flexíveis. Williams e Kareem (2003), ao analisarem a performance de revestimentos de fachadas submetidos a eventos extremos ocorridos na América do Norte, incluindo furacões e tornados, concluíram que, além da performance dos materiais e do impacto de detritos carregados pelo vento, as falhas ocorrem por má fixação dos elementos à estrutura principal, projeto impróprio, subestimação das pressões superficiais, além de variações nas pressões internas e canalização do ar. Os autores ainda finalizam declarando que os níveis atuais de danos aos revestimentos e suas perdas associadas são inaceitáveis.

Diante dessas considerações, verifica-se a importância de se atentar ao projeto de elementos de fachadas, incluindo a devida previsão das pressões que incidem sobre eles, a fim de se obter um resultado seguro e econômico. Antes de passar para o âmbito experimental, verifica-se a necessidade de avaliar como as normas orientam projetistas para a consideração das pressões locais induzidas pelo vento em fachadas. No Brasil, as principais normas que dispõem essas diretrizes são a ABNT NBR 10821: *Esquadrias para edificações* e a ABNT NBR 6123: *Forças devidas ao vento em edificações*. Para maior compreensão de suas aplicações ao projeto e dimensionamento de fachadas, o item subsequente se dedicará a apresentação de suas especificações mais importantes, em conjunto com disposições da ABNT NBR 7199: *Vidros na construção civil – Projeto, execução aplicações*, dada a ampla utilização de fachadas envidraçadas no país.

2.3.1 Considerações das normas brasileiras

2.3.1.1 ABNT NBR 10821

A ABNT NBR 10821 engloba a classificação de diversos tipos de esquadrias, disponibilizando métodos de ensaio, condições de instalação e manutenção, além de outras considerações, a fim de garantir o bom desempenho desses elementos em sua incorporação às edificações. A versão vigente, publicada no ano de 2017, encontra-se subdividida em 5 partes.

A mais relevante ao escopo do presente estudo consiste na Parte 2. Em seu sexto capítulo, esta disponibiliza as pressões de vento que devem ser utilizadas em seus métodos de ensaio, considerando esquadrias instaladas na posição vertical em edifícios residenciais ou comerciais. Essas pressões são determinadas de acordo com o número de pavimentos e a altura máxima da edificação, além da região do país na qual se situa. As pressões de ensaio a serem adotadas são fornecidas pelo quadro da Figura 2.8 e a subdivisão das regiões é feita de acordo com a Figura 2.9, a qual consiste em uma adaptação do mapa de isopletas da velocidade básica do vento fornecida pela ABNT NBR 6123:1988. As instruções indicam que o valor referente ao último pavimento de colocação das esquadrias seja replicado para todos os demais.

Quantidade de pavimentos	Altura máxima	Região do país	Pressão de ensaio (P_e) positiva e negativa $P_e = P_p \times 1,2$	Pressão de segurança (P_s) positiva e negativa $P_s = P_e \times 1,5$	Pressão de água (P_a) $P_a = P_p \times 0,20$
02	6 m	I	350	520	60
		II	470	700	80
		III	610	920	100
		IV	770	1 160	130
		V	950	1 430	160
05	15 m	I	420	640	70
		II	580	860	100
		III	750	1 130	130
		IV	950	1 430	160
		V	1 180	1 760	200
10	30 m	I	500	750	80
		II	680	1 030	110
		III	890	1 340	150
		IV	1 130	1 700	190
		V	1 400	2 090	230
20	60 m	I	600	900	100
		II	815	1 220	140
		III	1 060	1 600	180
		IV	1 350	2 020	220
		V	1 660	2 500	280
30	90 m	I	660	980	110
		II	890	1 340	150
		III	1 170	1 750	200
		IV	1 480	2 210	250
		V	1 820	2 730	300

Figura 2.8: Valores de pressão de vento (Pa) de acordo com a região do país e o número de pavimentos da edificação (fonte: Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2017, Tabela 1, p. 9).

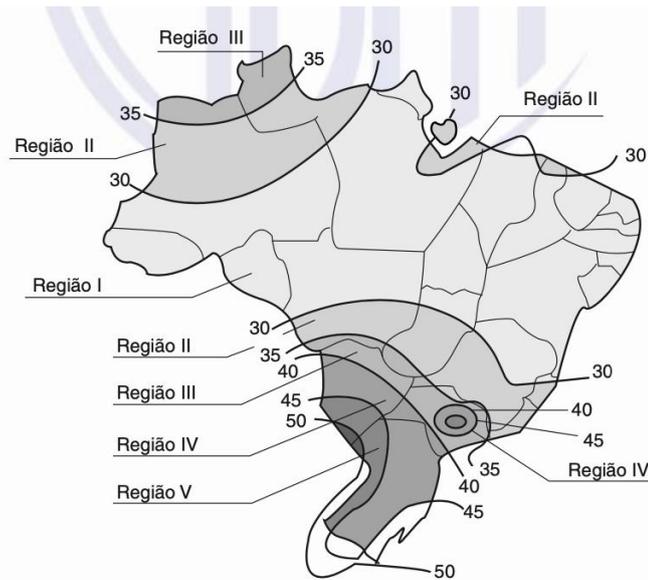


Figura 2.9: Mapa de isopletas da velocidade básica do vento, V_0 (m/s), no Brasil, conforme a ABNT NBR 6123 (fonte: Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2017, Figura 4, p. 8).

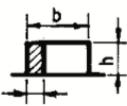
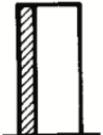
Para situações que divergem das especificidades apresentadas, tais como esquadrias instaladas em posições diferentes da vertical, edifícios de forma não retangular ou que possuam características especiais de utilização, a norma prescreve a consulta à ABNT NBR 6123:1988 para a obtenção da pressão de projeto, ou pressão dinâmica, P_p , e para o cálculo da pressão de ensaio, P_e . Já as pressões de segurança, P_s , e de estanqueidade à água, P_a , devem respeitar os valores mínimos impostos pelo quadro retratado na Figura 2.8. Para edifícios ensaiados em túnel de vento, a pressão resultante deve ser tomada como a pressão de segurança e as demais determinadas a partir dela, conforme as equações indicadas no quadro, novamente prevalecendo os valores mínimos prescritos.

As pressões anteriormente mencionadas são aplicadas nos métodos de ensaio propostos pela norma, com o intuito de avaliar parâmetros influentes em seu desempenho. Por não impactarem diretamente o desenvolvimento deste trabalho, não serão desenvolvidos. Maiores informações podem ser obtidas na Parte 3 da norma.

2.3.1.2 ABNT NBR 6123

As disposições gerais para a ação do vento em edificações são fornecidas pela ABNT NBR 6123, a qual se encontra atualmente em processo de revisão. Para a caracterização da distribuição de pressões nas superfícies externas de edificações, sua última versão, de 1988, disponibiliza coeficientes de pressão, c_{pe} , e forma, C_e , externos, para diversas configurações,

considerando ângulos de incidência do vento de 0° e 90°. Para fachadas de edifícios de planta retangular, tais coeficientes são definidos conforme as disposições apresentadas na Figura 2.10.

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	
 $1 \leq \frac{a}{b} \leq \frac{3}{2}$ 0,2 b ou h (o menor dos dois) $\frac{h}{b} \leq \frac{1}{2}$	-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
 $1 \leq \frac{a}{b} \leq \frac{3}{2}$ $\frac{1}{2} < \frac{h}{b} \leq \frac{3}{2}$	-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
 $1 \leq \frac{a}{b} \leq \frac{3}{2}$ $\frac{3}{2} < \frac{h}{b} \leq 6$	-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

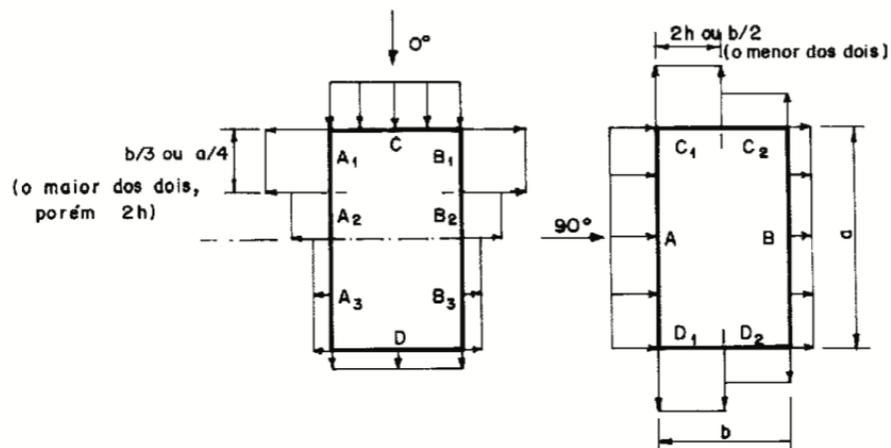


Figura 2.10: Coeficientes de pressão e de forma, externos, para paredes de edificações de planta retangular (fonte: ABNT, 1988, Tabela 4, p. 14).

A norma ainda adiciona que:

- para valores de a/b situados entre $3/2$ e 2 , os coeficientes devem ser determinados por interpolação linear. Nesse contexto, a representa o maior lado da base e b o menor;
- considerando o ângulo de incidência de 0° , os coeficientes A_3, B_3 assumem valores:
 - Para $a/b = 1$: iguais a A_2, B_2 ;
 - Para $a/b \geq 2$: iguais a $-0,2$;
 - Para $1 < a/b < 2$: provenientes de interpolação linear.

Já o valor do C_{pe} médio é aplicado em uma porção referente a menor medida entre $0,2b$ ou h na região de barlavento das faces laterais. Esses valores devem ser aplicados no “dimensionamento, verificação e ancoragem de elementos de vedação e da estrutura secundária” (ABNT, 1988, p. 12).

Os coeficientes dispostos na Figura 2.10 se referem a ventos de baixa turbulência. Para ventos de alta turbulência a norma prevê uma redução no coeficiente de forma para a face de sotavento da edificação, com exceção para estruturas de *side ratio* $l_2/l_1 \leq 1/3$. Assim, deve-se tomar apenas $2/3$ do valor especificado na tabela para a parede D, considerando $\alpha = 0^\circ$, ou para a parede B, considerando $\alpha = 90^\circ$.

A norma ainda dispõe que, para certas estruturas dotadas de rugosidades ou nervuras, deve-se considerar uma força de atrito, F' na mesma direção e sentido da ação do vento. Para o caso de edificações de seção transversal retangular, essa deve ser avaliada quando l_2/h ou l_2/l_1 forem superiores a 4 (ABNT, 1998, p.20). Cumpridos esses pressupostos, a força de atrito pode ser determinada conforme a Equação (2.23) ou a Equação (2.24), onde $C_{f'}$ consiste no coeficiente de atrito:

$$F' = C_{f'} q l_1(l_2 - 4h) + C_{f'} q 2h(l_2 - 4h) \quad \text{para } h \leq l_1 \quad (2.23)$$

$$F' = C_{f'} q l_1(l_2 - 4l_1) + C_{f'} q 2h(l_2 - 4l_1) \quad \text{para } h \geq l_1 \quad (2.24)$$

Em cada uma das equações, a parcela referente à força de atrito nas paredes consiste no segundo termo do segundo membro, enquanto o primeiro termo se refere ao telhado. Já os valores de $C_{f'}$ são definidos conforme o tipo das nervuras:

- $C_{f'} = 0,01$ para superfícies sem nervuras transversais à direção do vento;
- $C_{f'} = 0,02$ para superfícies com nervuras arredondadas (ondulações) transversais à direção do vento;
- $C_{f'} = 0,04$ para superfícies com nervuras retangulares transversais à ação do vento.

2.3.1.3 ABNT NBR 7199

A ABNT NBR 7199, de 2016, é a norma brasileira que se dedica às diretrizes para o projeto, execução e aplicação de vidros em edificações. Como requisito de projeto, a norma estabelece que a pressão do vento, P_v , deve ser calculada conforme as prescrições da ABNT NBR 6123:1988. Para vidros verticais instalados em áreas externas, a pressão de cálculo é dada por $P = 1,5 P_v$. Já para vidros inclinados, também instalados em áreas externas, a pressão de cálculo é dada pelo maior valor entre $P_1 = 1,5 P_v$ e $P_2 = 1,2 (P_v + \alpha P_p \cos \theta)$, onde: $\alpha = 1$ para vidro temperado e $\alpha = 2$ para os demais tipos de vidro; P_p consiste na pressão da carga resultante do peso próprio por unidade de área; e θ é o menor ângulo formado entre o elemento e a horizontal. A norma ainda dispõe uma tabela com as tensões máximas admissíveis para vidros de diferentes fixações (Figura 2.11), sendo que a grande parte das aplicações se refere aos valores contidos na coluna de rajadas de vento de 3 segundos.

Tipo de vidro	Apoios	3 s	1 min	1 h	Um dia	Um mês	Acima de um ano
Float ou impresso	Quatro bordas	23,3	19,3	14,9	12,4	10,0	7,2
	Qualquer outro tipo de apoio	20,0	15,2	11,7	9,7	7,9	5,7
Temperado	Quatro bordas	93,1	87,5	80,1	75,4	69,8	66,1
	Qualquer outro tipo de apoio	73,0	68,7	62,9	59,2	54,8	51,9

Figura 2.11: Tensões máximas admissíveis (MPa) para vidros de diferentes configurações (fonte: ABNT, 2016, Tabela 2, p. 10).

2.4 AÇÃO DO VENTO EM FACHADAS EQUIPADAS COM ELEMENTOS DE CONTROLE SOLAR

Como já exposto no primeiro capítulo, o desenvolvimento de novos materiais e tecnologias permitiu grandes modificações no aspecto das fachadas ao longo dos anos. Partindo de simples superfícies lisas e impermeáveis, essas fachadas passaram a incorporar projeções, elementos de controle solar e camadas permeáveis, como estratégias para minimizar o impacto das mudanças climáticas ao menor consumo de energia possível. No cenário arquitetônico brasileiro atual, destaca-se a predominância dos elementos de controle solar, com o retorno da tendência dos brises, especialmente na configuração de painéis deslizantes e articulados (*sliding & folding shutters*).

Independentemente da classificação desses elementos, sabe-se que a sua introdução dá origem a modificações geométricas na seção transversal do edifício e confere maior rugosidade às fachadas. Esse fato eleva a complexidade da interação do vento com as fachadas dos edifícios, uma vez que as pressões de pico instantâneas, vistas no subcapítulo anterior como determinantes para o projeto das fachadas, também dependem da rugosidade superficial de suas faces (MARUTA; KANDA; SATO, 1988).

Na aerodinâmica, a influência da rugosidade superficial sobre as características do escoamento está intimamente relacionada à altura média das saliências presentes na superfície, ϵ , em relação à espessura da camada limite, δ , e sua classificação, isto é, laminar ou turbulenta. À medida que se tornam mais proeminentes, as rugosidades são capazes de induzir o desprendimento de vórtices, aumentar a turbulência do escoamento e, principalmente, elevar a resistência de atrito, de modo que este parâmetro vai perdendo sua dependência ao número de Reynolds e se tornando cada vez mais dependente das características das saliências (BLESSMANN, 2011).

Nesse processo, ocorre um desequilíbrio de pressões, o qual dá origem a uma resultante de força denominada resistência de forma, a qual é função da rugosidade relativa. Para superfícies planas, alvos do presente estudo, este parâmetro é dado por ϵ/l , sendo l o comprimento da superfície analisada (BLESSMANN, 2011). A elevação dessa razão reflete em um escoamento mais complexo e espacialmente não homogêneo ao redor dos elementos de rugosidade (SNYDER; CASTRO, 2002). Ademais, é importante ressaltar que, além da altura média desses elementos, os efeitos produzidos ao escoamento são condicionados a parâmetros como a geometria e seu arranjo na superfície (TAYLOR *et al.*, 2006; SCHULTZ; FLACK, 2009).

Tendo isso em vista, sabe-se que elementos que se projetam nas fachadas são capazes de modificar localmente o escoamento e, conseqüentemente, a distribuição das pressões externas em suas superfícies, além de potencialmente atraírem uma carga significativa para si (ZAMMIT; OVEREND, 2012). Posto que normalmente são representados por elementos leves, torna-se importante que projetistas avaliem a sua suscetibilidade aos efeitos da ação do vento, a fim de evitarem seu colapso e acidentes envolvendo-os (IRWIN; DENOON; SCOTT, 2013).

Para o caso específico de elementos de controle solar, Cochran (2020) infere que as falhas normalmente são oriundas de processos de fadiga provocados pela ação de ventos de curto período de retorno, especialmente em elementos mais afastados daquele que recebe o primeiro impacto. Isso ocorre porque, à medida que o vento avança sobre as projeções, tem sua velocidade média reduzida e sua turbulência elevada, sendo caracterizado por rajadas sobrepostas que podem, eventualmente, carregar ciclicamente os elementos até a falha.

O autor ainda ressalta que o projeto desses elementos não tem recebido devida atenção, o que é considerado preocupante diante do grande risco que seu colapso representa ao público. Ademais, adiciona que as normas internacionais não dispõem de orientações de projeto para elementos que se projetam nas fachadas e que, muitas vezes, o potencial para uma resposta dinâmica ressonante também é negligenciado.

Diante dessas considerações, verifica-se a importância da avaliação desses elementos sob a perspectiva aerodinâmica, a fim de constatar se as modificações introduzidas por eles desempenham impactos positivos ou negativos na resposta da estrutura, além de garantir que sejam capazes de resistir às solicitações impostas pela ação do vento. Antes do desenvolvimento de uma proposta dentro dessa problemática, torna-se pertinente uma revisão dos estudos mais relevantes sobre o tema. Assim, o próximo item irá apresentar uma seleção de estudos aerodinâmicos envolvendo projeções em fachadas e demais configurações de elementos de controle solar já avaliados por outros autores. A partir de um panorama dos efeitos causados pela incorporação de diferentes geometrias e composições, busca-se compreender melhor e até mesmo prever como as configurações adotadas para a presente pesquisa serão solicitadas e como afetarão a distribuição de pressões externas nas fachadas.

2.4.1 Estudos anteriores

A fim de facilitar a análise, as bibliografias estudadas serão organizadas em dois grupos. O primeiro englobará pesquisas referentes a projeções verticais e horizontais fixadas diretamente

na estrutura da fachada e o segundo organizará estudos envolvendo elementos incorporados a uma certa distância da estrutura principal, os quais serão classificados como anteparos.

2.4.1.1 Projeções verticais e horizontais

Leutheusser (1970) foi um dos pioneiros no estudo da influência de projeções na distribuição de pressões devidas ao vento em fachadas. Além de ter analisado o impacto de platibandas e projeções no topo de edifícios, o autor se dedicou ao estudo de projeções verticais contínuas em suas faces, também conhecidas como *mullions*. Para isso, avaliou, em túnel de vento, um modelo bidimensional de base quadrada, equipado com tais elementos em suas quatro faces, conforme ilustrado na Figura 2.12. Os resultados demonstraram que, para vento normal à uma de suas faces, tais projeções são capazes de induzir sucções em suas extremidades laterais, sendo essas superiores para maiores espaçamentos entre duas projeções consecutivas.

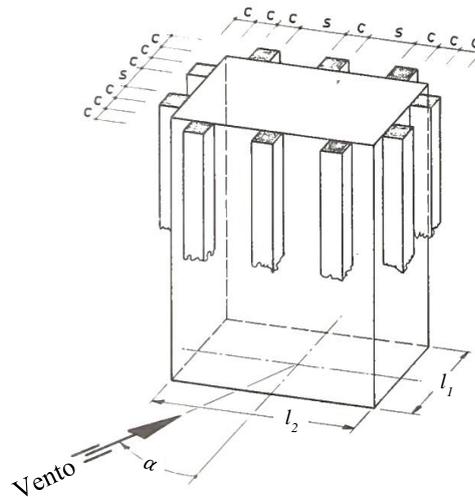


Figura 2.12: Modelo equipado com *mullions* avaliado por Leutheusser (1970) (fonte: Leutheusser, 1970).

Um estudo similar também foi desenvolvido por Templin e Cermak (1976 *apud* STATHOPOULOS; ZHU, 1990). Por meio do ensaio de modelos em escala real e reduzida, em túnel de vento, os autores constataram que as projeções verticais contínuas são capazes de promover uma redução geral das pressões médias e flutuantes nas faces, em detrimento da elevação das sucções em regiões de separação do escoamento, especialmente na área das faces laterais que compreende os dois primeiros *mullions*. Diante desses resultados, os autores

destacam que a localização da primeira projeção em relação à aresta lateral pode ser determinante na distribuição das pressões em fachadas.

Em seguida, Stathopoulos e Zhu (1988) publicaram uma análise de três acessórios de fachada: rugosidades superficiais uniformes (15 e 30 cm), projeções horizontais (2,0 e 4,0 m) e uma combinação das duas anteriores. As duas primeiras foram aplicadas à superfície frontal de um modelo de edifício alto de base quadrada e a última, a um modelo de mesmas características, porém baixo. Através de ensaios em túnel de vento, os autores verificaram que a rugosidade uniforme, apesar de promover certa proteção ao vento, não representa muita influência na distribuição de pressões na fachada, reduzindo minimamente as sucções a que são submetidas. A segunda configuração se revelou mais eficiente, promovendo reduções das sobrepressões médias na face de barlavento, especialmente na proximidade com o topo do modelo, além de atenuações das sucções médias e de pico nas faces laterais e de sotavento. Já a terceira configuração não se mostrou influente no modelo de edifício baixo. Por fim, os resultados também revelaram que a variação de espessura adotada não desempenhou mudanças significativas.

Utilizando as mesmas dimensões de modelos, Stathopoulos e Zhu (1990) avaliaram também a incorporação de projeções verticais ao longo de suas faces frontais. Repetindo as mesmas condições de ensaio, verificaram que tais projeções foram capazes de elevar expressivamente as sucções médias (180%), flutuantes (150%) e de pico (80%) nas extremidades laterais dessa face, considerando vento normal à sua superfície. De acordo com os autores, esses acréscimos se devem à interferência das projeções mais próximas da extremidade na separação do escoamento, de modo a intensificarem o desprendimento de vórtices. A única configuração que foi capaz de atenuar levemente esse aumento foi a aplicação da última lâmina de extremidade como uma extensão da face adjacente. Ademais, efeitos severos também foram observados próximo à base do modelo, para o azimute de 105° , isto é, quando as projeções se encontram em uma das faces laterais. Segundo os autores, isso se deve a uma perturbação causada pelos elementos na propagação do vórtice ferradura que se desenvolve na base da face de barlavento. Comportamentos similares foram observados também para o modelo de edifício baixo. Novamente, a altura do edifício e a profundidade das projeções (1,0 e 2,0 m) não exerceram grande influência sobre os resultados.

Maruta, Kanda e Sato (1998) conduziram um estudo bastante similar aos anteriores, avaliando a influência da rugosidade uniforme e de quatro configurações de projeções horizontais: uma

combinada a projeções verticais e outras três resultantes de variações no comprimento da projeção em relação a aresta da base, razão a qual os autores denominaram magnitude de rugosidade, k/D . As composições, incorporadas às quatro faces de um modelo de base quadrada e altura intermediária, se encontram esquematizados na Figura 2.13.

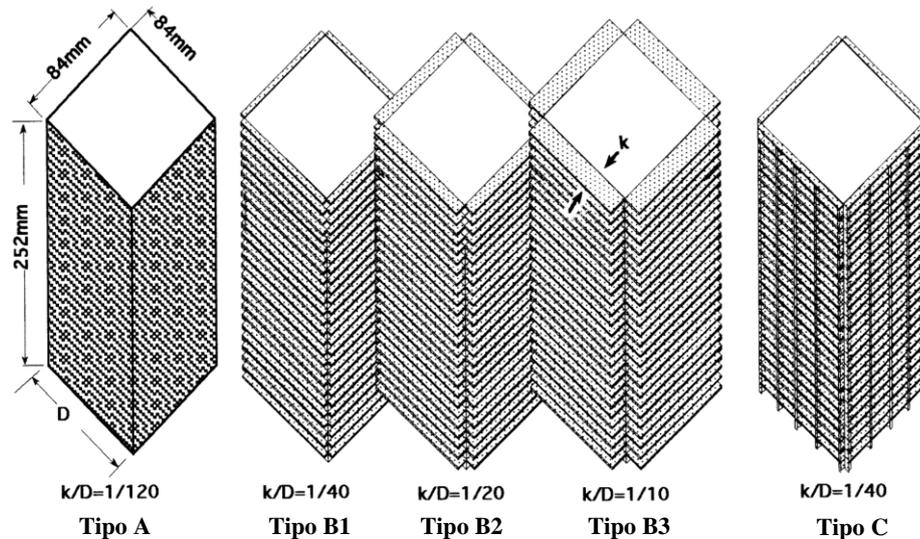


Figura 2.13: Configurações de rugosidade ensaiadas por Maruta, Kanda e Sato (1998) (fonte: Maruta; Kanda; Sato, 1998).

Por meio do ensaio das estruturas em túnel de vento, os autores verificaram pouca interferência nas sobrepções, mas reduções significativas das sucções nas faces laterais. Segundo eles, essa diminuição se deve ao efeito de restrição às perturbações do escoamento imposto pela rugosidade, o qual acaba por enfraquecer ou até mesmo eliminar as parcelas flutuantes de pressão mais severas próximas à borda principal. Assim, para os modelos equipados com as projeções horizontais, a magnitude do espectro de potência diminuiu para um aumento da razão k/D , sendo o efeito mais acentuado verificado para o Tipo B3, considerando azimutes entre 0° e 15° . Outra constatação importante feita pelos autores foi de que a região mais afetada pela rugosidade se situou entre a primeira aresta vertical e a medida $0,2D$ das faces laterais, local no qual observaram uma atenuação nos picos de pressão de até 67%.

Já Rofail e Kwok (1999) avaliaram a interferência de 11 combinações de elementos de rugosidade em fachadas a partir de três tipos de projeções: verticais (A), horizontais (B) e elementos de controle solar (C) configurados por anteparos sólidos e porosos, os quais se encontram representados na Figura 2.14. As combinações, listadas na Tabela 2.1, foram

ensaiadas em túnel de vento por meio de sua incorporação a duas faces adjacentes de modelos de base retangular, altura intermediária e *side ratios*, l_2/l_1 , iguais a 0,5 e 2,0.

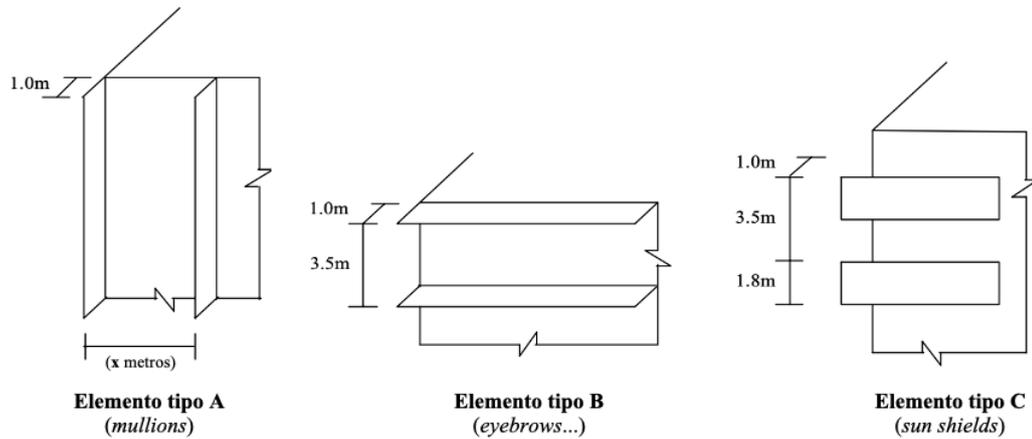


Figura 2.14: Projeções utilizadas como base para o estudo de Rofail e Kwok (1999) (fonte: Rofail; Kwok, 1999).

Tabela 2.1: Relação dos resultados obtidos por Rofail e Kwok (1999).

MODIFICAÇÕES DAS PRESSÕES NAS FACES				
COMBINAÇÃO	BARLAVENTO	LATERAIS	SOTAVENTO	OBSERVAÇÃO
A	↓ 10% arestas de topo e laterais	↓ 10%	↑ 10%	$x = 1,7\text{m}$ e $x = 5,0\text{m}$
A + B	↑ 40% aresta de topo e ↑ 10% laterais e centro	↓ 10%	↑ 20%	$x = 1,7, x = 5,0\text{ m}$ e $x = \text{largura da face}$
A + C	↓ 10%	↓ 30% arestas laterais	irrelevantes	$x = \text{largura da face}$; elemento C sólido
B	↑	↓ 20%	↑ 10%	espaçamento de 3,5m
B + C	↑ 10% arestas laterais	↓ 20%	irrelevantes	elementos C sólidos e porosos
C	↑ 10%	↓	irrelevantes	elementos C sólidos e porosos

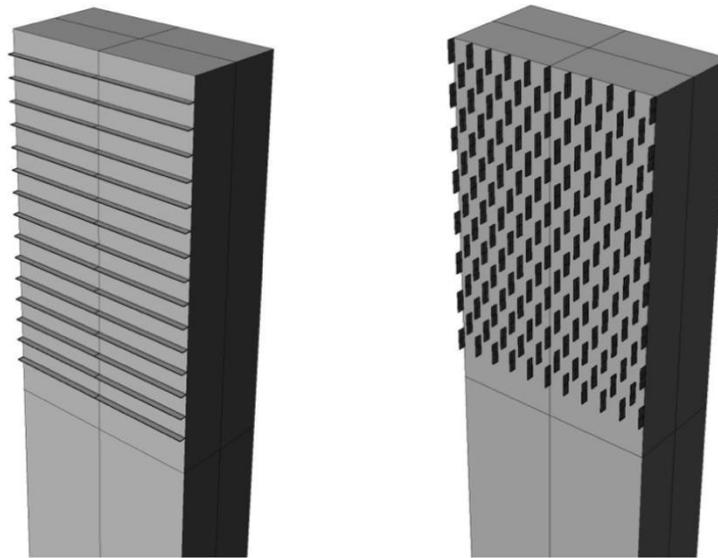
(fonte: autora).

Conforme os resultados expostos na Tabela 2.1, verifica-se que cada tipo de elemento, seja individual ou combinado, provoca efeitos diferenciados na distribuição de pressões nas faces dos modelos. Além das informações apresentadas, destaca-se que:

- a) o espaçamento entre as projeções verticais foi considerado relevante apenas para a face de barlavento, de modo que menores espaçamentos refletiram em maiores reduções das pressões nas regiões próximas às arestas de topo e verticais;
- b) as maiores atenuações de sucções nas faces laterais foram observadas para $l_2/l_1=2,0$;
- c) os maiores acréscimos de sucções nas faces de sotavento foram verificados para $l_2/l_1 = 2,0$;
- d) a elevação das pressões na face de barlavento de fachadas equipadas com uma combinação de elementos dos tipos A e B é relacionado ao isolamento do escoamento entre as projeções;
- e) elementos de controle solar apenas provocaram modificações em conjunto com outros elementos para $l_2/l_1 = 0,5$;
- f) não foram apontadas modificações entre elementos porosos e sólidos.

Em seguida, Holland e Ginger (2003) também realizaram experimentos em túnel de vento, a fim de avaliar a interferência de projeções horizontais de diferentes profundidades (3,0 e 5,0 m) na face frontal de um modelo de edifício de altura intermediária e base retangular. Apesar da redução geral dos coeficientes de pressão de pico, maiores parcelas flutuantes foram observadas nos cantos superiores da face frontal, considerando um ângulo de incidência do vento de 0° . Já nas faces laterais, os picos de sucção foram reduzidos significativamente, em especial nos cantos que fazem intersecção com a face de barlavento. A novidade introduzida pelos autores foi a medição da pressão efetiva nas projeções em si, resultante da diferença de pressão entre suas faces superior e inferior. As maiores pressões efetivas foram observadas nas extremidades laterais do elemento mais próximo ao topo do modelo, sendo a magnitude mais significativa constatada para a maior profundidade ensaiada e para o azimute de 0° .

Já Lignarolo, Lelieveld e Teuffel (2011) foram os primeiros autores a utilizarem recursos da Dinâmica dos Fluidos Computacional para avaliar configurações de rugosidade superficial em fachadas. Sua pesquisa foi dividida em três estudos de caso e o principal deles se dedicou à comparação das duas configurações representadas na Figura 2.15.



(a) Projeções horizontais contínuas (b) Projeções verticais descontínuas

Figura 2.15: Configurações de rugosidade analisadas por Lignarolo, Lelieveld e Teuffel (2011) (fonte: Lignarolo; Lelieveld; Teuffel, 2011)

Os resultados provenientes de suas investigações provaram que a adição de projeções horizontais contínuas é capaz de provocar a canalização do ar de um canto ao outro da fachada, configurando uma solução ideal para áreas de grande insolação, uma vez que maximizam as trocas de calor entre os ambientes. Já a incorporação de elementos verticais descontínuos viabilizou maior uniformidade ao escoamento e maior resistência ao vento, minimizando sua velocidade na proximidade da fachada. Essa configuração, segundo os autores, promove o efeito contrário da anterior, podendo ser bastante útil em regiões nas quais há a necessidade de reduzir as trocas de calor entre ambientes interno e externo.

Em um contexto geral, com a introdução dos elementos de rugosidade, também se verificou uma redução no desprendimento de vórtices nas faces laterais. O estudo também revelou que as mudanças introduzidas na distribuição de pressões são muito mais evidentes em edifícios baixos, ao passo que diferenças no perfil de velocidades são mais significativas para edifícios altos. Essa conclusão foi viável a partir da comparação dos resultados do estudo de caso

apresentado em relação à validação de sua abordagem, a qual envolveu um modelo de edifício baixo equipado com projeções horizontais contínuas.

Ono, Kikuchi e Tamura (2014) também utilizaram recursos da Dinâmica dos Fluidos Computacional para avaliar os efeitos produzidos pela introdução de projeções verticais contínuas nas quatro faces de um edifício alto. Em sua análise, verificaram que as modificações nos carregamentos devidos ao vento estão intimamente relacionadas ao formato do edifício, ao ângulo de incidência do vento e ao arranjo das projeções. Dentre as principais observações, constataram que as maiores forças aerodinâmicas recaem sobre as projeções mais próximas aos cantos e que o *aspect ratio* e *side ratio* não exercem influência sobre suas magnitudes.

Na sequência, em um estudo numérico bastante similar, Yoshikawa e Tamura (2016) atentaram também para uma superioridade das forças na região próxima à base do edifício. Segundo os autores, esse efeito pode ser devido ao escoamento descendente provocado pelas lâminas verticais, o qual intensifica o desprendimento de vórtices na região, como pode ser visualizado na Figura 2.16 (a). Inclusive, verificaram que a velocidade desse escoamento vertical é aumentada pelo efeito da geometria das lâminas. Novamente, as maiores sucções foram observadas nas faces laterais, no canto superior que faz intersecção com a face a barlavento, como pode ser visualizado na Figura 2.16 (b).

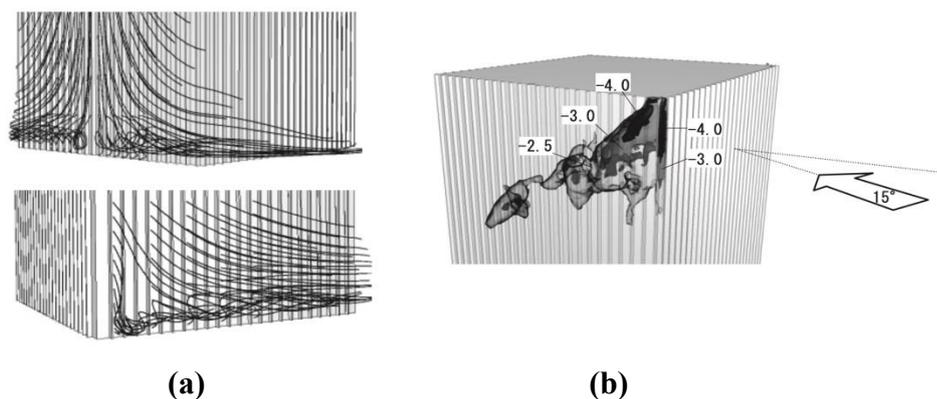


Figura 2.16: Regiões críticas na distribuição de pressões de uma fachada equipada com projeções verticais contínuas, sendo (a) a representação dos vórtices na base do modelo, para ângulos de incidência do vento de 0° e 45° e (b) a distribuição de pressões na região de topo do modelo (fonte: adaptado de Yoshikawa; Tamura, 2016).

Na sequência, Yuan, Hui e Chen (2018) publicaram um extenso estudo experimental, no qual avaliaram 21 composições de projeções horizontais incorporadas na metade superior de um modelo de edifício alto de seção transversal quadrada. Partindo de 7 modelos base, as 21 configurações foram alcançadas por meio da variação do adimensional d_r : 7,5% (I), 10% (II) e 12,5% (III). Esse adimensional expressa a razão entre a profundidade da projeção, d , e a medida da aresta da face na qual está inserida. O desenho esquemático dos modelos e dos parâmetros envolvidos na caracterização das rugosidades pode ser visualizado na Figura 2.17.

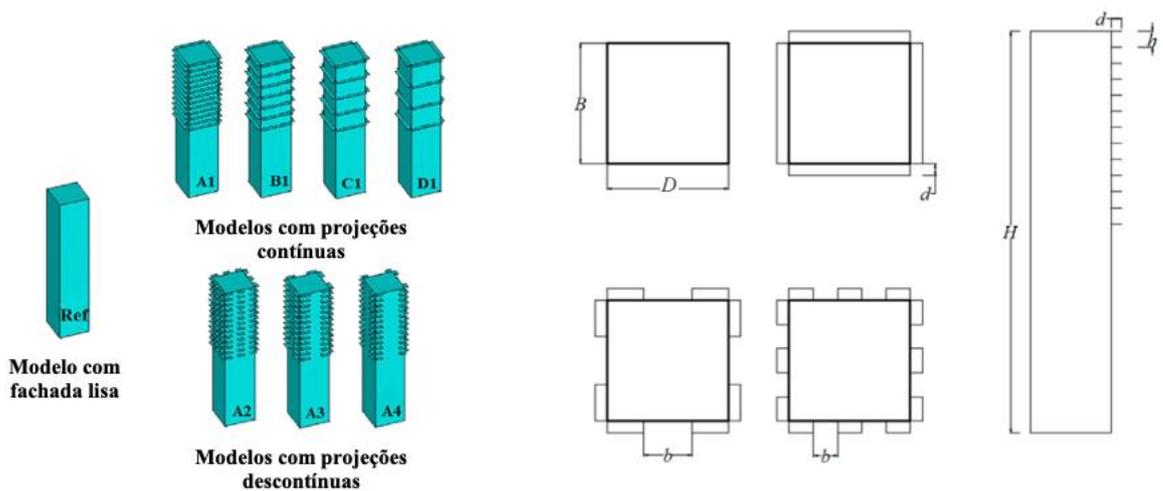


Figura 2.17: Configurações de projeções horizontais ensaiadas por Yuan, Hui e Chen (2018) (fonte: adaptado de Yuan; Hui; Chen, 2018)

Os resultados obtidos através do ensaio dos modelos em túnel de vento demonstraram que as projeções não foram capazes de influenciar significativamente a magnitude das pressões de pico positivas. Todavia, a área de revestimento que as abrange pôde ser minimizada em até 27%. Ademais, verificou-se a influência da distância vertical entre duas lâminas adjacentes na localização dos coeficientes máximos e na ocorrência do isolamento do escoamento nesses espaços. Esse último fenômeno foi verificado para as configurações B1-III e C1-III, o que também denota que lâminas contínuas de maiores profundidades provocam efeitos mais significativos no padrão de escoamento ao redor do edifício.

Já as pressões de pico negativas sofreram atenuações expressivas, de até 42%, na região das faces laterais próxima a primeira aresta vertical, considerando azimutes muito próximos ou iguais a 0° . Tanto as projeções contínuas como as descontínuas foram capazes de diminuir os

valores médios, flutuantes e de pico, com melhor performance por parte das primeiras. Em relação aos espaçamentos, o efeito da distância vertical entre os elementos foi considerado desprezível na análise das sucções, ao passo que menores distâncias horizontais entre as projeções descontínuas conduziram a maiores reduções nos picos de sucção na aresta superior principal.

Hui *et al.* (2019) deram sequência a esse estudo, avaliando as forças e momentos induzidos pela ação do vento. Ao passo que as projeções contínuas ocasionaram uma variação em “zig-zague” das forças em relação às do modelo de referência, as projeções descontínuas contribuíram com um leve aumento das forças na direção da ação do vento (*along-wind*) e reduziram drasticamente a resposta na direção transversal (*cross-wind*), especialmente para maiores profundidades e distanciamento horizontal entre dois elementos adjacentes. Já o espectro de potências demonstrou que as projeções horizontais são capazes de promover uma melhor organização do desprendimento de vórtices, também minimizando sua intensidade, graças ao efeito de restrição do escoamento na direção vertical. Finalmente, quanto aos momentos de base, verificaram-se pequenos acréscimos para ambas as direções.

Seguindo a mesma proposta dos dois estudos anteriores, Yang *et al.* (2020) avaliaram os efeitos introduzidos ao escoamento por 16 combinações de projeções verticais adicionadas à metade superior do mesmo modelo de edifício alto de seção transversal quadrada. Partindo de 8 configurações base, as 16 combinações foram obtidas por meio da variação do adimensional d_r : 7,5% (1) e 12,5% (2). A Figura 2.18 apresenta um desenho esquemático dos modelos ensaiados e dos parâmetros envolvidos em sua caracterização. O número romano II, que acompanha o modelo B, indica que esse é equipado com projeções apenas nas faces de barlavento e sotavento.

Apesar de os autores apontarem para limitações na análise de pressões, em virtude da disposição das tomadas, os resultados demonstraram uma tendência de efeitos negligenciáveis nas parcelas média e flutuante das pressões medidas na superfície dos modelos. Todavia, para o modelo B2, na porção superior das arestas laterais da face frontal, verificou-se a redução das sobrepressões médias para valores próximos a zero, ao passo que as pressões flutuantes sofreram incrementos de até 80% nessas regiões.

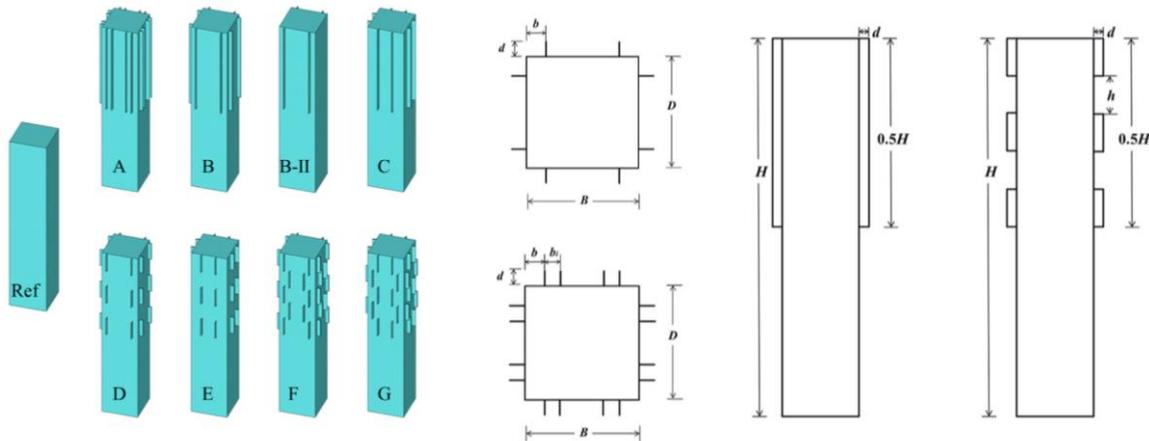


Figura 2.18: Configurações de projeções verticais ensaiadas por Yang *et al.* (2020) (fonte: Yang *et al.*, 2020).

Já os efeitos provocados às forças aerodinâmicas ficaram condicionados ao arranjo das projeções. Na direção *along-wind*, o modelo D2, de projeções descontínuas, se destacou pelo maior incremento na parcela média (13,6%), enquanto o modelo B2-II, dotado de elementos contínuos, apresentou o maior decremento de (40,3%). Na direção *cross-wind*, as projeções contínuas foram responsáveis por reduções expressivas na parcela flutuante das forças no azimute 0° , alcançando uma atenuação de até 57,3%, também para o modelo B2-II. Já as discontinuidades desempenharam pequenas reduções nesse cenário. Quanto ao momento de base, o modelo B1 foi o que permitiu a maior redução na direção *along-wind*, enquanto o modelo F2 viabilizou um decremento de cerca de 40% na direção *cross-wind*. Já o melhor efeito para a parcela flutuante do momento nessa direção foi proporcionado pela configuração B2-II, a qual conduziu a uma diminuição de 51,3%. Diante desses resultados, os autores concluíram que o posicionamento de lâminas verticais somente nas faces de barlavento e sotavento é mais efetivo, considerando lâminas contínuas de maior profundidade.

Após as publicações de Yuan, Hui e Chen (2018), Hui *et al.* (2019) e Yang *et al.* (2020), Liu *et al.* (2021) lançaram uma análise complementar de cinco modelos já avaliados nos estudos supracitados, utilizando velocimetria por imagem de partículas (PIV) (Figura 2.19). Em suma, o novo estudo revelou que todas as configurações analisadas foram capazes de reduzir significativamente os coeficientes de pressão flutuantes na porção superior dos modelos, além de afetar a intensidade de turbulência das componentes do escoamento na esteira e nas camadas de cisalhamento. Nesse contexto, destacou-se o Modelo 5, cuja configuração de projeções verticais provocou uma redução de 17% na intensidade de turbulência, em relação ao modelo

de fachada lisa e, conseqüentemente, um decréscimo de 44% das pressões flutuantes nas faces laterais e 33% na face de sotavento.

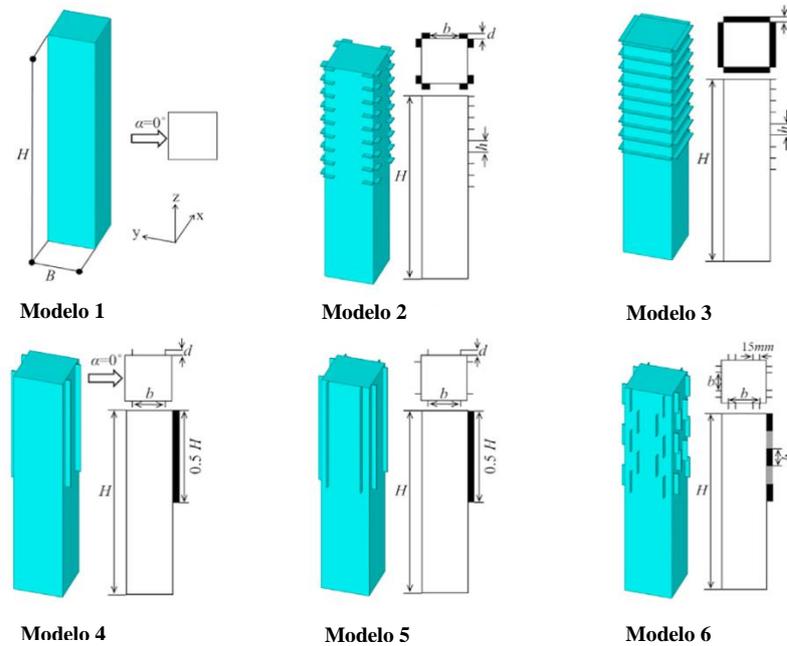


Figura 2.19: Configurações avaliadas por Liu *et al.* (2021) (fonte: Liu *et al.*, 2021).

Já para o caso específico das projeções horizontais, os autores observaram que a adição de tais elementos pode mover o ponto de estagnação do escoamento para uma altura mais baixa, além de reduzir o máximo coeficiente de sobrepressão associado a ele, sendo o efeito mais significativo provocado por projeções contínuas (Modelo 3). Por fim, constataram que as configurações dos modelos avaliados produzem esteiras mais longas e largas, e que a presença de projeções verticais, em particular, é capaz de modificar a curvatura das camadas de cisalhamento, o que pode conduzir a reduções nos picos de sucção na porção superior das faces laterais e uma redução na parcela flutuante das forças em ambas as direções.

Outro estudo sobre o tema, envolvendo recursos da Dinâmica dos Fluidos Computacional, foi realizado por Kahsay, Bitsuamlak e Tariku (2019). Apesar de se dedicar à investigação do impacto de sistemas de controle solar nos processos de transferência de calor por convecção, a publicação fornece algumas informações relevantes a respeito dos padrões de escoamento nesse tipo de fachada. Os resultados obtidos demonstram que as três configurações analisadas, esquematizadas na Figura 2.20, foram capazes de minimizar o escoamento de ar próximo a

superfície do edifício. Em particular, as projeções horizontais provocaram a canalização do ar, impulsionando-o para as laterais do edifício, como foi observado por Lignarolo, Lelieveld e Teuffel (2011). Já as projeções verticais conduziram o escoamento para as extremidades de topo e base do edifício, provocando maiores velocidades de atrito superficial. Por fim, a configuração *egg-crate*, que combina os dois tipos de projeções, restringiu o escoamento na superfície, aumentando o tempo de permanência do ar junto da fachada.

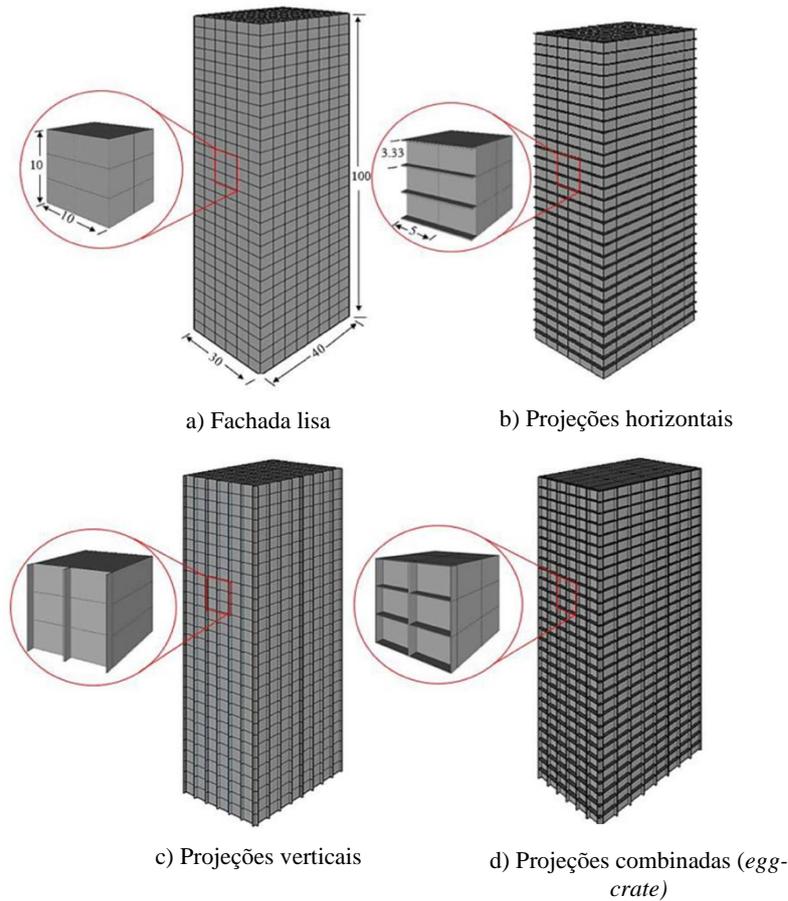


Figura 2.20: Elementos de controle solar avaliados por Kahsay, Bitsuamlak e Tariku (2019) (fonte: Kahsay; Bitsuamlak; Tariku, 2019).

2.4.1.2 Anteparos

Ao contrário do grupo anterior, poucas foram as bibliografias encontradas a respeito de elementos de controle solar incorporados com um certo afastamento da estrutura principal, como ocorre com venezianas e brises. Quanto ao primeiro tipo, Lee *et al.* (2015) realizaram um experimento do tipo *mock-up*, no qual construíram uma representação em escala real de um ambiente em situação de ventilação cruzada com venezianas externas em sua abertura frontal. O foco da pesquisa consistiu em examinar as mudanças nas taxas de ventilação diante de

diferentes ângulos de abertura das lâminas constituintes do sistema, analisando também perdas de pressão e de velocidade. Em relação a uma configuração destituída de sistema de controle solar, os autores verificaram que uma veneziana com ângulo de abertura de 90° (máxima abertura), apresenta efeitos insignificantes, ao passo que ângulos de abertura de 45° e 0° (completamente fechadas) impõem restrições ao escoamento, de modo a reduzirem a velocidade do vento em até 50%.

Em seguida, Jiang *et al.* (2018) conduziram um estudo experimental e numérico similar, a fim de avaliar um simples cubo equipado com venezianas externas em sua superfície frontal (Figura 2.21). Os resultados da pesquisa demonstraram que o sistema é capaz de promover certa proteção ao vento, especialmente na face de barlavento e de topo. Na primeira região, isso se deve ao fato de os elementos imporem um certo bloqueio ao escoamento que atinge a construção, deslocando a separação do fluxo para cima. Já na segunda, verifica-se que o sistema de sombreamento é capaz de suprimir a recolocação do escoamento no topo da estrutura, estendendo a região de recirculação, o que provoca uma redução das velocidades no topo do edifício. Através da análise numérica, verificaram também a ocorrência de uma coluna de subvórtices no espaço entre duas lâminas adjacentes, sendo que a geração desses subvórtices diminui com o aumento da distância de instalação do sistema em relação à fachada.

A análise da distribuição de pressões sofreu limitações, de modo que foram avaliadas apenas nas superfícies de barlavento, sotavento e de cobertura. Na primeira, alterando o ângulo de inclinação das lâminas de 0° para 60° , foi possível minorar as pressões médias em 5% a 14%. Na segunda, os efeitos foram desprezíveis. Já na última, as variações de pressão puderam ser suavizadas para maiores ângulos de inclinação das lâminas. Por fim, os autores destacam que o aumento dos parâmetros de ângulo de abertura, largura das lâminas e distância de instalação intensificam a interferência ao escoamento que atinge a superfície, reduzindo as pressões induzidas pelo vento.

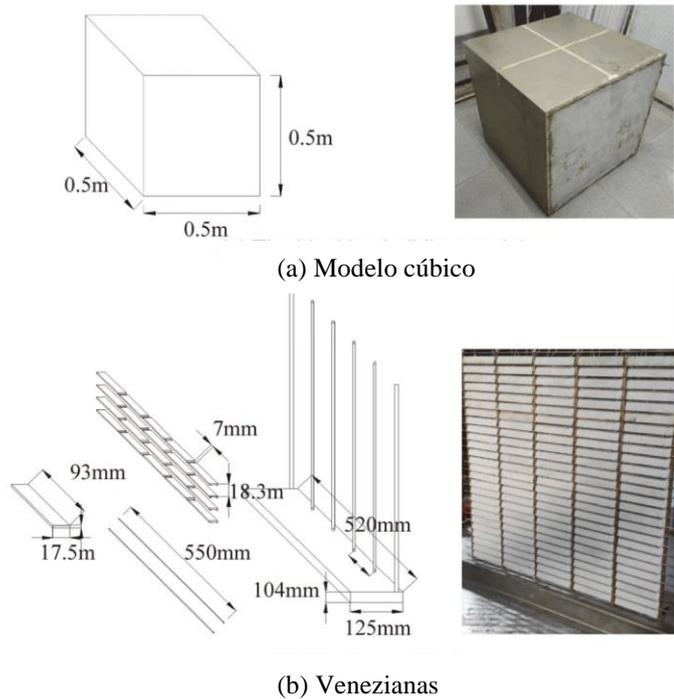


Figura 2.21: Características do modelo experimental avaliado por Jiang *et al.* (2018) (fonte: Jiang *et al.*, 2018).

Na sequência, Zheng, Tao e Li (2020) avaliaram a mesma estrutura através de recursos da Dinâmica dos Fluidos Computacional. Variando o ângulo de abertura das lâminas de 0° a 75° , em intervalos de 15° , os autores optaram por uma análise setorizada, dividindo as faces do cubo em colunas e linhas. Os resultados da pesquisa demonstraram que as maiores flutuações de pressão ocorrem na face de barlavento e no topo da estrutura e que o maior coeficiente médio de pressão, localizado no ponto de estagnação, é altamente sensível ao ângulo de rotação das lâminas do sistema de sombreamento.

Ademais, para a maior parte das colunas e linhas avaliadas, os coeficientes de pressão foram reduzidos para um aumento do ângulo de abertura, sendo a maior redução na transição de 60° para 75° . Quanto à face de sotavento, não avaliada no estudo de Jiang *et al.* (2018), verificaram-se apenas leves variações dos coeficientes locais em alguns pontos, em virtude da recirculação do escoamento, sendo a face com a menor diferença entre picos máximo e mínimo. Finalmente, os autores observaram que os pavimentos superiores tendem a ter uma distribuição mais uniforme do gradiente absoluto de pressão, sendo o pico máximo mais elevado e o pico mínimo mais suavizado para os pavimentos mais elevados.

Já Rocchi *et al.* (2016) desenvolveram um dos únicos estudos encontrados na literatura sobre o carregamento devido ao vento nos próprios elementos de controle solar. Partindo de um modelo de edifício real, equipado com brises verticais de seção transversal elíptica (Figura 2.22), os autores desenvolveram modelos em três escalas reduzidas e os ensaiaram em túnel de vento. O primeiro, na escala 1:70, demonstrou que as maiores pressões médias ocorrem nos elementos de extremidade, oriundas de acelerações locais e ausência de proteção ao escoamento. O mesmo foi observado para as pressões de pico, sendo que essas sofreram elevações ao longo de toda a fachada, devido à turbulência do escoamento e à turbulência gerada na própria estrutura, em virtude do desprendimento de vórtices. Diante desses resultados, os autores recomendam que os valores de projeto dos elementos de extremidade sejam replicados para os próximos dois adjacentes, a fim de se evitar um possível efeito dominó. A partir do refinamento dos resultados locais que obtiveram com ensaios utilizando outros dois modelos em escalas menores, também recomendam uma redução desses valores para os demais.

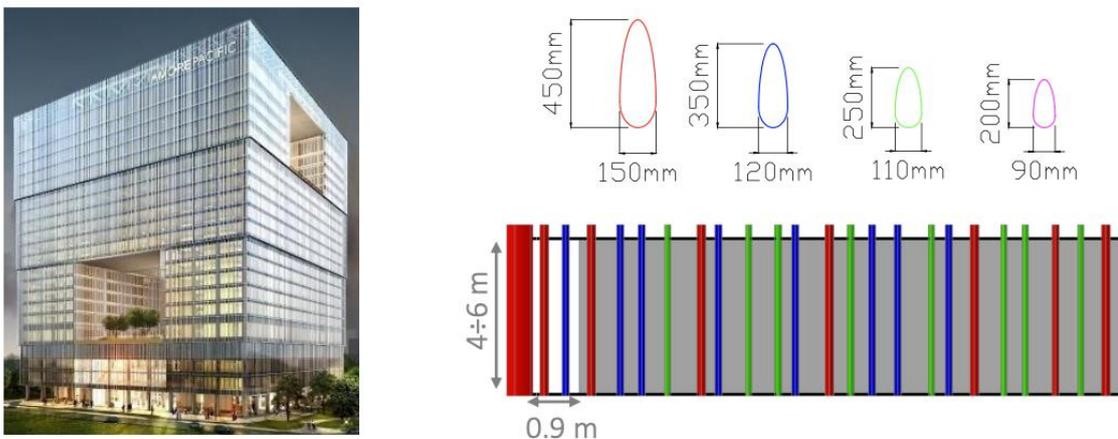


Figura 2.22: Brises verticais analisados por Rocchi *et al.* (2016) (fonte: Rocchi *et al.*, 2016).

Por fim, além da breve análise realizada por Rofail e Kwok (1999), não foram encontrados estudos envolvendo elementos de controle solar semelhantes aos brises deslizantes. A partir dessa pesquisa, cujos resultados foram apresentados na Tabela 2.1, verifica-se que anteparos (elementos do tipo C) são capazes de provocar um leve aumento das pressões na face de barlavento e pequenas reduções nas faces laterais, sendo estas intensificadas com a associação a projeções horizontais. Apesar dessas constatações, os autores não mencionam a influência da cavidade ventilada criada entre os elementos e a estrutura principal. Nesse contexto, estudos

referentes a fachadas duplas ventiladas (*double skin façades*) podem fornecer noções próximas, já que essas são caracterizadas pela incorporação de uma “pele” externa de revestimento, paralela à superfície da estrutura principal, constituindo uma cavidade ventilada de largura típica situada entre 20 centímetros e dois metros (POIRAZIS, 2006).

A avaliação de estruturas desse tipo se constitui em um problema de elevada complexidade, cuja principal questão envolvida na análise da ação do vento é a determinação da pressão efetiva na camada externa, dada pela diferença entre as pressões em suas superfícies externa e interna (GIACHETTI; BARTOLI; MANNINI, 2019). Enquanto a pressão externa depende essencialmente da geometria do edifício e das características do escoamento ao seu redor, a última também sofre a influência da resistência oferecida ao escoamento através dos vazios do painel, caso este seja permeável, além da resistência ao escoamento imposta pela cavidade (GERHARDT; KRAMER, 1983).

Assim, a influência desses elementos fica condicionada a parâmetros como a largura da cavidade, sua compartimentação e a permeabilidade do elemento, além da seção transversal do edifício e a turbulência do escoamento (GERHARDT; JANSER, 1994; GIACHETTI, 2018). Um estudo que proporciona um panorama genérico da influência de um anteparo nas características aerodinâmicas de um edifício foi realizado por Giachetti, Bartoli e Maninni (2019). Ao avaliarem um modelo de edifício em túnel de vento, equipado com camadas externas herméticas em suas quatro faces, formando cavidades compartimentadas horizontalmente e conectadas ao meio externo exclusivamente através de aberturas laterais nas extremidades do edifício, os autores verificaram interferências nas escalas local e global. Para o primeiro cenário, observaram uma redução das sucções no interior da cavidade das faces laterais, na região próxima às bordas verticais. Inclusive, essa atenuação se revelou superior para maiores larguras de cavidade. Já para o último, constataram influências no desprendimento de vórtices.

3 PROGRAMA EXPERIMENTAL

Como exposto no capítulo anterior, diante da deficiência de uma base estatística e da ausência de disposições normativas para o seu dimensionamento, verifica-se a necessidade da realização de estudos complementares para o projeto de fachadas equipadas com brises e demais elementos de controle solar. Tais estudos constituem-se em ferramentas importantes para a prevenção de danos e acidentes provocados pelo seu mal dimensionamento, bem como auxiliam projetistas a conceberem designs mais econômicos.

A avaliação da ação do vento em estruturas que se diferenciam dos modelos genéricos e simplificados abordados pelas normas pode ser conduzida através de ensaios experimentais em túnel de vento e por meio de simulação numérica utilizando recursos da Dinâmica dos Fluidos Computacional. De acordo com Blocken (2014), a última abordagem vem se consolidando nos últimos 50 anos e até mesmo oferece certas vantagens diante da primeira. Todavia, o autor infere que sua precisão e confiabilidade ainda dependem de estudos de validação e que seus resultados são bastante sensíveis a uma ampla gama de parâmetros a ser definida pelo usuário. Assim, o autor recomenda que essa estratégia seja utilizada como complemento da primeira.

Já os túneis de vento que simulam a Camada Limite Atmosférica (CLA) têm sido amplamente aceitos no cenário mundial como o recurso mais confiável para a determinação das pressões induzidas pela ação do vento em fachadas. Para isso, os objetos de estudo são comumente representados por modelos rígidos em escalas típicas que variam de 1:300 a 1:500 (KUMAR, 2017). Todavia, diante do desafio da modelagem de detalhes arquitetônicos, os quais possuem dimensões muito pequenas em relação às dimensões totais do edifício, às vezes são necessárias escalas maiores que as convencionais ou até mesmo uma leve distorção da escala desses elementos em relação à do modelo (IRWIN; DENOON; SCOTT, 2013).

Diante das considerações apresentadas, a simulação em túnel de vento foi a prática selecionada para o desenvolvimento do presente estudo. Dessa forma, este capítulo irá se dedicar à caracterização do túnel de vento utilizado para os ensaios, à descrição dos parâmetros adotados para a modelagem do vento natural, bem como à apresentação dos modelos propostos e

procedimentos experimentais que foram empregados para o cumprimento dos objetivos da pesquisa.

3.1 O TÚNEL DE VENTO *PROFESSOR JOAQUIM BLESSMANN*

Pioneiro na América Latina, o túnel de vento *Professor Joaquim Blessmann* (Figura 3.1), encontra-se em operação desde 1977 no (LAC) da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS). A ferramenta foi projetada para desenvolver estudos relacionados aos efeitos estáticos e dinâmicos do vento sobre construções civis em geral, seus usuários e entornos, incluindo pedestres, veículos e plantas. Ademais, viabiliza o desenvolvimento de estudos sobre poluição, por meio da análise de dispersão de gases e resíduos sólidos na atmosfera (BLESSMANN, 2011).



Figura 3.1: Vista externa do túnel de vento *Professor Joaquim Blessmann* (fonte: UFRGS, 2020).

Classificado como de retorno fechado, o túnel em questão permite a recirculação do escoamento em seu interior, esse último promovido pela movimentação das hélices de um dispositivo acionado por um motor elétrico de 75 kW de potência. A seção principal de trabalho possui 1,30 x 0,90 x 9,32 metros de largura, altura e comprimento, respectivamente, o que resulta em uma relação comprimento/altura igual a 10,3. A velocidade máxima do escoamento nessa

câmara, para a ausência de modelos e considerando vento uniforme e suave, supera 42 m/s (BLESSMANN, 2011). Seu circuito aerodinâmico pode ser visualizado na Figura 3.2.

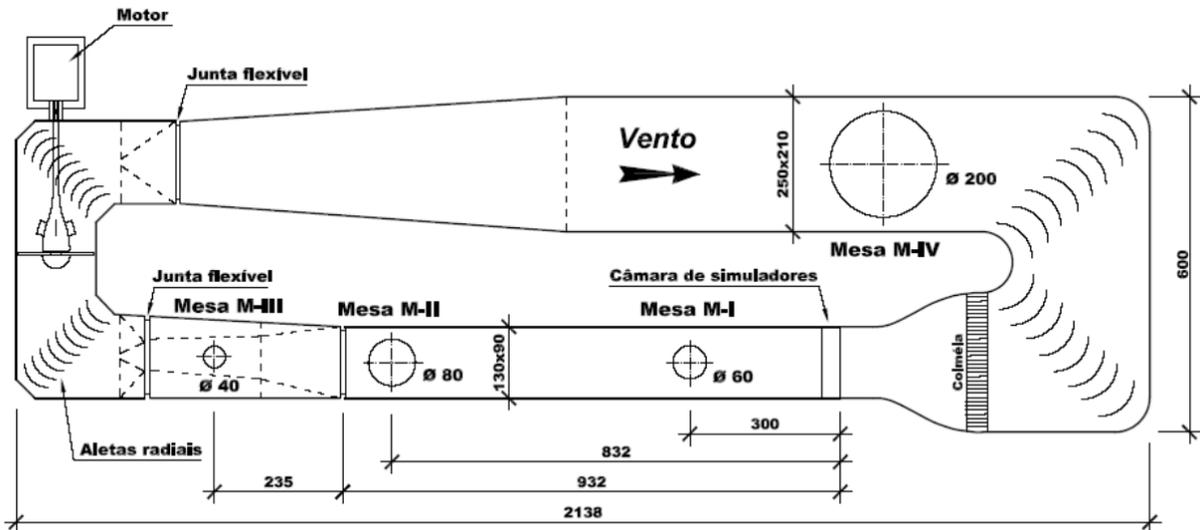


Figura 3.2: Circuito aerodinâmico do túnel de vento *Professor Joaquim Blesmann*. Dimensões em centímetros (fonte: adaptado de UFRGS, 2020).

O túnel permite a simulação da CLA em diferentes cenários, por meio da adição de dispositivos de rugosidade, bloqueio e jatos de ar. Para a fixação dos modelos, conta com quatro mesas giratórias, M-I, M-II, M-III e M-IV, cada qual com a sua aplicação específica. As mesas possuem 60, 80, 40 e 200 centímetros de diâmetro, respectivamente (BLESSMANN, 1982). A análise experimental do presente trabalho foi realizada na mesa M-II, localizada ao final da câmara principal de ensaio, posto que é a indicada para análises estáticas de modelos rígidos para a construção civil.

Ao longo de sua história, o LAC já desenvolveu diversas pesquisas envolvendo diferentes tipos de estruturas. Dentre elas, pode-se citar edifícios, torres de telecomunicações, linhas de transmissão, pontes, coberturas de estádios, além de análises da ação do vento em pedestres, de erosão eólica, dispersão de poluentes e operação de helipontos (NÚÑEZ; LOREDO-SOUZA; ROCHA, 2012).

A cada ensaio realizado no túnel, a velocidade média do vento é monitorada por meio de um diferencial de pressão estática, ΔP_a , resultante da medição entre dois anéis piezométricos localizados nos extremos do convergente da entrada da seção principal de trabalho. Essa leitura

é feita por meio de um manômetro digital, o qual fornece leituras em mmH₂O. A diferença de pressão entre esses dois anéis é então relacionada com a pressão dinâmica de referência, q , por meio de um coeficiente adimensional k_0 , conforme descrito na Equação (3.1). Esse coeficiente varia com o perfil de velocidade do vento em estudo e com a altura, sendo normalmente definido em relação ao topo do modelo (SARTORI, 2010; MELO, 2020).

$$q = k_0 \Delta P_a \quad (3.1)$$

A partir do cálculo da pressão dinâmica, é possível, então, determinar a velocidade média no topo do modelo, de acordo com a Equação (3.2):

$$\overline{V}_H = k_b \sqrt{\frac{2\overline{q}_H}{\rho_{ar}}} \quad (3.2)$$

na qual:

\overline{V}_H consiste na velocidade média no topo do modelo (m/s);

\overline{q}_H representa a pressão dinâmica média no topo do modelo (mmH₂O), determinada a partir da Equação (3.1);

k_b é o fator de bloqueio.

ρ_{ar} é a massa específica do ar (kg/m³).

O fator de bloqueio é influenciado pela porção da seção transversal do túnel ocupada pelo modelo ensaiado. É importante garantir que esse bloqueio por parte do modelo não seja muito acentuado, uma vez que o escoamento é restringido a uma área menor e pode sofrer uma elevação significativa de sua velocidade, refletindo em pressões e forças aerodinâmicas superiores às desejadas. Normalmente, é aconselhável que a área bloqueada não supere 10% da área da seção transversal de trabalho (IRWIN, DENOON, SCOTT, 2013).

Já a massa específica do ar no durante o ensaio é determinada de acordo com a Equação (3.3):

$$\rho_{ar} = \frac{P_{atm}}{R(\Theta + 273,15)} \quad (3.3)$$

na qual:

P_{atm} consiste na pressão atmosférica no momento do ensaio (Pa);

R representa a constante universal dos gases, assumindo um valor igual a 287,05 J/kg.K para o ar seco;

Θ é a temperatura medida durante o ensaio (°C).

3.2 SIMULAÇÃO DO VENTO NATURAL

A fim de que o túnel de vento cumpra sua função de replicar a física real dos carregamentos oriundos da ação do vento em escala reduzida, é necessário que sejam cumpridos requisitos de similaridade, tanto referentes ao modelo em si e sua vizinhança, quanto em relação às características do escoamento. O último caso envolve a devida simulação do perfil vertical de velocidade média do vento no interior da CLA, além das características de turbulência. Para isso, são utilizados métodos passivos, ativos ou uma combinação de ambos.

O primeiro método, mais empregado no túnel de vento *Professor Joaquim Blessmann*, utiliza-se da combinação estratégica de diferentes dispositivos que conferem rugosidade ao piso do túnel e bloqueios ao escoamento, elevando, assim, sua turbulência. Dentre esses dispositivos, incluem-se blocos paralelepípedicos dispostos ao longo da superfície da câmara de ensaio, além de agulhas, placas perfuradas, barreiras e dispositivos de mistura em sua entrada. Já o segundo método é caracterizado pelo lançamento de jatos de ar perpendiculares ao escoamento (LOREDO-SOUZA; SCHETTINI; PALUCH, 2004).

Na mesa M-II do túnel em questão, são simulados ventos de caráter deslizante e turbulento, cujos perfis de velocidade podem ser descritos por meio de leis potenciais. Para o desenvolvimento desta pesquisa, foi utilizado um perfil de velocidade média de expoente característico $p = 0,23$, corresponde a terrenos de rugosidade situados entre as categorias III e IV da NBR 6123 (ABNT, 1988, p.8). Esse perfil foi selecionado por simular um escoamento de turbulência intermediária, representativo de subúrbios caracterizados pela presença de obstáculos mais dispersos a pouco espaçados e numerosos, respectivamente.

A Figura 3.3 ilustra as principais características dos ventos comumente simulados na mesa giratória M-II, incluindo o perfil de velocidades médias de interesse, estas adimensionalizadas pela velocidade média na altura de 450 milímetros (eixo vertical do túnel), $V(z)/V(z_{ref})$, além dos perfis de intensidade, I_I , e da macroescala da componente longitudinal de turbulência, L_I .

Os perfis referentes à lei potencial de expoente característico $p = 0,23$ se encontram representados em cor laranja.

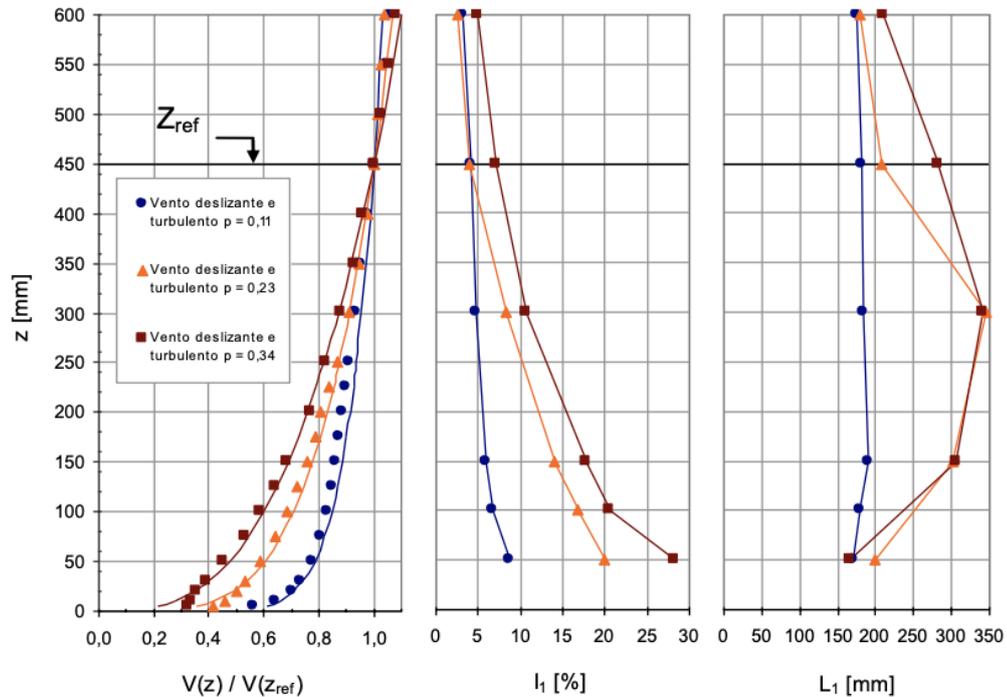


Figura 3.3: Perfis de velocidade média, intensidade e macroescala da componente longitudinal de turbulência, considerando os expoentes característicos da lei potencial 0,11, 0,23 e 0,34 (fonte: Núñez; Loredou-Souza; Rocha, 2012).

3.3 CARACTERIZAÇÃO DOS MODELOS

A concepção de modelos reduzidos resulta de um processo iterativo, caracterizado pelo balanceamento entre requisitos de similaridade a serem satisfeitos e limitações impostas pelo túnel de vento. Esse equilíbrio deve ser resultado de uma análise cuidadosa, a fim de que as condições do modelo e ensaio se aproximem ao máximo da configuração real (NÚÑEZ; LOREDO-SOUZA; ROCHA, 2012).

Como já exposto no primeiro capítulo, brises configurados por painéis ripados ou quadriculados no sistema *sliding & folding* foram selecionados para o desenvolvimento da presente pesquisa. Essa escolha foi feita com base em uma extensa pesquisa sobre o cenário arquitetônico brasileiro atual, a qual resultou na identificação dessa nova tendência em edificações

residenciais das mais variadas alturas. Diante de sua maior relevância para o estudo aerodinâmico, restringe-se a análise a edifícios altos.

Posto que um dos objetivos principais deste trabalho é avaliar a influência desses elementos na distribuição de pressões externas em fachadas, inicialmente se avaliou um modelo de fachada lisa, a fim de promover um comparativo entre os resultados. Seguindo as mesmas dimensões desse modelo, outros dois equivalentes foram analisados: um com o acréscimo de projeções horizontais a cada pavimento e outro incorporando esses elementos em adição a diferentes combinações de brises. A concepção desse modelo intermediário se fez necessária para avaliar a interferência provocada pelas projeções horizontais antes de serem associadas aos brises. Esses elementos são previstos em instruções de combate a incêndio como uma estratégia para prevenir a dissipação do fogo entre as aberturas de dois pavimentos consecutivos.

Os três modelos foram avaliados isoladamente, sem contabilizar quaisquer efeitos de vizinhança. Demais considerações e simplificações adotadas, bem como os detalhes de cada um dos modelos, se encontram descritos nos itens subsequentes.

3.3.1 Modelo I: fachada lisa

Como objeto base, optou-se pela utilização de um modelo de edifício alto já disponível no acervo do LAC, constituído por uma base retangular de 112,5 x 75,00 milímetros e uma altura de 450 milímetros. A partir dessas proporções, simulou-se um edifício alto na escala geométrica 1:250, isto é, de seção transversal retangular com 28,125 x 18,75 metros e 112,5 metros de altura, conforme apresentado na Figura 3.4.

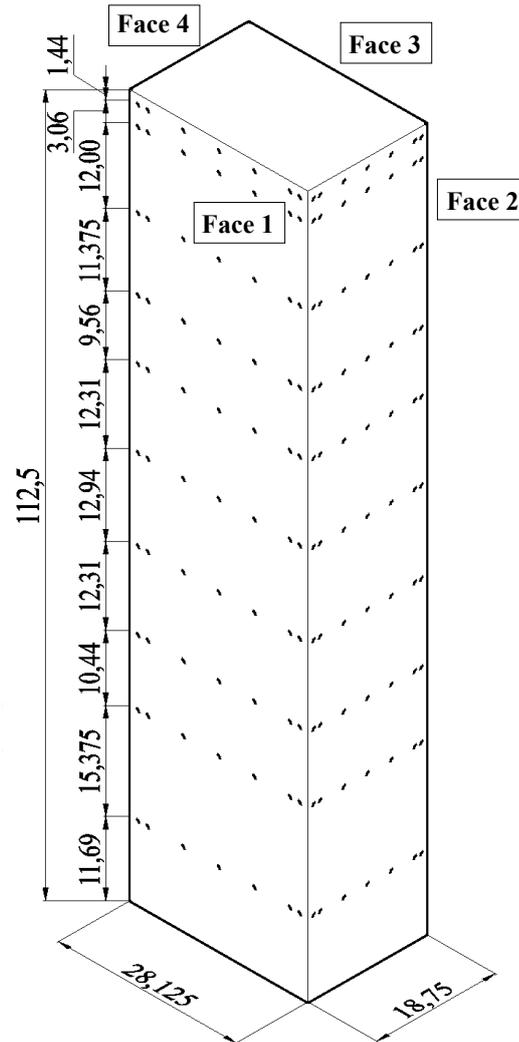


Figura 3.4: Perspectiva do Modelo I. Dimensões em metros. (fonte: autora).

O modelo existente foi construído pela equipe do técnico Paulo Francisco Bueno, em chapas de acrílico de 3,0 milímetros de espessura, conectadas por adesivo instantâneo multiuso. O objeto foi instrumentado com 280 tomadas de pressão, dispostas em 10 linhas horizontais, cada uma composta por 28 unidades (SARTORI, 2010), conforme ilustrado na Figura 3.4. Essa distribuição respeita a configuração de tomadas de pressão proposta por Melbourne (1980), contendo as 20 posições determinadas, além da adição de quatro tomadas por fachada, próximas aos cantos do modelo, conforme o esquema detalhado na Figura 3.5.

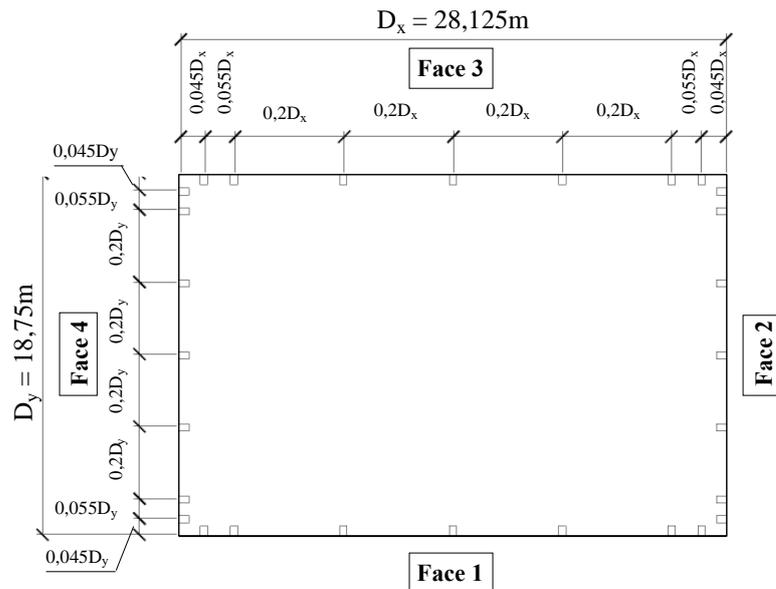


Figura 3.5: Esquema representativo das posições das tomadas de pressão na planta do Modelo I (fonte: autora).

3.3.2 Modelo II: projeções horizontais

A fim de prevenir a propagação do fogo entre pavimentos adjacentes, o Corpo de Bombeiros indica que sejam seguidas as disposições da Instrução Técnica N° 09/19, referente a compartimentações verticais e horizontais em edificações (SECRETARIA DE ESTADO DOS NEGÓCIOS DA SEGURANÇA PÚBLICA, 2019). Segundo o documento, a fachada de um edifício deve dispor de elementos corta-fogo separando as aberturas de pavimentos consecutivos, os quais englobam vigas, parapeitos ou prolongamento dos entrespisos. Dentre as soluções, a última foi a utilizada para o desenvolvimento do modelo, respeitando a projeção mínima de 90,0 centímetros a partir da superfície externa da fachada.

A fim de que não fossem provocados danos ao modelo pertencente ao acervo do LAC, um novo modelo teve de ser concebido. Assim, respeitando os mesmos detalhes geométricos descritos no item 3.3.1, o novo modelo foi constituído em chapas de acrílico de 2,0 milímetros de espessura, conectadas através do uso de adesivo instantâneo multiuso. Já as projeções horizontais, de 2,0 milímetros de espessura e 3,6 milímetros de largura, foram confeccionadas a partir de impressão 3D, por meio da tecnologia FDM (“*Fused Deposition Modelling*”), a qual compõe elementos por meio da extrusão de termoplásticos em camadas sobrepostas.

Tais elementos também foram acoplados ao modelo através da utilização de adesivo instantâneo multiuso, a cada 12,0 milímetros, simulando pés direitos de 3,0 metros de altura. Um esquema da disposição das projeções horizontais pode ser visualizado na Figura 3.6.

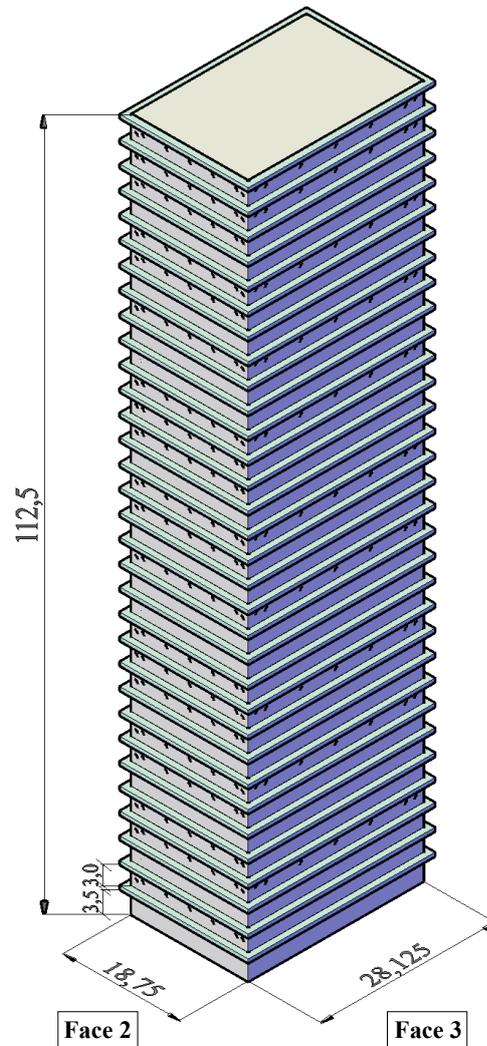


Figura 3.6: Perspectiva do Modelo II. Dimensões em metros (fonte: autora).

A disposição das tomadas de pressão também pode ser visualizada na Figura 3.6. Enquanto a face 3 foi instrumentada com um total de 70 tomadas de pressão, respeitando a mesma disposição da face equivalente do Modelo I, a face 2 foi equipada com 140 tomadas, distribuídas em 20 cotas ao longo da altura do modelo. A razão desta face ter sido instrumentada com um maior número de tomadas se deve à necessidade de registros de pressão para o terceiro ensaio, o qual envolve o modelo com a incorporação dos brises. O mesmo ocorre com as faces 1 e 4, cuja disposição das tomadas atende às demandas para a análise dos brises.

3.3.3 Modelo III: brises

Por fim, o terceiro modelo consistiu na mesma estrutura descrita na Figura 3.6, porém com a adição de diferentes combinações de brises deslizantes e articulados. Partindo da compartimentação vertical em 32 pavimentos, promovida pelas projeções horizontais, dispuseram-se os brises ao longo de 31 pavimentos, nas faces 1, 2 e 4 (Figura 3.8). Tais elementos foram incorporados em 10 combinações distintas, repetidas ao longo da altura das faces do modelo. Para a face 1, foram designados brises articulados e para as faces 2 e 4, deslizantes. Por meio dessa abordagem, buscou-se simular a dinamicidade da fachada, promovida pelo mecanismo *sliding & folding*, avaliando também a influência da altura nas combinações. Cada um dos arranjos contou com a associação de uma ou mais configurações de brises apresentadas na Figura 3.7.

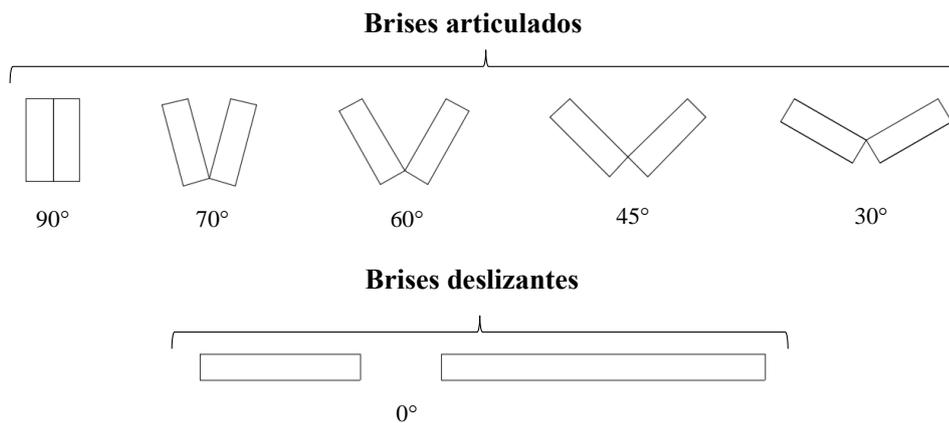


Figura 3.7: Configurações de brises selecionadas para compor o Modelo III (fonte: autora).

Quanto às dimensões dos elementos, de acordo com o catálogo da empresa Hunter Douglas (2020), cujos produtos figuram em diversos projetos encontrados durante a pesquisa, os painéis articulados podem possuir, no máximo, 70 centímetros de largura e 3,0 metros de altura, correspondente ao pé direito dos pavimentos do modelo. Com base nessas disposições, optou-se por manter a altura e aumentar levemente a largura dos elementos, a fim de que coincidisse com o limite das projeções horizontais. Vale mencionar também que o catálogo da empresa apresenta duas formas de operação para esse tipo de painéis: via extremidade e via centro. Ambas foram representadas ao longo das combinações.

Já para os painéis deslizantes, não foram encontradas limitações para as dimensões. Diante disso, adotou-se a altura de um pé direito e larguras de 1,5 e 3,0 metros, com a incorporação desses elementos a uma distância de 52,5 centímetros da estrutura principal (2,1 milímetros em escala). Quanto à espessura, encontraram-se valores situados entre 28,0 e 50,0 milímetros (HAWA, 2017), correspondente a uma espessura da ordem de 0,2 milímetros em escala. Diante da dificuldade de reprodução, adotou-se uma espessura de 1,0 milímetro. Um resumo das dimensões adotadas pode ser visualizado na Tabela 3.1.

Tabela 3.1: Dimensões dos brises do Modelo III (mm).

ALTURA	LARGURA BRISES ARTICULADOS	LARGURAS BRISES DESLIZANTES	ESPESSURA
12,0	3,1	6,0 e 12,0	1,0

(fonte: autora).

Devido ao elevado nível de detalhamento dos brises, estes também foram confeccionados por meio de impressão 3D, através da tecnologia FDM. Diante da escala tão reduzida dos elementos e da consequente complexidade de sua reprodução, a permeabilidade característica dos painéis teve de ser negligenciada. Dessa forma, todos os elementos foram modelados como sólidos, de modo a conduzirem à obtenção de valores mais conservadores de pressões durante os ensaios. Diante de todas as considerações apresentadas, a proposta de modelo se encontra detalhada na Figura 3.8. Além da disposição dos brises nas vistas frontais das faces 1, 2 e 4, é possível verificar a delimitação dos três níveis que contém as 10 combinações de brises idealizadas: superior, intermediário, inferior, além do nível base, o qual apenas contém uma combinação. Maiores detalhes das linhas de brises e suas disposições podem ser observadas na Figura 3.9.

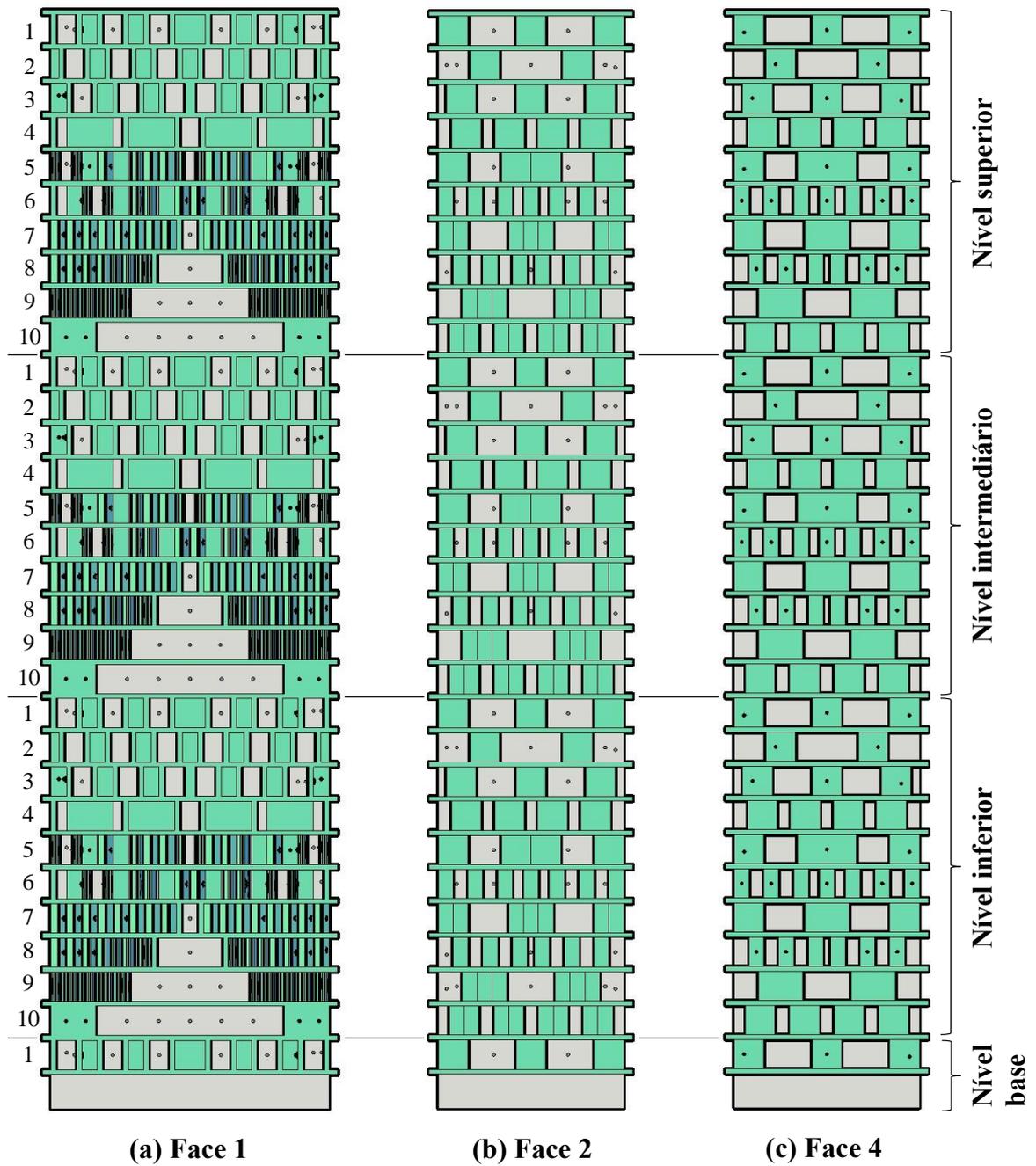


Figura 3.8: Caracterização das fachadas utilizadas nas análises do Modelo III (fonte: autora).

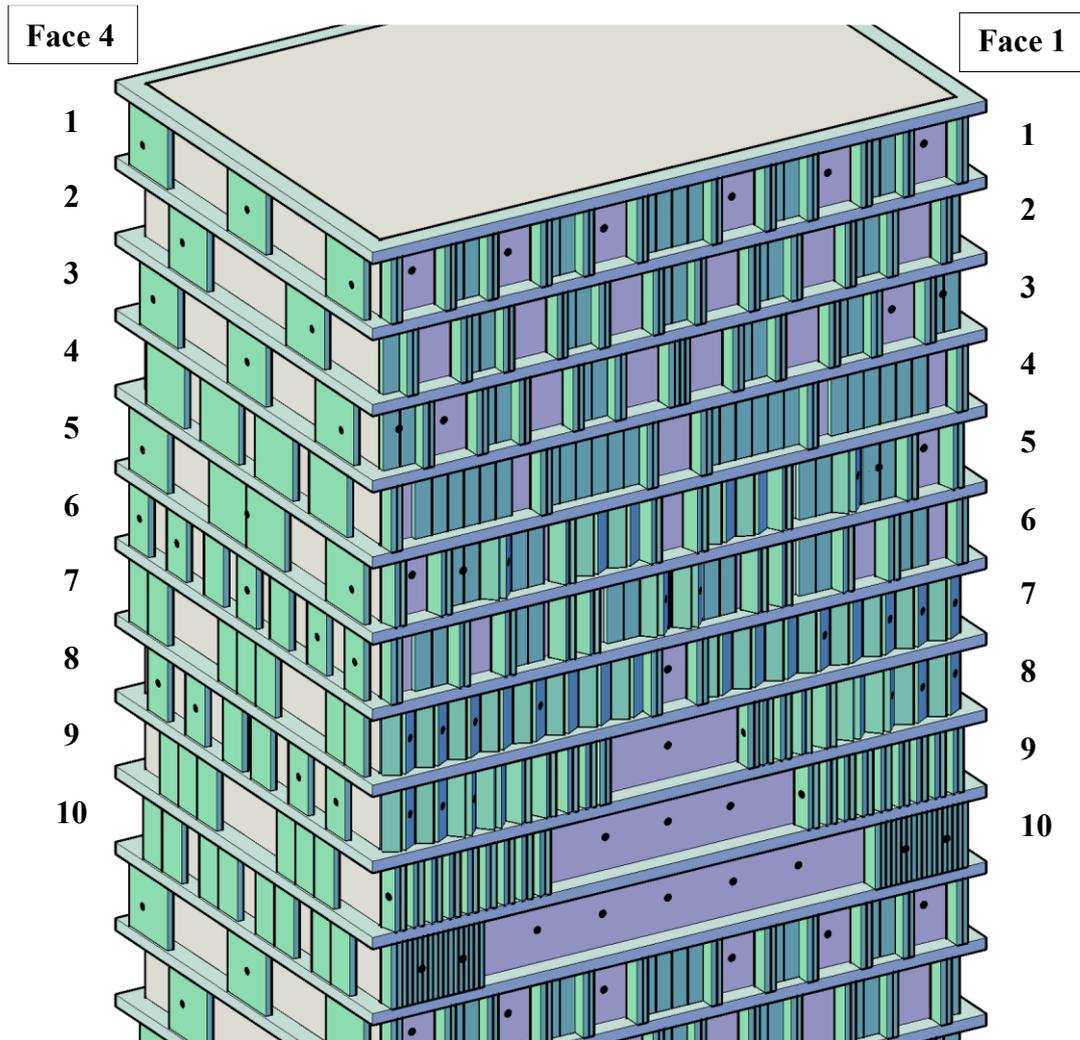


Figura 3.9: Detalhes das faces 1 e 4 do Modelo III: instrumentação e combinações de brises (fonte: autora).

Como pode ser observado na Figura 3.8 e nos detalhes da Figura 3.9, nas faces 1 e 4 foram instrumentados brises estrategicamente selecionados, a fim de avaliar as pressões do vento incidentes sobre eles. Com a repetição das combinações numeradas, um total de 160 brises foram instrumentados na face 1 e de 63 na face 4. Além das faces supracitadas, brises deslizantes também foram incorporados à face 2, viabilizando o comparativo entre as medições de pressão na superfície do modelo na ausência e na presença dos brises, uma vez que as tomadas desta face foram posicionadas na superfície das chapas de acrílico. Já a face 3 permaneceu idêntica à do item 3.3.2, sem a necessidade de adição dos brises diante da simetria do modelo e do ensaio deste sem qualquer vizinhança. Assim, o terceiro modelo contou com um total de 499 tomadas de pressão. Um resumo de suas principais características pode ser visualizado na Tabela 3.2. Já os modelos I, II e III, utilizados para o desenvolvimento da pesquisa, podem ser visualizados na Figura 3.10, Figura 3.11 e Figura 3.12, respectivamente.

Tabela 3.2: Principais características do Modelo III.

	FACE 1	FACE 2	FACE 3	FACE 4
ALTURA	450,0 mm	450,0 mm	450,0 mm	450,0 mm
LARGURA	112,5 mm	75,0 mm	112,5 mm	75,0 mm
BRISES INSTRUMENTADOS	160	-	-	63
TOTAL TOMADAS	226	140	70	63

(fonte: autora).



Figura 3.10: Modelo I (fonte: autora).



Figura 3.11: Modelo II (fonte: autora).

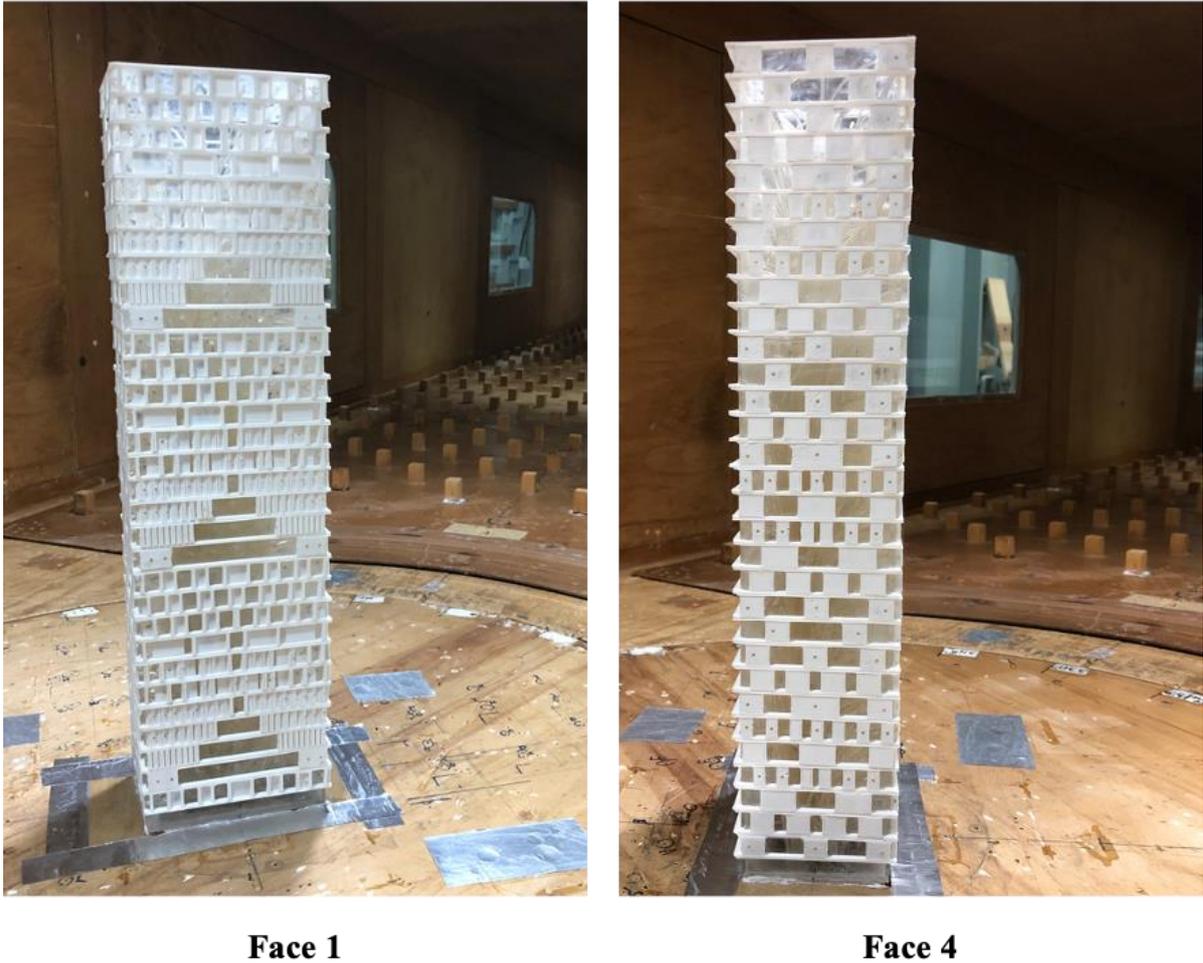


Figura 3.12: Modelo III (fonte: autora).

3.4 PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

Constituídos os modelos, deu-se início a etapa de ensaios. Para a coleta dos dados pertinentes ao desenvolvimento da presente pesquisa, as diversas tomadas de pressão dos modelos foram conectadas a transdutores de pressão por meio de tubos pneumáticos de silicone de 1,4 milímetros de diâmetro. Esses transdutores são responsáveis pela conversão das medições de pressões locais em sinais elétricos analógicos, os quais são lidos por um sistema computadorizado de aquisição de dados e armazenados para posterior processamento (ALAN G. DAVENPORT WIND ENGINEERING GROUP, 2007). Essa abordagem permite a leitura simultânea de todas as tomadas de pressão para um dado ângulo de incidência do vento.

O sistema de aquisição de dados utilizado no LAC (Figura 3.13) é composto por seis módulos do aparelho ZOC33 conectados a um computador, cada qual composto por 64 transdutores de

pressão, conforme detalhado na Figura 3.14. O *software* utilizado para a aquisição de dados é o RAD4000 da empresa *Scanivalve*, a mesma que manufatura os aparelhos.

Esse sistema permite a coleta de amostras de, aproximadamente, 16,78 segundos a uma taxa de aquisição próxima a 488,28 Hz, totalizando 8192 dados de pressão instantânea por tomada. Para cada um dos modelos, foram realizadas 24 coletas de dados, correspondentes a ângulos de incidência do vento variando de 0° a 345°, em intervalos de 15°.



Figura 3.13: Sistema de aquisição de dados do LAC (fonte: Sartori, 2010).

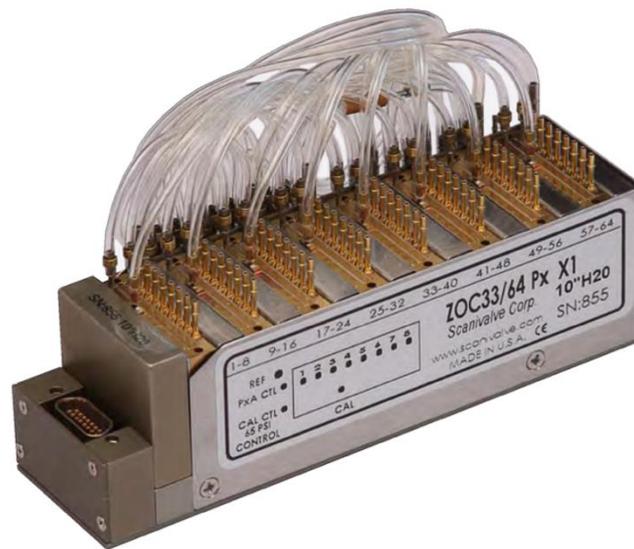


Figura 3.14: Transdutor de pressões modelo ZOC33 (fonte: Scanivalve, 2016).

Durante os ensaios envolvendo os modelos I e II, foi possível realizar a aquisição de dados de todas as tomadas de pressão, simultaneamente. Todavia, para o Modelo III, a aquisição teve de ser dividida em duas etapas, uma vez que o número de tomada de pressão ultrapassou o número de transdutores disponíveis no aparelho. Na primeira etapa mediu-se as pressões nas tomadas posicionadas na fachada e na segunda, nas posicionadas nos brises.

3.5 PROCESSAMENTO DE DADOS

Após a realização dos ensaios, deu-se início ao processamento de dados, a fim de se obterem os coeficientes de pressão na superfície das fachadas e também nos brises estrategicamente selecionados e instrumentados. Para esta etapa, utilizou-se um *script* elaborado pela autora, utilizando a linguagem de programação Python.

Primeiramente, a partir das pressões instantâneas medidas e armazenadas durante os ensaios, obtiveram-se os valores médio, r.m.s., mínimo e máximo de cada tomada de pressão, para cada ângulo de incidência do vento. Em seguida, foram obtidos os coeficientes adimensionais de pressão correspondentes por meio da normalização das pressões pela pressão dinâmica média referente ao topo do modelo, obtida por meio da Equação (3.1). Vale ressaltar que os valores r.m.s. utilizados correspondem aos desvios padrões em relação às pressões médias e que os valores mínimos e máximos não sofreram qualquer tratamento estatístico, sendo caracterizados pelos valores mais significativos observados durante o tempo de registro.

Os valores de diferencial de pressão estática, ΔP_a , foram medidos para cada um dos ângulos de incidência do vento, durante os ensaios de cada um dos modelos. Já o coeficiente adimensional k_0 foi tomado como 1,185, definido em relação ao topo dos modelos, localizado na cota de 450 milímetros (coincidente com o eixo vertical do túnel, x_3); considerando um perfil de velocidade média do vento com expoente característico da lei potencial $p = 0,23$; e que os modelos se encontravam centralizados no eixo da seção transversal do túnel ($x_2 = 0$).

A fim de promover a melhor visualização e interpretação dos dados processados, foram também confeccionados diagramas representativos da distribuição dos coeficientes adimensionais de pressão externa nas superfícies das fachadas dos modelos e de seus elementos. Tais diagramas serão apresentados e discutidos ao longo dos subcapítulos 4.2 e 4.3

4 RESULTADOS

Apresentados o embasamento teórico, a metodologia, os parâmetros adotados e os recursos utilizados para o desenvolvimento desta pesquisa, dedica-se este capítulo a exposição dos principais resultados obtidos a partir dos experimentos realizados. Ao longo deste, serão caracterizadas as distribuições dos coeficientes adimensionais de pressão externa nas faces 1 e 2 dos três modelos objetos de análise do presente trabalho, estas análogas às faces 3 e 4, respectivamente. Inicialmente, criar-se-á um panorama das modificações provocadas pela introdução dos elementos de fachada e de como os brises são solicitados, considerando os 24 ângulos de incidência do vento e cada um dos coeficientes avaliados, sendo expostos apenas os valores e diagramas mais pertinentes, devido à restrição de espaço. Em seguida, visando fornecer noções mais reais de como fachadas dotadas destes elementos são solicitadas, serão apresentadas envoltórias de pressões de picos mínimos e máximos, por meio da combinação dos coeficientes aerodinâmicos analisados a estatísticas do vento fornecidas pela ABNT NBR 6123:1988.

4.1 DISPOSIÇÕES INICIAIS

Antes da apresentação dos principais resultados, faz-se necessária a explicitação de algumas convenções e critérios adotados durante as análises. Primeiramente, vale recapitular o que cada um dos quatro tipos de coeficiente adimensional de pressão externa, c_{pe} , os quais estamparão os diagramas, representa. Os coeficientes médio, de pico mínimo, pico máximo e r.m.s., representam, respectivamente, os valores médio, máximo, mínimo e o desvio padrão provenientes da análise de 8192 dados de pressão superficial instantânea, em relação a uma pressão estática de referência, adquiridos ao longo de um período de amostragem de 16 segundos, para cada uma das tomadas de pressão e para cada ângulo de incidência do vento examinado. Vale ressaltar que os valores de pico utilizados não sofreram tratamento estatístico, correspondendo à menor e maior pressão adquiridas dentro do tempo de registro adotado.

Além da elucidação acerca dos coeficientes de pressão que serão retratados nos diagramas dos próximos subcapítulos, é necessário também referenciar a designação dos ângulos de incidência do vento analisados. Para isso, fixou-se a disposição ilustrada na Figura 4.1.

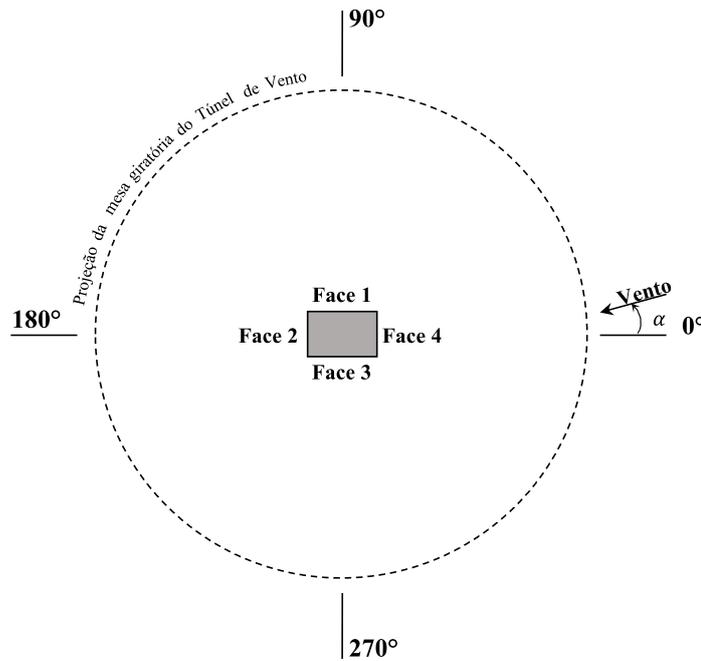


Figura 4.1: Referência para os ângulos de incidência do vento (fonte: autora).

Como abordagem analítica, estabeleceu-se um estudo comparativo entre os coeficientes de pressão observados para o modelo dotado de projeções horizontais (Modelo II) e para o modelo com a adição dos brises deslizantes e articulados (Modelo III), em relação ao modelo de fachadas lisas (Modelo I), utilizado como referência. Assim, procurou-se identificar as principais modificações provocadas pela incorporação desses elementos à distribuição de pressões nas faces do modelo de edifício em sua forma simplificada e genérica, configuração esta retratada pelas normas de dimensionamento. Ademais, concentrou-se também na identificação de brises submetidos a coeficientes de pressão de magnitudes superiores à tendência verificada para o Modelo I, além da indicação das combinações que culminam nos coeficientes resultantes mais severos sobre os elementos, visando salientar possíveis pontos de alerta para projetistas.

Para facilitar a identificação dos detalhes supracitados, optou-se pela setorização das faces 1 e 2 nas nove regiões retratadas na Figura 4.2. Apesar desta utilizar como exemplo as faces

referentes ao Modelo I, as mesmas regiões foram replicadas para os modelos II e III. Além das análises já descritas, para cada uma dessas regiões, também foram eleitos os valores mais significativos de cada um dos tipos de coeficientes adimensionais de pressão avaliados, isto é, o maior e o menor valor dentre os coeficientes médios de uma região, o maior valor de coeficiente r.m.s., o menor valor de coeficiente de pico mínimo e o maior valor de coeficiente de pico máximo, totalizando cinco adimensionais que foram convenientemente denominados de coeficientes característicos de cada região. Alguns destes valores são descritos ao longo do texto do capítulo, porém sua relação completa se encontra disponível no Apêndice I.

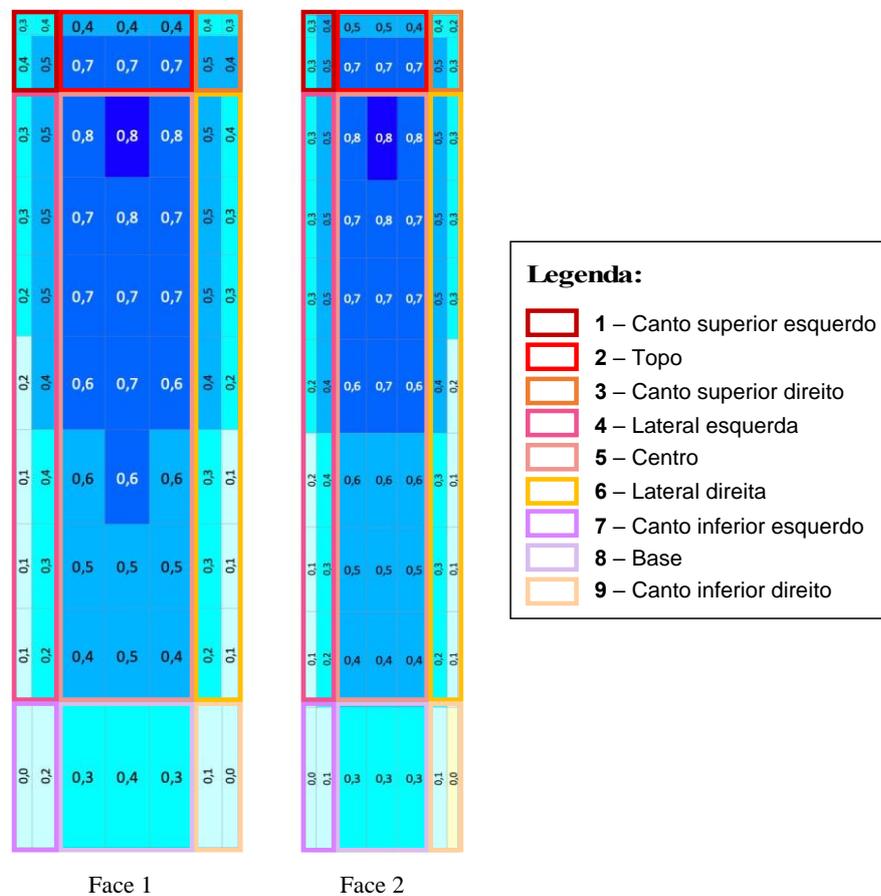
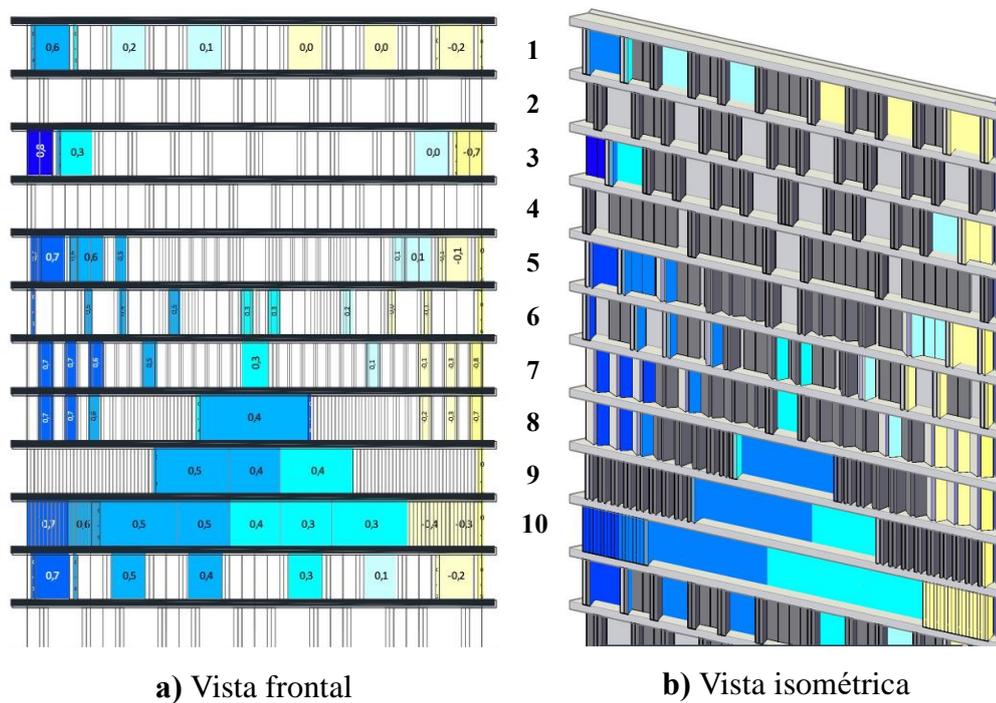


Figura 4.2: Exemplo de setorização das faces 1 e 2 utilizada como base para as análises dos coeficientes aerodinâmicos (fonte: autora).

Finalmente, antes da exposição dos resultados, faz-se necessária a explicitação do diagrama referente à face 1 do Modelo III, a qual contém os brises deslizantes e articulados. Devido à restrição de espaço e à dificuldade de reprodução da distribuição dos coeficientes em vista isométrica, adota-se a representação de uma vista frontal, exemplificada na imagem (a) da Figura 4.3, a fim de reproduzir a disposição observada na imagem (b). Nota-se que para a

análise ângulo a ângulo, apenas se expõe os valores referentes às folhas de brises instrumentadas, as quais ficam voltadas para o lado direito. Para a análise dos coeficientes resultantes nos brises, os dados referentes às folhas voltadas para o lado esquerdo puderam ser obtidos por meio da avaliação de ângulos complementares, considerando apenas os casos mais críticos para cada elemento. Uma vez que o alvo da análise do Modelo III consiste na identificação dos coeficientes de pressão referentes aos brises, optou-se por não realizar a interpolação de valores para as demais áreas de influência.



Legenda:	
 $cp > 1,2$	 $cp < -3,5$
 $1,0 < cp \leq 1,2$	 $-3,0 > cp \geq -3,5$
 $0,8 < cp \leq 1,0$	 $-2,5 > cp \geq -3,0$
 $0,6 < cp \leq 0,8$	 $-2,0 > cp \geq -2,5$
 $0,4 < cp \leq 0,6$	 $-1,5 > cp \geq -2,0$
 $0,2 < cp \leq 0,4$	 $-1,0 > cp \geq -1,5$
 $0,0 < cp \leq 0,2$	 $-0,5 > cp \geq -1,0$
 $cp = 0,0$	 $0,0 > cp \geq -0,5$

Figura 4.3: Vistas frontal (a) e isométrica (b) da distribuição de coeficientes de pressão média, externos, referente a porção superior da face 1 do Modelo III, considerando o azimute de 45° (fonte: autora).

Vale ressaltar que a delimitação dos retângulos observados nas imagens respeita a área de influência de cada tomada de pressão e que a escala de cores utilizada para a representação dos

coeficientes varia conforme suas magnitudes. Ademais, é importante salientar que os diagramas desconsideram os efeitos das pressões internas.

4.2 ANÁLISE: FACE 1

4.2.1 Coeficientes médios

Para 0° , isto é, considerando vento paralelo à face, constata-se apenas o desenvolvimento de sucções, com coeficientes predominantemente situados entre -0,5 e -1,0. A análise comparativa entre os modelos demonstra que a introdução dos elementos de fachada provoca uma considerável diminuição na magnitude das sucções, sobretudo nas regiões situadas na metade esquerda da face, aonde o valor característico cai de -0,94, relativo ao modelo de referência (Modelo I), para -0,86 e -0,85 para os modelos II e III. Já na lateral direita da face, inclusas as regiões de canto, destaca-se uma elevação nas magnitudes dos coeficientes, de modo que o valor característico da região sobe de -0,68 para -0,78 e -0,72, segundo a mesma ordem.

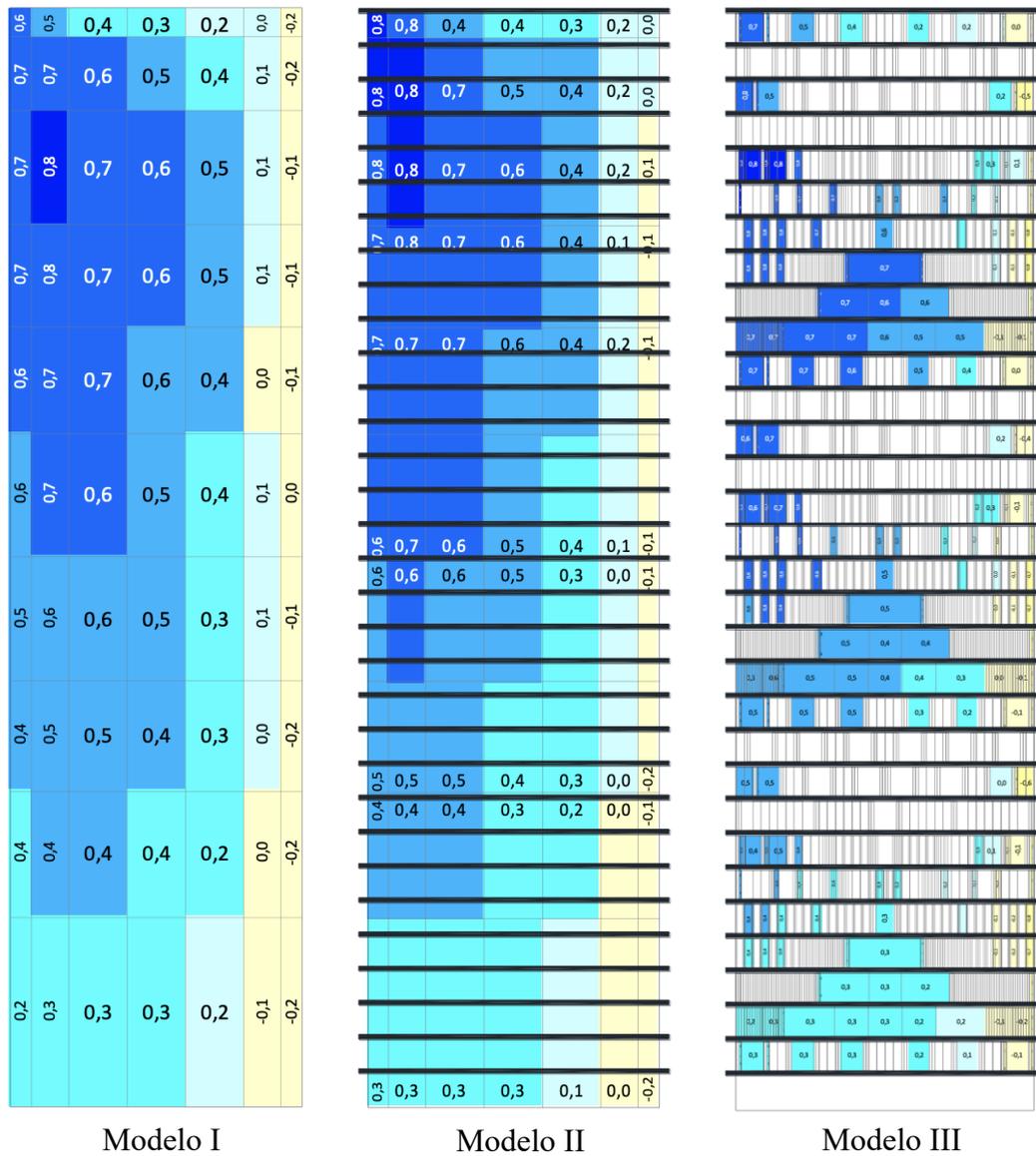
Para o azimute subsequente, 15° , também há a ocorrência exclusiva de sucções para os três modelos, todavia atingindo valores mais expressivos ao longo da metade esquerda da face, como pode ser observado na Figura 4.4. Nessa faixa, destaca-se a ocorrência de alguns dos coeficientes mais expressivos dentre os ângulos de incidência do vento avaliados, especificamente na região do canto superior. Enquanto o valor observado para o Modelo I é de -1,07, para o Modelo II tem-se -1,22 e para o III, -1,09, no primeiro brise da linha 3, configurando uma elevação das magnitudes no local. Ademais, vale destacar o aumento na magnitude do coeficiente característico ao longo da lateral direita da face do Modelo III, incluindo as regiões dos cantos, de -0,49 para -0,61.

Para 30° , inicia-se o surgimento de regiões de sobrepressões para os três modelos, as quais se desenvolvem até o ângulo de incidência de 150° . Para o primeiro, o principal efeito provocado pela adição dos acessórios de fachada consiste na redução da área abrangendo os coeficientes positivos, em sua maioria muito próximos a zero e localizados na região central, além da elevação da magnitude dos coeficientes negativos verificados ao longo da lateral direita da face. Nessa região, o destaque fica para o Modelo III, para o qual o valor característico sobe de -0,33 para -0,70. Já de 45° a 135° , as sobrepressões passam a se intensificar, assumindo valores superiores a 0,7. A região contendo estes valores mais expressivos começa a se desenvolver a

Para 45° e 60° , a superioridade das sobrepressões médias se resume ao canto superior esquerdo da face, sendo a elevação mais expressiva observada para 60° , para o qual os valores característicos se elevam de 0,68, referente ao Modelo I, para 0,71 e 0,81, para os modelos II e III, respectivamente. Para o último, vale mencionar que o valor se refere ao primeiro brise da linha 3, de abertura igual a 0° . Ademais, para o mesmo azimute, ressalta-se uma expressiva elevação na magnitude das sucções ao longo de toda a extensão da lateral direita da face, de -0,24 para -0,32 e -0,76, segundo a mesma ordem. Para o terceiro modelo, destacam-se os últimos brises das linhas 7 e 8, de ângulo de abertura igual a 30° , nos três níveis de incorporação. Detalhes da distribuição desse intervalo podem ser visualizados na Figura 4.5.

Já para 75° , o aumento das sobrepressões se estende para toda a porção de topo, apesar de seguir ocorrendo de modo mais significativo na região do canto esquerdo, com a elevação do coeficiente característico de 0,65, referente ao Modelo I, para 0,76 e 0,80 para os modelos II e III, respectivamente. Ademais, assim como identificado para os dois azimutes anteriores, constata-se elevações mais sutis também ao longo da metade superior da lateral esquerda da face, com destaque para os primeiros brises pertencentes às linhas 1, 3, 5 e 6, de ângulos de abertura iguais ou superiores à 60° . Quanto às sucções, novamente se evidenciam elevações expressivas na magnitude dos coeficientes a que estão sujeitos os brises mais extremos da lateral direita, especialmente nas linhas 7 e 8, onde os coeficientes chegam a atingir valores próximos a -0,96, enquanto para a mesma região do Modelo I estes são positivos e próximos a 0,0.

Considerando vento perpendicular à face, correspondente ao azimute de 90° , verifica-se a ocorrência de sobrepressões em praticamente toda a face dos Modelos I e II, sendo que a única diferença a se destacar do segundo para o primeiro é a superioridade das sobrepressões na porção de topo, com valores característicos subindo de 0,67 para 0,74. Já o Modelo III apresenta mudanças mais relevantes. Quanto às sobrepressões, também é evidente o aumento dos coeficientes na região de topo, sobretudo no canto esquerdo, região na qual o brise de extremidade fica sujeito a um adimensional igual a 0,68, contrastando com um valor próximo a 0,3 na mesma região do modelo de referência. Além disso, destaca-se também a superioridade dos coeficientes a que estão sujeitos boa parte dos brises posicionados na lateral esquerda da face, com exceção dos primeiros elementos da linha 3, de ângulo de abertura de 0° , devido à proteção ao escoamento oferecida pelo brise subsequente de abertura máxima. Já na lateral direita, evidencia-se a ocorrência de sucções em valores oscilando entre -0,8 e -1,0, destoando significativamente das sobrepressões observadas na região correspondente do Modelo I e até mesmo do Modelo II, como pode se observar na Figura 4.6.



Modelo I

Modelo II

Modelo III

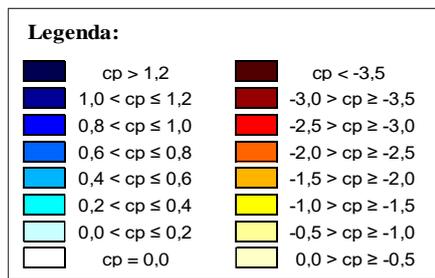


Figura 4.5: Distribuição de coeficientes de pressão média, externos, nas faces de número 1 dos modelos I, II e III, respectivamente, considerando o azimute de 60° (fonte: autora).

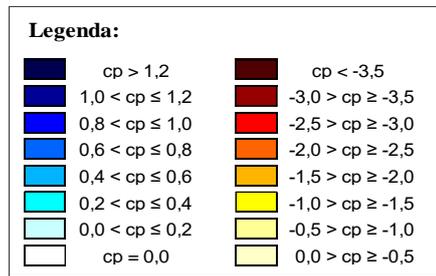
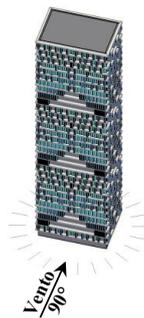
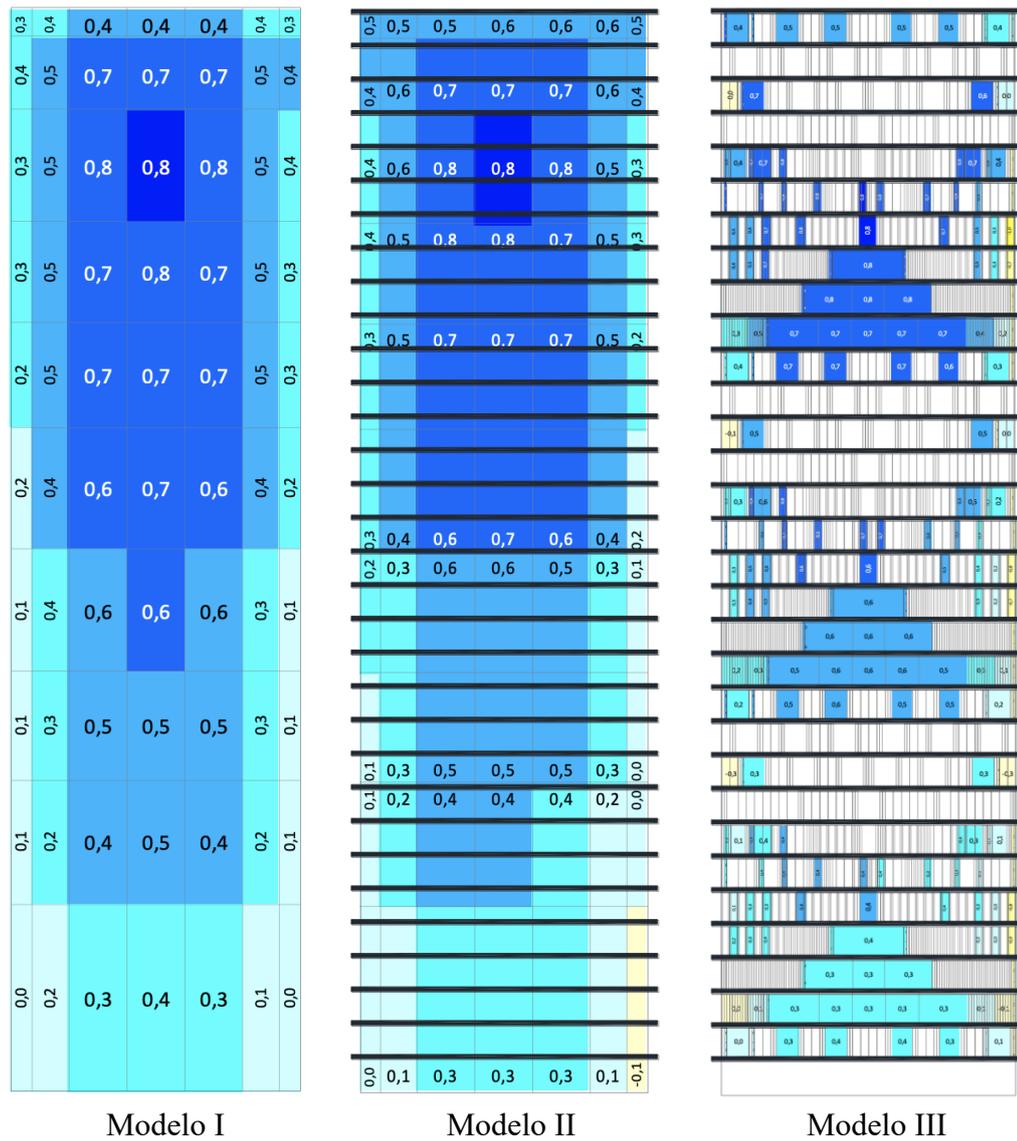


Figura 4.6: Distribuição de coeficientes de pressão média, externos, nas faces de número 1 dos modelos I, II e III, respectivamente, considerando o azimute de 90° (vento perpendicular à face) (fonte: autora).

Para os ângulos de incidência do vento de 105° e 120°, a introdução dos elementos de fachada segue provocando um aumento geral das sobrepções na região de topo da face dos modelos

II e III. Apesar desse efeito ser mais voltado para o canto direito, no qual a maior elevação ocorre para 105° , de 0,65, relativo ao modelo de referência, para 0,74 e 0,74, respectivamente, ressalta-se também a superioridade dos coeficientes a que os dois primeiros brises do canto esquerdo estão sujeitos, como pode ser visualizado na Figura 4.7. Enquanto para o Modelo I a região fica subjugada por coeficientes mais próximos de 0,0, os elementos do Modelo III assumem valores de até 0,57. Para 120° , destaca-se a ocorrência dos maiores coeficientes médios positivos dentre todos os ângulos de incidência avaliados, os quais assumem valores iguais a 0,81, 0,84 e 0,82, para os modelos I, II e III, respectivamente, localizados no canto superior direito de suas faces. Além disso, evidencia-se a superioridade dos coeficientes nas folhas de brises nas quais o vento incide de forma mais perpendicular, como os elementos da extremidade esquerda da cavidade central formada entre-brises, nas linhas 9 e 10.

Em termos de sucções, considerando vento incidindo a 105° , tem-se alterações bastante similares às explicitadas para 90° , com a ocorrência de coeficientes negativos de magnitudes superiores a -0,9. Nesse contexto, destaca-se o coeficiente mais expressivo em brises dentre todos os ângulos de incidência do vento avaliados, referente ao último elemento da linha 5 do nível superior, de abertura máxima (90°), o qual fica sujeito a um coeficiente igual a -1,32, como pode ser constatado nos detalhes da Figura 4.7. Já para 120° , as magnitudes dos coeficientes negativos nessa faixa são inferiores, oscilando entre -0,1 e -0,6 e na extremidade oposta da face, passam a atingir uma quantidade maior de elementos.

Para 135° , quando o vento incide obliquamente à face, também se observa a elevação dos coeficientes positivos na região de topo das faces dos modelos II e III. Novamente, o destaque fica para o canto direito, para o qual se verificam coeficientes característicos iguais a 0,77 e 0,81, respectivamente, em contraste a um valor de referência igual a 0,64. Ademais, esse mesmo efeito se consolida para os brises posicionados na metade superior da lateral direita da face. É importante mencionar que esses coeficientes mais expressivos nem sempre recaem sobre os elementos mais extremos da face, mas sim, sobre os mais proeminentes ou cujas superfícies se encontram mais perpendiculares à ação do vento. Quanto aos coeficientes negativos, se verifica uma superioridade em suas magnitudes ao longo da lateral esquerda da face, especialmente nas linhas 3 e 9, nas quais atingem valores de até -0,7, enquanto a região correspondente do Modelo I apresenta coeficientes próximos a -0,1. Os detalhes referentes a distribuição dos coeficientes para o azimute em questão, se encontram explicitados na Figura 4.8.

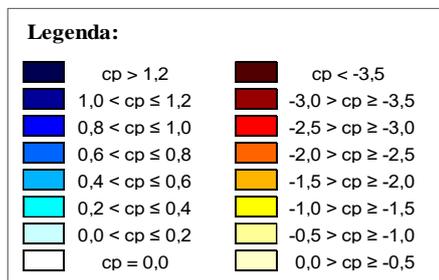
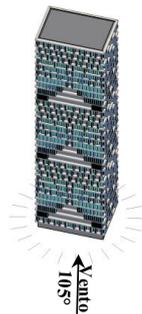
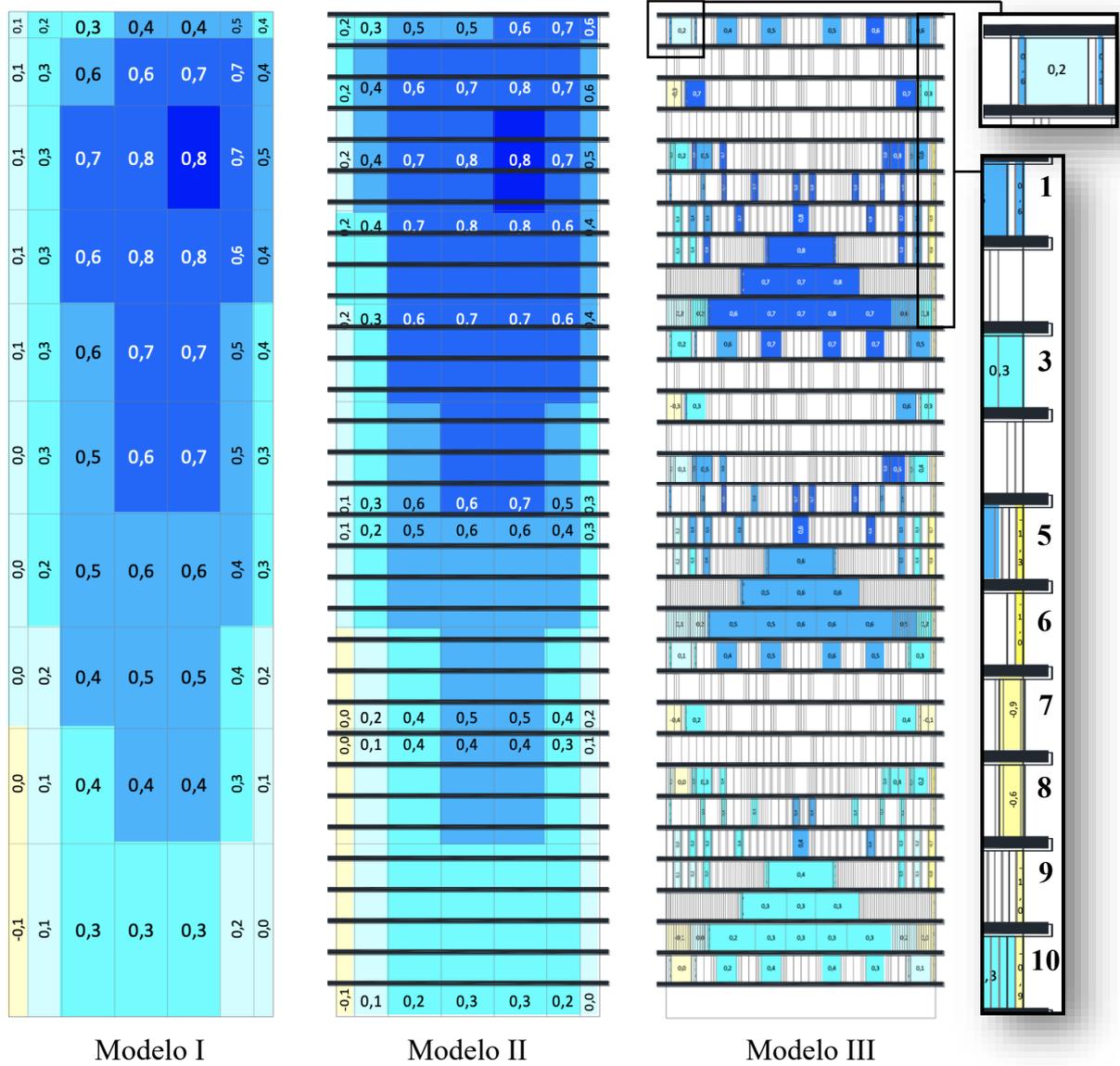


Figura 4.7: Distribuição de coeficientes de pressão média, externos, nas faces de número 1 dos modelos I, II e III, respectivamente, considerando o azimute de 105° (fonte: autora).

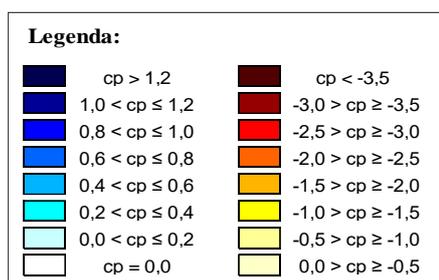
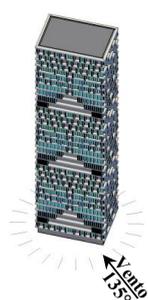
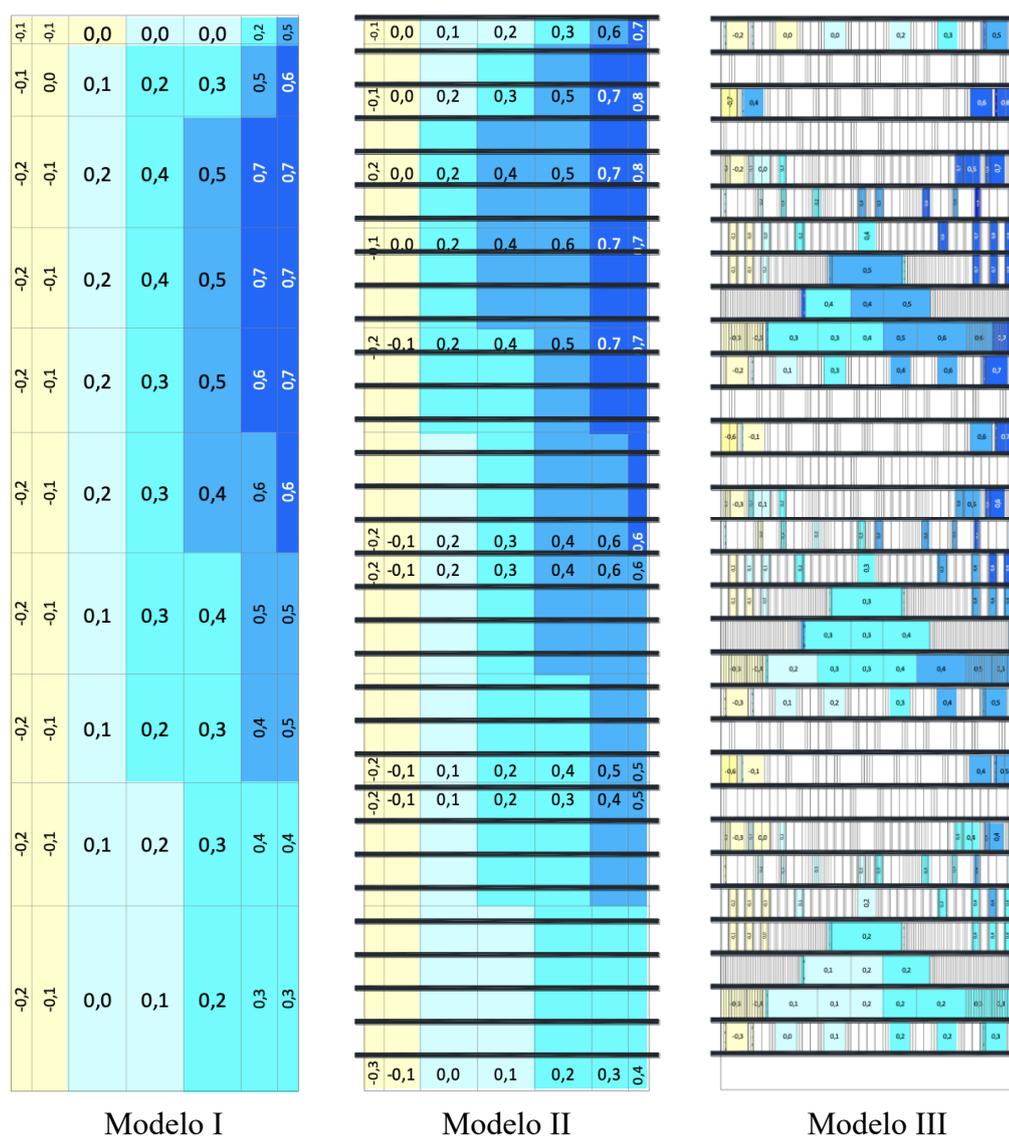


Figura 4.8: Distribuição de coeficientes de pressão média, externos, nas faces de número 1 dos modelos I, II e III, respectivamente, considerando o azimute de 135° (fonte: autora).

Para o azimute de 150° , as sucções voltam a imperar, como pode ser visualizado na Figura 4.9. Ao contrário do que se verifica para 30° , a introdução dos elementos de fachada provoca a ampliação das áreas subjogadas por sobrepressões, de modo que passam a ocupar quase a

totalidade da metade direita da face, enfraquecendo as sucções próximas ao canto superior e provocando o decréscimo do coeficiente característico na região de -0,40, relativo ao Modelo I, para -0,11 e -0,27, para os modelos II e III, respectivamente. Exclusivamente para o último, destacam-se sobrepressões expressivamente superiores às observadas no Modelo I, sobretudo nos elementos mais proeminentes e mais extremos da lateral direita da face. Assim, com coeficientes oscilando entre 0,5 e 0,6, destoam bastante das sucções observadas na mesma região do primeiro modelo. Ademais, constata-se sobrepressões superiores nos brises da extremidade esquerda da cavidade central entre-brises, das linhas 8, 9 e 10, por estarem posicionados mais perpendiculares à ação do vento. Quanto às sucções, constata-se magnitudes superiores nos brises pertencentes a extremidade lateral esquerda da face, sobretudo às linhas 3, 9 e 10, nas quais os coeficientes oscilam entre -0,5 e -0,7, contrastando com um valor de referência igual a -0,40.

Entre os azimutes de 165° a 345°, as faces dos três modelos se encontram sujeitas apenas a sucções. Para o primeiro, as modificações oriundas da introdução dos elementos de fachada são similares às verificadas para 15°, porém de maneira espelhada. Os coeficientes mais expressivos se localizam na lateral direita da face e no canto superior, novamente, constata-se alguns dos principais coeficientes negativos dentre os ângulos de incidência do vento avaliados: -1,20, -1,19 e -1,03, para os modelos I, II e III, respectivamente. Apesar dos valores significativos nessa região, a presença das projeções horizontais, de maneira isolada, e também combinada aos brises, provoca a redução de suas magnitudes nessa região. Para o último modelo, evidencia-se também o fato de que os brises de elevados ângulos de abertura (70° e 90°), posicionados bem na extremidade da face, apresentam valores muito próximos ou iguais a zero, configurando uma redução ainda mais expressiva.

Para 180°, com vento paralelo à face, grande parte dos coeficientes negativos oscila entre -0,5 e -1,0, assim como identificado para 0°. Além de uma sutil redução geral em suas magnitudes, para a introdução dos elementos de fachada, não se sobressaem mudanças significativas. De 195° a 345°, as sucções são menos severas, com coeficientes médios oscilando entre -0,5 e -0,7. Dentro desse intervalo, apenas se evidencia a ocorrência de uma elevação em suas magnitudes nos brises posicionados na extremidade lateral direita da face, para 210°, sendo que o coeficiente característico da região sobe de -0,61 para -0,74. O destaque fica para os elementos pertencentes às linhas 1, 5, 6 e 9, cujos ângulos de abertura são de 70° e 90°, isto é, consistem nos elementos que mais se projetam na fachada. Esse mesmo efeito é também observado para os azimutes de 225°, 240° e 285°, todavia em menor intensidade.

para 330° e 345°, constata-se sutis reduções para os brises posicionados na extremidade lateral direita da face.

4.2.2 Coeficientes r.m.s.

No intervalo de 0° a 30°, com a introdução dos elementos de fachada, verifica-se uma redução progressiva da área englobando as maiores flutuações (coeficientes situados entre 0,2 e 0,4), sendo que esta praticamente desaparece para o Modelo III, como pode ser constatado na Figura 4.10. Este fato reflete em decrementos na magnitude dos coeficientes ao longo da lateral esquerda e também da região central da face. O efeito mais proeminente para a primeira região é identificado a 15°, quando os coeficientes característicos caem de 0,231, relativo ao modelo de referência, para 0,15 e 0,16, referentes aos modelos II e III. Já na segunda região, as maiores reduções se verificam para 0°, de 0,30 para 0,24 e 0,20, segundo a mesma ordem. Para esses dois azimutes, evidencia-se também a redução dos coeficientes na região de base do Modelo III, especialmente para vento paralelo à face, quando se verifica a redução do adimensional de 0,28 para 0,19. Já para vento incidindo a 30°, com exceção de toda a extensão da lateral esquerda, os coeficientes característicos apresentam uma sutil elevação em suas magnitudes.

De 45° a 75°, não há modificações relevantes a serem ressaltadas e todos os coeficientes se aproximam de 0,1. Já de 90 a 135°, identificam-se exceções à regra de suavização na magnitude dos coeficientes. Nesse intervalo, evidencia-se a superioridade das flutuações ao longo de toda a lateral direita da face, inclusas as regiões de canto, com destaque para os coeficientes relativos aos brises do Modelo III, os quais apresentam uma elevação do valor característico de 0,15, referente ao Modelo I, para 0,27. Tal efeito pode ser visualizado na Figura 4.11.

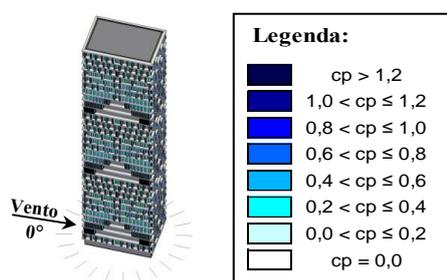
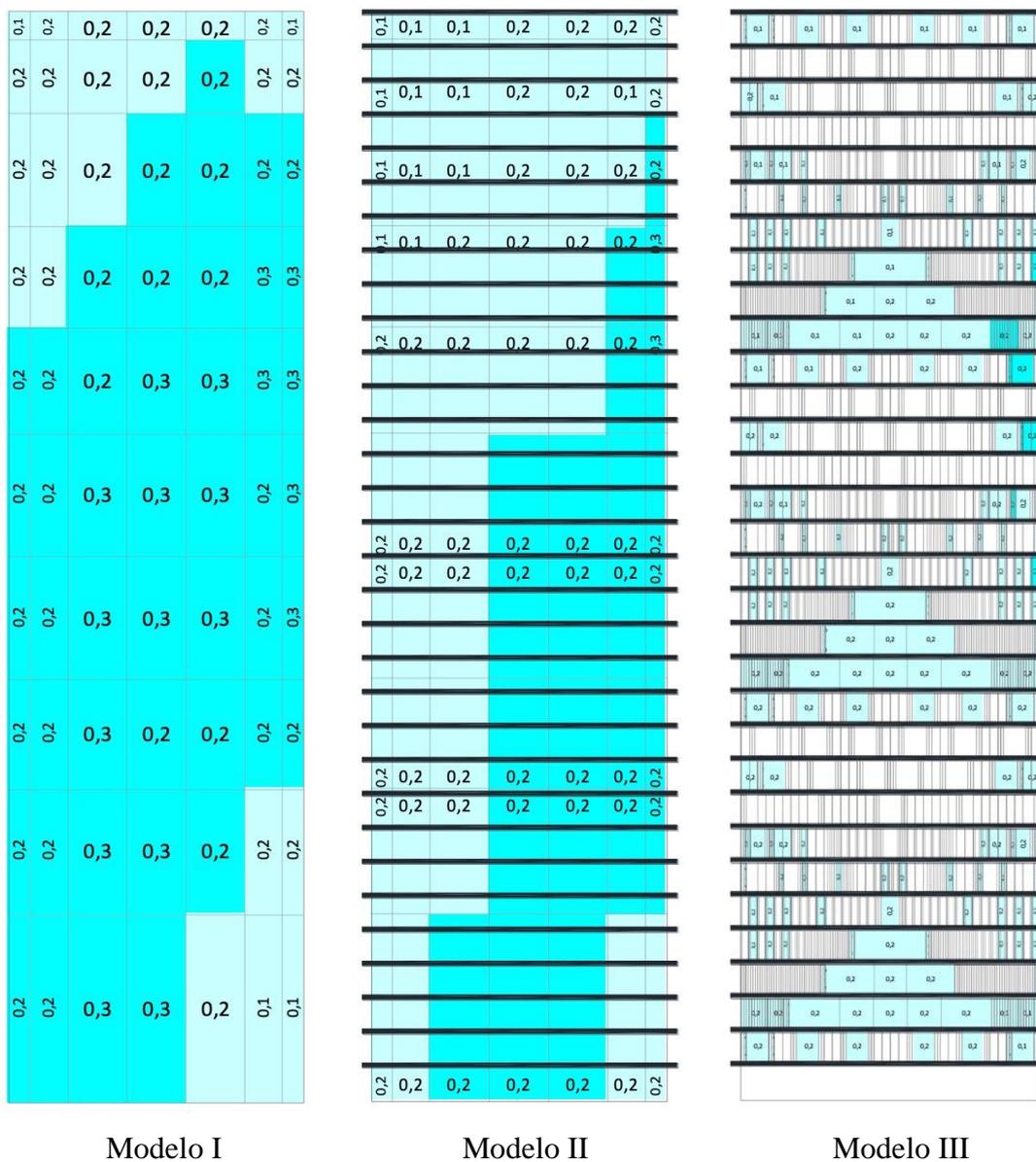


Figura 4.10: Distribuição de coeficientes de pressão r.m.s., externos, nas faces de número 1 dos modelos I, II e III, respectivamente, considerando o azimute de 0° (vento paralelo à face) (fonte: autora).

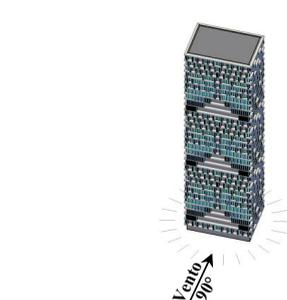
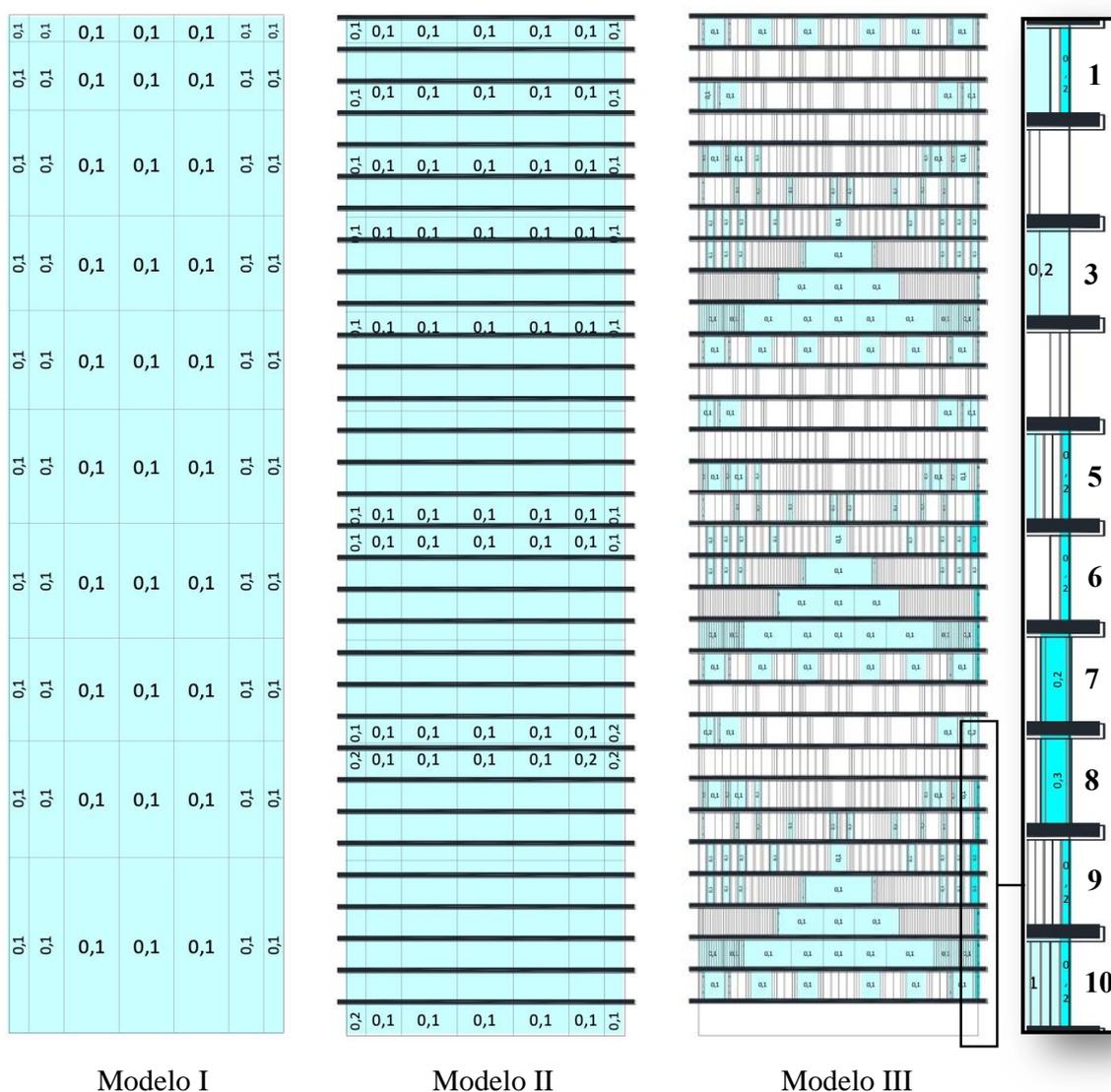


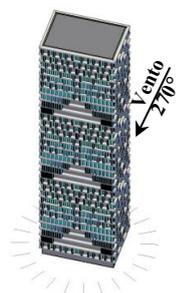
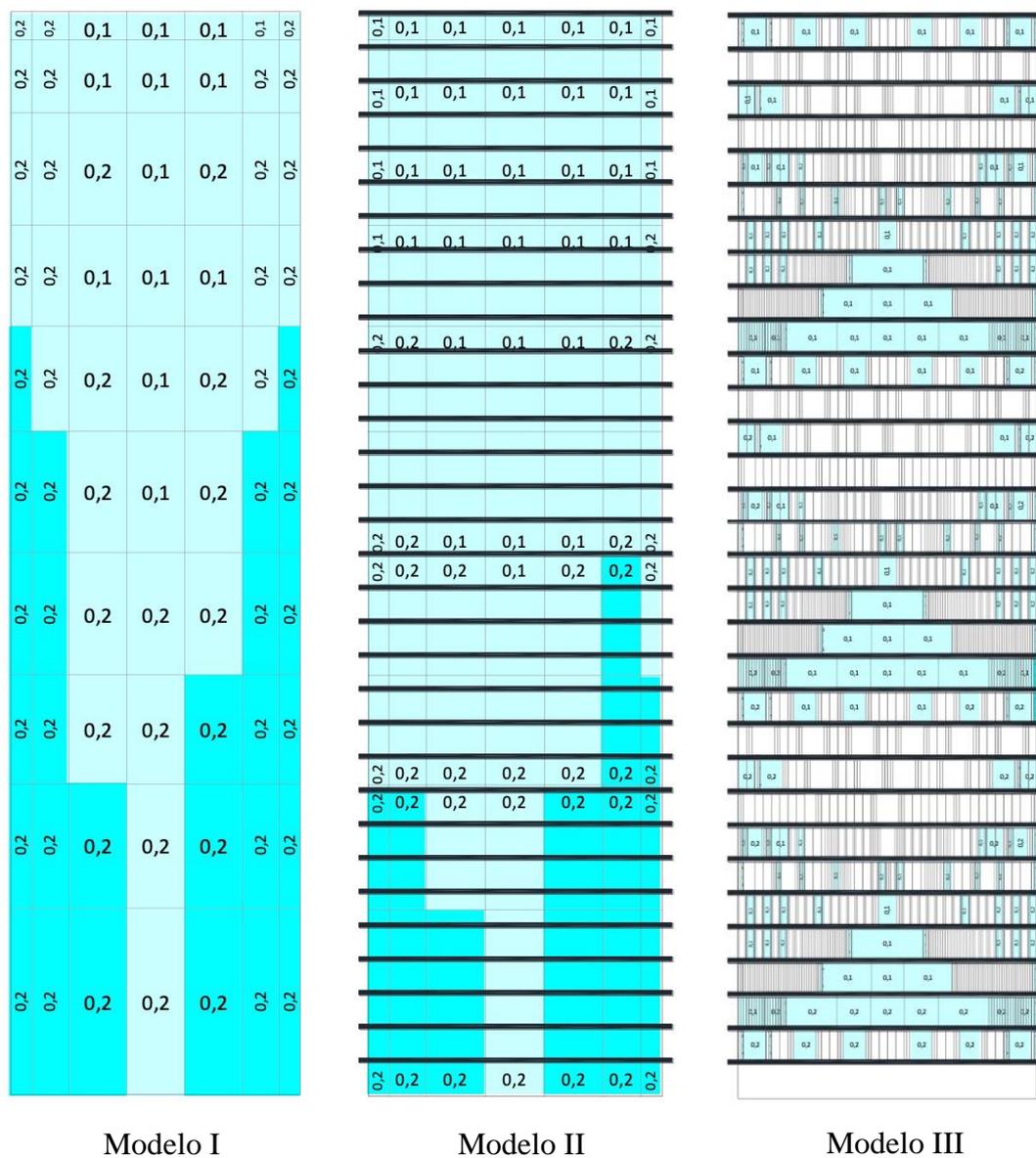
Figura 4.11: Distribuição de coeficientes de pressão r.m.s., externos, nas faces de número 1 dos modelos I, II e III, respectivamente, considerando o azimute de 90° (vento perpendicular à face) (fonte: autora).

No intervalo de 150° a 180° , quando o vento incide novamente paralelamente à face, observa-se mais uma vez o encolhimento das áreas subjogadas por flutuações superiores a 0,2, o que configura atenuações dos coeficientes nas faces dos modelos II e III. Este efeito se consolida

para os dois últimos azimutes do intervalo, especialmente ao longo de toda a extensão da lateral direita da face, além da região de topo. Na primeira região, verifica-se a maior atenuação do coeficiente característico para vento incidindo a 180° , de 0,25, relativo ao modelo de referência para 0,18 e 0,23, seguindo a ordem de nomenclatura dos modelos. Todavia, para o canto superior, o destaque fica para o azimute de 165° , de um valor igual a 0,24 para 0,15 e 0,13, respectivamente. Para o mesmo azimute, destacam-se também reduções significativas nas regiões de topo, centro e base, sendo o efeito mais expressivo constatado para a primeira, de 0,23 para 0,16 e 0,11. A distribuição dos coeficientes é bastante similar à observada na Figura 4.10, todavia de forma espelhada.

De 195° a 270° , quando a face fica posicionada a sotavento, as reduções nos coeficientes passam a ser mais significativas ao longo da lateral esquerda dos modelos II e III, sendo que o efeito mais relevante é observado para 195° , quando o coeficiente característico sofre um decréscimo de 0,25 para 0,19 e 0,15, respectivamente. Para os dois últimos azimutes do intervalo, também se ressaltam atenuações na região central e de base da face, com destaque para vento incidente a 255° , para o qual os coeficientes característicos sofrem uma queda de 0,15 para 0,10 e de 0,17 para 0,11, respectivamente. A Figura 4.12 exhibe diagramas representativos do intervalo.

Finalmente, de 285° a 345° , todos os coeficientes se aproximam de 0,1 e poucas são as alterações identificadas. Dentre os azimutes do intervalo, apenas se destacam diminuições significativas na magnitude dos coeficientes para 345° . Para vento incidindo nessa direção, verifica-se a redução dos coeficientes característicos na região da lateral direita da face, de 0,25, relativo ao Modelo I, para 0,17 e 0,16, referentes os modelos II e III, respectivamente. As regiões de canto dessa mesma lateral também sofrem o mesmo efeito, todavia de forma menos expressiva.


Legenda:

	$cp > 1,2$
	$1,0 < cp \leq 1,2$
	$0,8 < cp \leq 1,0$
	$0,6 < cp \leq 0,8$
	$0,4 < cp \leq 0,6$
	$0,2 < cp \leq 0,4$
	$0,0 < cp \leq 0,2$
	$cp = 0,0$

Figura 4.12: Distribuição de coeficientes de pressão r.m.s., externos, nas faces de número 1 dos modelos I, II e III, respectivamente, considerando o azimute de 270° (face a sotavento) (fonte: autora).

4.2.3 Coeficientes de pico mínimo

Para vento incidindo paralelamente à face 1, a 0° , observa-se que a incorporação dos elementos de fachada em estudo contribui para significativas reduções na magnitude dos picos mínimos. Para ambos os modelos II e III, este efeito se manifesta de forma mais expressiva na metade inferior da lateral esquerda da face, local no qual se verifica uma atenuação do coeficiente característico de -2,69, relativo ao modelo de faces lisas, para -1,34 e -1,50, segundo a ordem de apresentação dos modelos. O Modelo III fica em evidência, apresentando uma redução significativa das magnitudes em praticamente toda a extensão da face, incluindo a região de topo (de -1,88 para -1,36), central (-2,14 para -1,71), lateral direita (-2,32 para -1,77) e de base (-2,43 para -1,82). Poucos são os brises sujeitos a coeficientes superiores a -1,5, em módulo, sendo estes localizados, em boa parte, na lateral direita da face, sem superarem os valores observados para o modelo de referência, como pode ser visualizado na Figura 4.13. A única região que sofre com elevações na magnitude dos coeficientes consiste no canto inferior direito, na qual os valores característicos sobem de -1,04, relativo ao modelo de referência, para -1,55 e -1,51, considerando os modelos II e III.

Para o azimute de 15° , as maiores atenuações também ocorrem ao longo da lateral esquerda da face, inclusas as regiões de canto, para ambos os modelos II e III, onde os coeficientes característicos decaem de -2,15 para -1,86 e -1,61, respectivamente. Em contrapartida, verifica-se uma ampliação das áreas envolvendo coeficientes situados acima de -1,1 (em módulo), o que reflete na elevação das magnitudes para a metade direita das faces dos dois modelos. Esse efeito é mais evidente para o Modelo III, uma vez que todos os elementos posicionados nessa região, sobretudo próximo da extremidade, se encontram subjugados por sucções mais severas que as observadas na região correspondente do Modelo I. Como pode ser observado nos detalhes da Figura 4.14, boa parte dos dimensionais superam o valor de -1,0 (em módulo), destoando dos valores de referência próximos a -0,7.

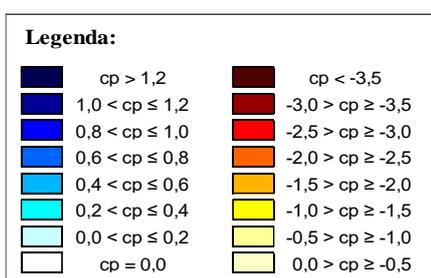
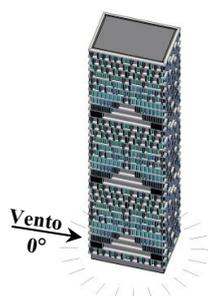
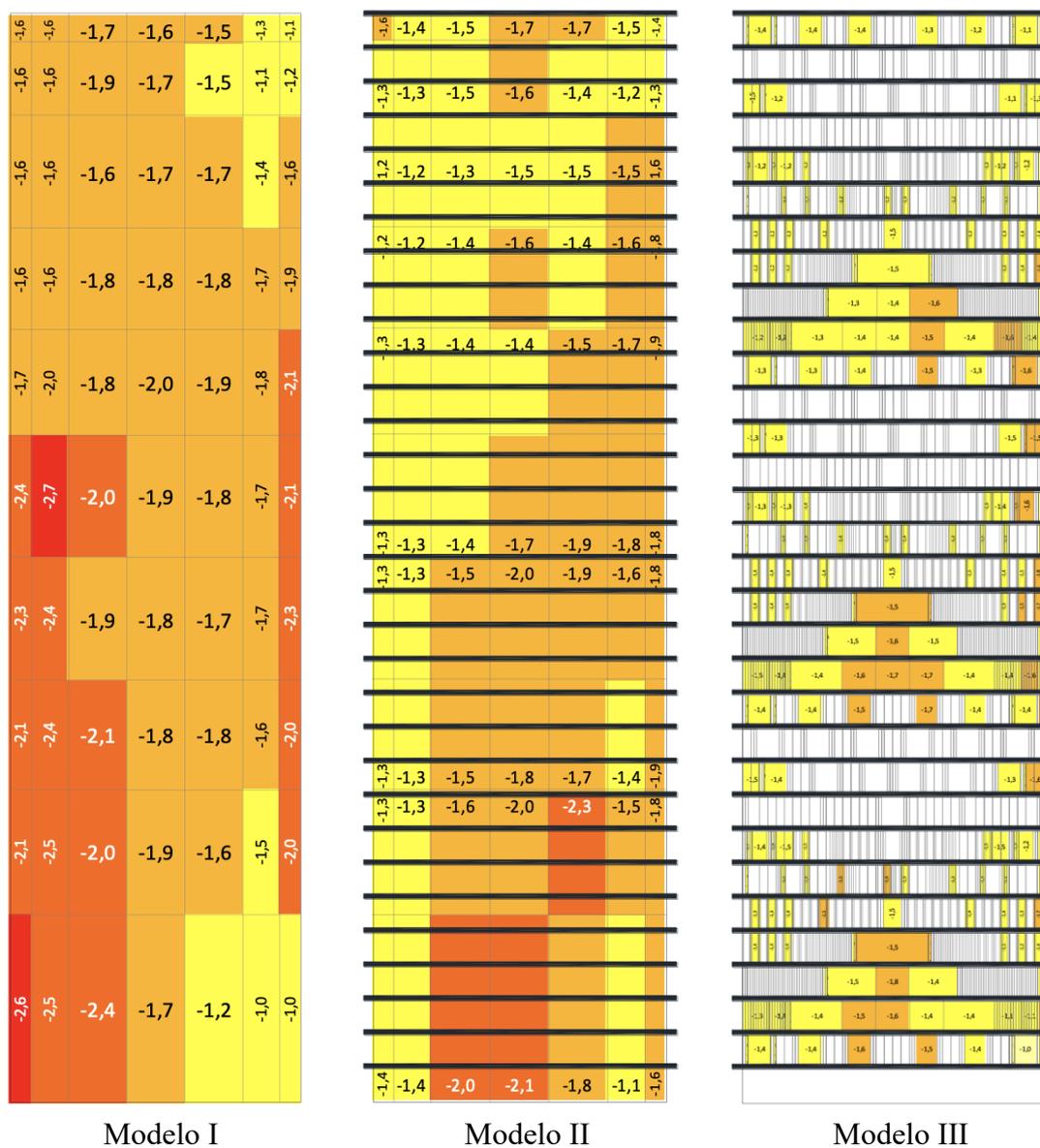


Figura 4.13: Distribuição de coeficientes de pico mínimo, externos, nas faces de número 1 dos modelos I, II e III, respectivamente, considerando o azimute de 0° (vento paralelo à face) (fonte: autora).

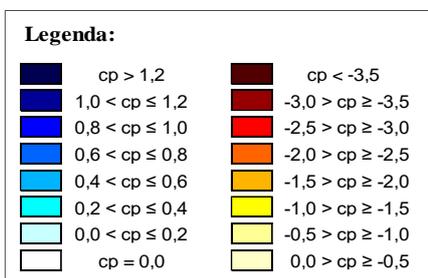
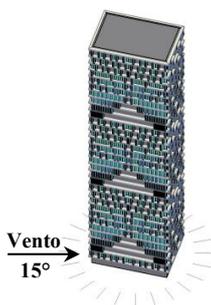
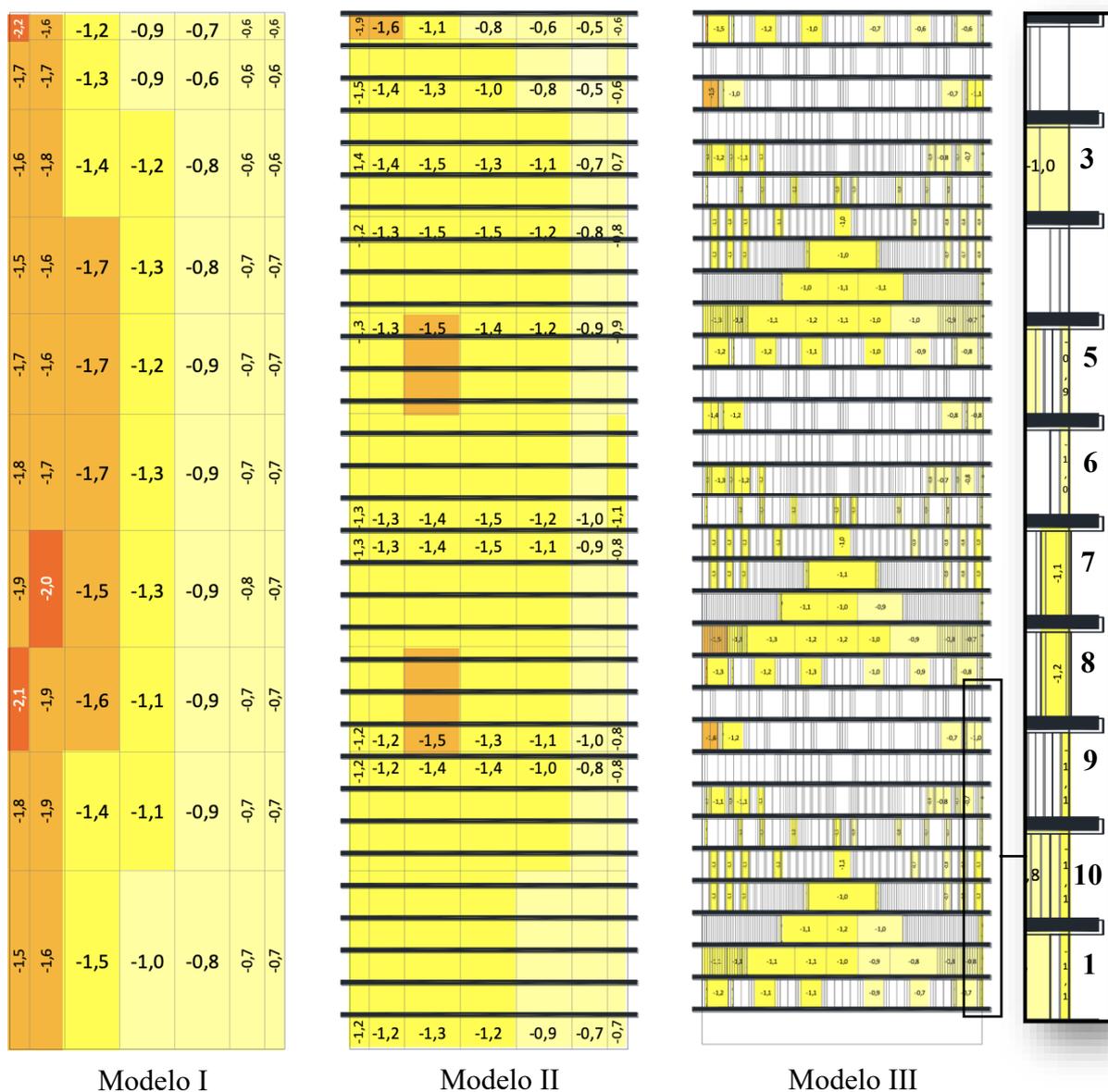


Figura 4.14: Distribuição de coeficientes de pico mínimo, externos, nas faces de número 1 dos modelos I, II e III, respectivamente, considerando o azimute de 15° (fonte: autora).

Já para vento incidindo a 30°, há a ocorrência de picos mais suaves, em sua maioria situados entre -0,2 e -0,4, com exceção das laterais da face em análise, aonde prevalecem valores

oscilando entre -0,6 e -0,9 e do canto superior, o qual fica subjugado por picos de -1,0 a -1,4. Assim como os azimutes anteriores, a introdução dos elementos de fachada promove uma redução na magnitude dos coeficientes ao longo da lateral esquerda, todavia de maneira menos significativa, além de uma elevação na lateral direita da face, sendo esta mais expressiva para o terceiro modelo. Assim como constatado para 15° , os picos mais expressivos recaem sobre os brises posicionados nessa extremidade, de modo que todos são solicitados por coeficientes de magnitudes superiores às verificadas para a região correspondente do Modelo I. Enquanto neste os valores oscilam entre -0,55 e -0,74, para o Modelo III, variam de -0,8 a -1,25, sendo os mais expressivos localizados mais próximo da região da base.

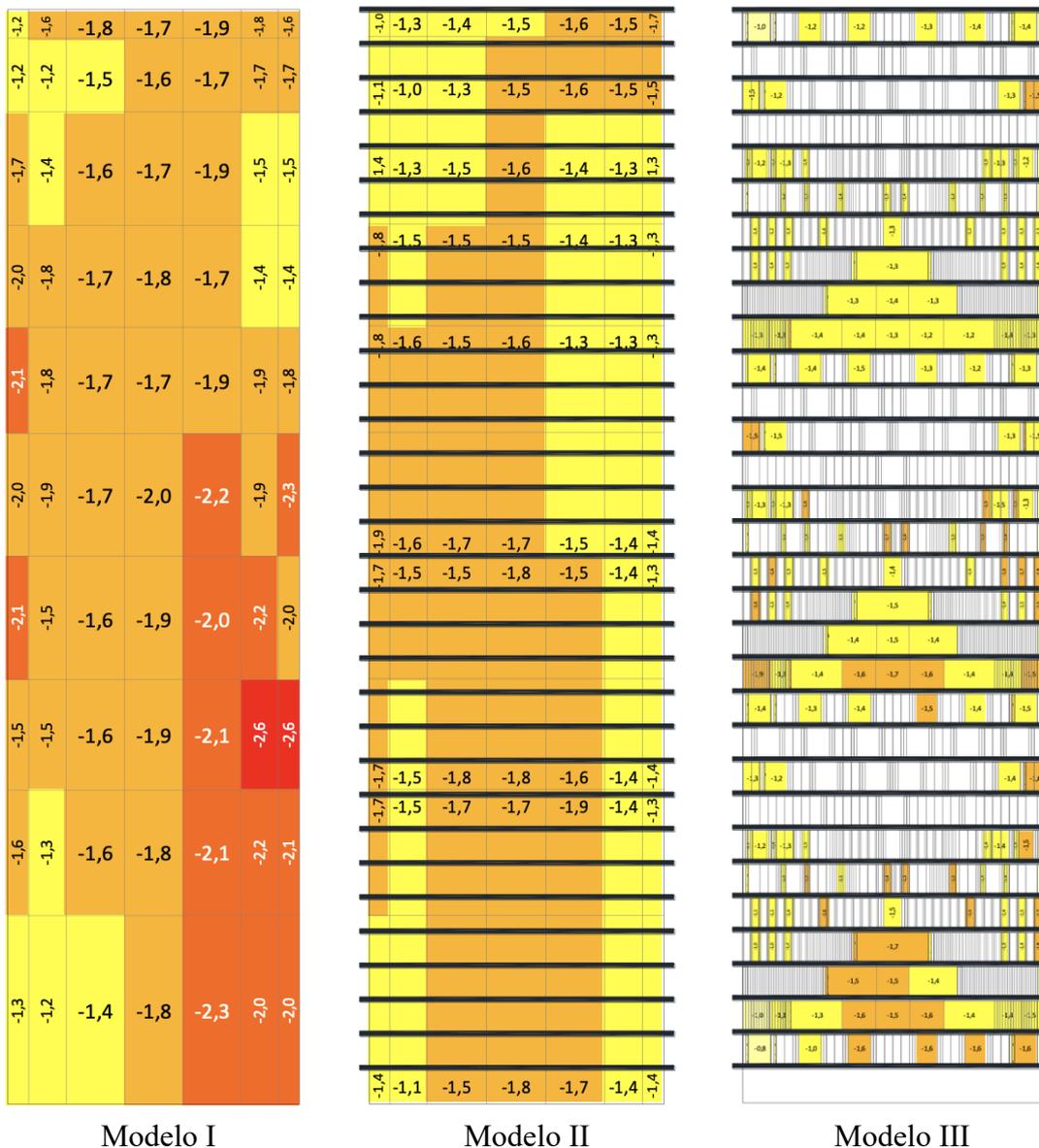
No intervalo de ângulos de incidência do vento de 45° a 135° , há a inclusão de sobrepressões na distribuição dos picos mínimos, respeitando a mesma composição de áreas constatada para os coeficientes médios mais expressivos. Dessa forma, a introdução dos elementos de fachada torna a região de topo das faces dos modelos II e III mais positivas em relação ao modelo de referência. Os coeficientes de pico mínimo positivos observados dentro do intervalo não superam o valor de 0,4, salvo o brise da extremidade esquerda da linha 6, nível superior, de máximo ângulo de abertura, que entre os azimutes de 45° e 90° , permanece subjugado por valores situados entre 0,4 e 0,53. Tais valores consistem nos menores coeficientes positivos registrados para a face 1 dos três modelos, para todos os ângulos de incidência do vento ensaiados.

Em termos de coeficientes negativos, a introdução das projeções horizontais de maneira isolada e também combinada aos brises deslizantes e articulados, reflete na elevação de suas magnitudes em determinadas regiões das faces. De 45° a 90° , o efeito ocorre de maneira mais significativa ao longo da extremidade lateral direita da face do Modelo III, de modo que os brises posicionados nessa faixa ficam sujeitos a magnitudes muito superiores às observadas para a região correspondente do modelo de referência. Os acréscimos mais importantes ocorrem quando o vento incide perpendicularmente à face, correspondente ao ângulo de 90° . Nesta configuração, como pode ser visualizado no destaque da Figura 4.15, verifica-se que boa parte dos picos mínimos oscilam entre os valores de -1,41 a -2,05, contrastando significativamente com os valores situados entre -0,22 e -0,55 constatados para a mesma região do Modelo I.

valores de referência situados entre 0,01 e -0,33, para localizados entre -0,82 e -1,95. Vale destacar que o último elemento dos três níveis da linha 3, cujo ângulo de abertura é de 0° , possui os valores menos significativos dentre as 10 linhas de brises, característica também observada de 45° a 90° . Já na extremidade lateral esquerda da face, a introdução dos elementos de fachada contribui com a atenuação dos picos mínimos de 105° a 135° , com exceção do primeiro elemento pertencente a esta mesma linha. Estes apresentam picos consideravelmente mais severos que os demais elementos, os quais assumem valores localizados entre -0,6 e -1,0, em comparação a valores de referência situados entre -0,1 e -0,5.

Para 150° , as sucções voltam a imperar e a distribuição dos coeficientes é bastante similar à do azimute de 30° , porém de maneira espelhada. Assim, têm-se picos mais suaves, com a maioria dos coeficientes abaixo de -0,5 (em módulo), com exceção das laterais, cujos adimensionais não superam o valor de -1,3. A redução na magnitude dos picos ocorre, sobretudo, ao longo da lateral direita das faces, com destaque para os últimos brises das linhas 1, 5, 6, 9 e 10, os quais sofrem um decréscimo de valores próximos a -1,0, para valores próximos a -0,1. Em contrapartida, na extremidade oposta da face, os primeiros elementos das linhas 3, 9 e 10 ficam sujeitos a valores situados entre -0,8 e -1,0, em contraste com valores de referência variando entre -0,5 e -0,7.

Para 165° e 180° , quando o vento incide paralelamente à face, o maior destaque consiste na suavização dos picos mínimos ao longo da lateral direita da face, inclusas as regiões de canto. Para ambos os modelos, as maiores atenuações dos picos ocorrem para 165° , quando os coeficientes característicos partem de uma referência igual a -2,37 e chegam a valores iguais a -1,66 e -1,63, para os modelos II e III, respectivamente. Além da região supracitada, evidencia-se o mesmo efeito para as regiões de topo, centro e base, todavia de forma menos significativa. Apesar destes destaques, as reduções ocorrem de maneira generalizada na extensão das faces, de modo que até mesmo os brises mais solicitados ficam sujeitos a picos bem menos expressivos que os observados na região correspondente do Modelo I, como pode ser observado na Figura 4.16.



Modelo I

Modelo II

Modelo III

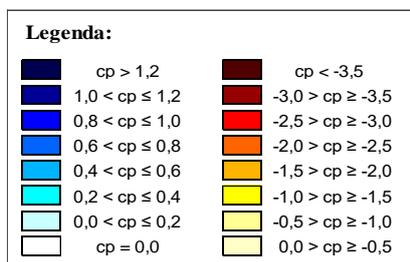


Figura 4.16: Distribuição de coeficientes de pico mínimo, externos, nas faces de número 1 dos modelos I, II e III, respectivamente, considerando o azimute de 180° (vento paralelo à face) (fonte: autora).

Para o intervalo de ângulos de incidência do vento de 195° a 255°, também de identifica uma redução geral na magnitude dos coeficientes em toda a extensão da face, de modo que há um

encolhimento progressivo, de um modelo para o outro, da área envolvendo os picos mais severos, tanto em valores superiores a -1,5, como a -1,0, em módulo. Para ambos os modelos dotados de acessórios de fachada, os maiores decrementos são observados ao longo da lateral esquerda da face e da região de base. Para a primeira região, as maiores atenuações ocorrem para vento incidindo a 210°, de um valor característico de referência de -2,49 para -1,84 e -1,31, relativos aos modelos II e III, respectivamente. Já para a segunda região, o maior efeito se observa para 255°, com a queda dos valores característicos de -2,43 para -1,58 e -1,50, segundo a mesma ordem.

De 210° a 255° também se destaca uma significativa redução do coeficiente de pico mínimo característico da região de topo, com ênfase para o azimute de 240°, para o qual se observa o decréscimo do adimensional de -1,43, para -0,82 e -0,80, referente aos modelos II e III, respectivamente. Ademais, vale ressaltar que apenas alguns brises da extremidade direita se encontram submetidos a coeficientes mais significativos que os verificados para o Modelo I, com destaque para as linhas 5, 6, 7, 8, 9 e 10. Um exemplo de distribuição dos picos mínimos para os azimutes supracitados pode ser visualizado na Figura 4.17.

Para a face posicionada na esteira, correspondente ao azimute de 270°, verifica-se uma grande contração da região compreendendo os coeficientes mais expressivos, sobretudo para o Modelo III, como pode ser observado na Figura 4.18. Para o Modelo II, as reduções mais significativas nas magnitudes dos picos mínimos se concentram na metade direita da face, de um valor característico de referência de -2,69 para -2,13, além da região de topo, de -1,78 para -1,40. Em contrapartida, ressalta-se o contrário para a região de base, com o aumento, em magnitude, do valor característico da região de -2,70 para -3,04, o qual consiste no pico mínimo mais expressivo identificado para o Modelo II.

Já para o Modelo III, os decrementos são ainda mais expressivos, evidenciando-se especialmente ao longo da lateral esquerda da face (de -2,34 para -1,91), da região de topo (de -1,78 para -1,23) e central (de -2,58 para -1,81). Os brises mais solicitados são os localizados na extremidade direita da face, todavia sujeitos a picos menos severos que os verificados para o Modelo I. Não obstante, suas magnitudes, em conjunto com as observadas para vento incidindo a 90°, estão entre as mais significativas identificadas para o Modelo III, com destaque para o último brise em destaque, submetido a um coeficiente igual a -2,25.

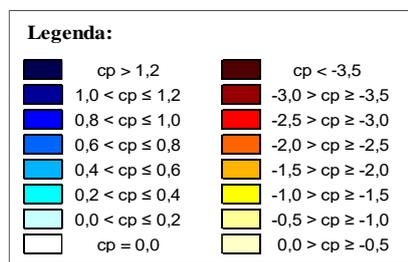
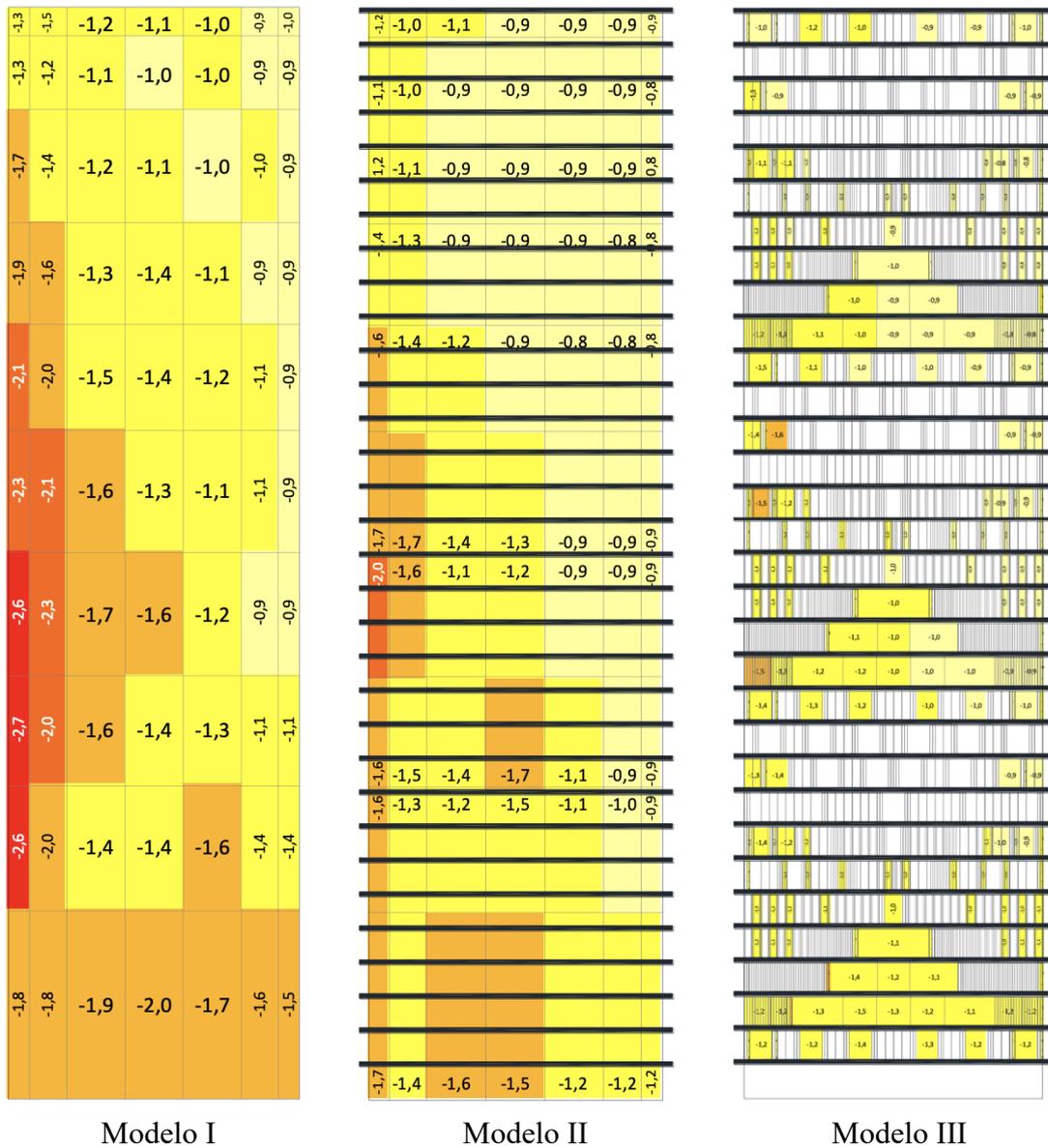


Figura 4.17: Distribuição de coeficientes de pico mínimo, externos, nas faces de número 1 dos modelos I, II e III, respectivamente, considerando o azimute de 195° (fonte: autora).

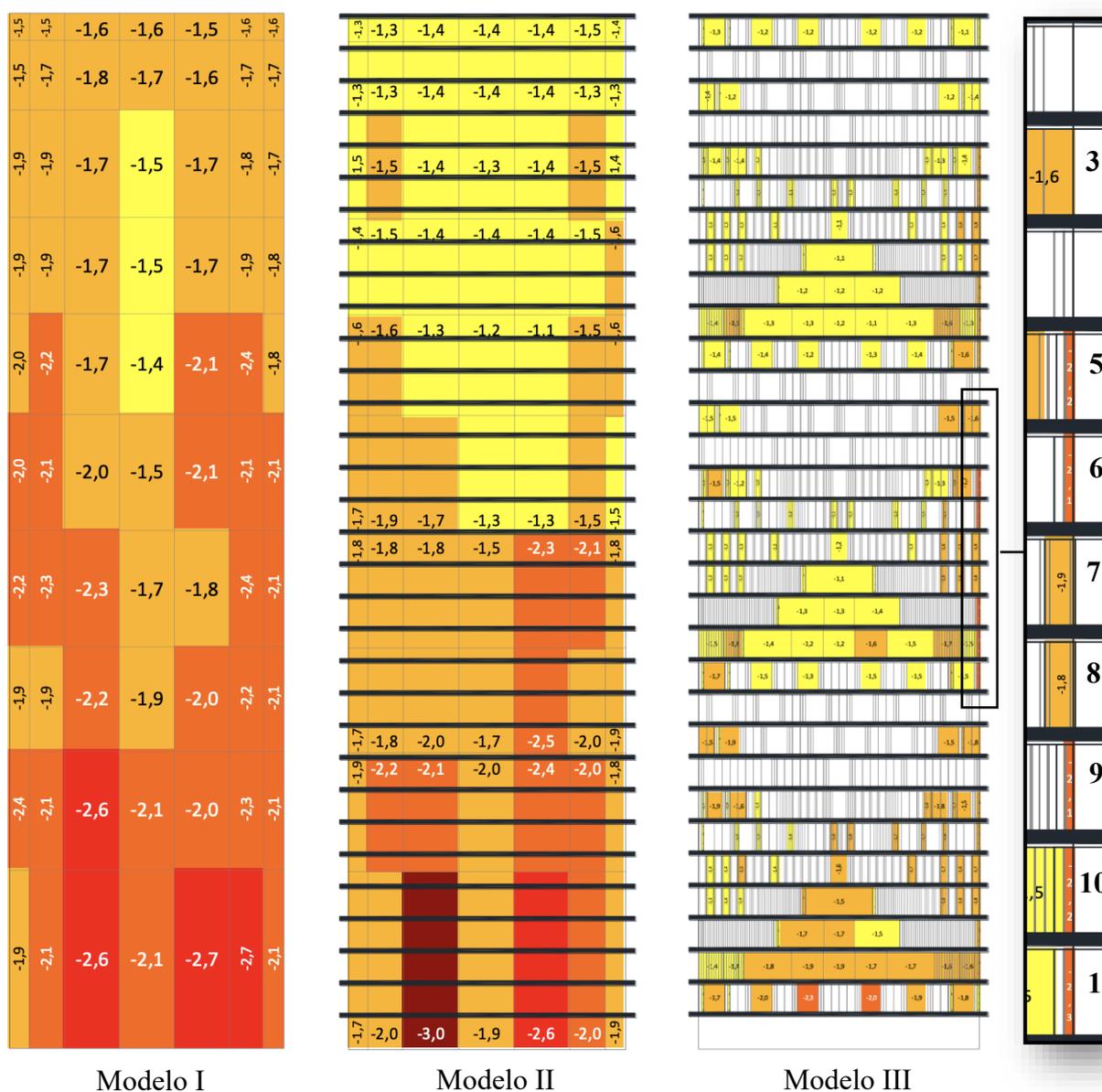


Figura 4.18: Distribuição de coeficientes de pico mínimo, externos, nas faces de número 1 dos modelos I, II e III, respectivamente, considerando o azimute de 270° (face a sotavento) (fonte: autora).

Entre 285° e 345° , o reflexo geral provocado pela introdução dos elementos de fachada é a sutil suavização dos picos mínimos ao longo de toda a extensão da face. As atenuações mais

significativas ocorrem para o azimute de 345° , especialmente ao longo da lateral direita das faces de ambos os modelos II e III, região na qual o coeficiente característico cai de $-3,07$ para $-2,35$ e $-1,86$, respectivamente. Para o mesmo ângulo de incidência do vento, destaca-se o mesmo efeito também para a região central das faces, com a atenuação de $-1,90$ para $-1,67$ e $-1,47$, respectivamente.

Ressalvas devem ser feitas para alguns brises pertencentes à extremidade lateral direita da face do Modelo III, entre os ângulos de incidência do vento de 285° a 300° . Para o primeiro, a maioria dos coeficientes de pico aos quais os elementos estão submetidos se situam entre $-1,36$ e $-1,95$, contrastando com valores de referência entre $-1,25$ e $-1,67$. Já para o último, somente os pertencentes à metade inferior da região superam os valores constatados para o modelo de faces lisas. Já para 345° , vale destacar a ocorrência do pico mínimo mais significativo para o Modelo I, cujo coeficiente apresenta um valor igual a $-3,07$, na região central da lateral direita da face. Os reflexos constatados podem ser visualizados na Figura 4.19.

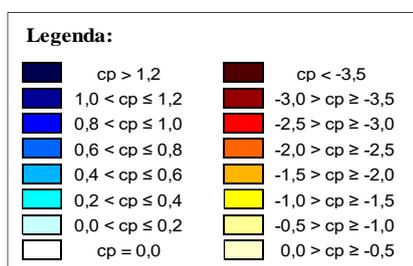
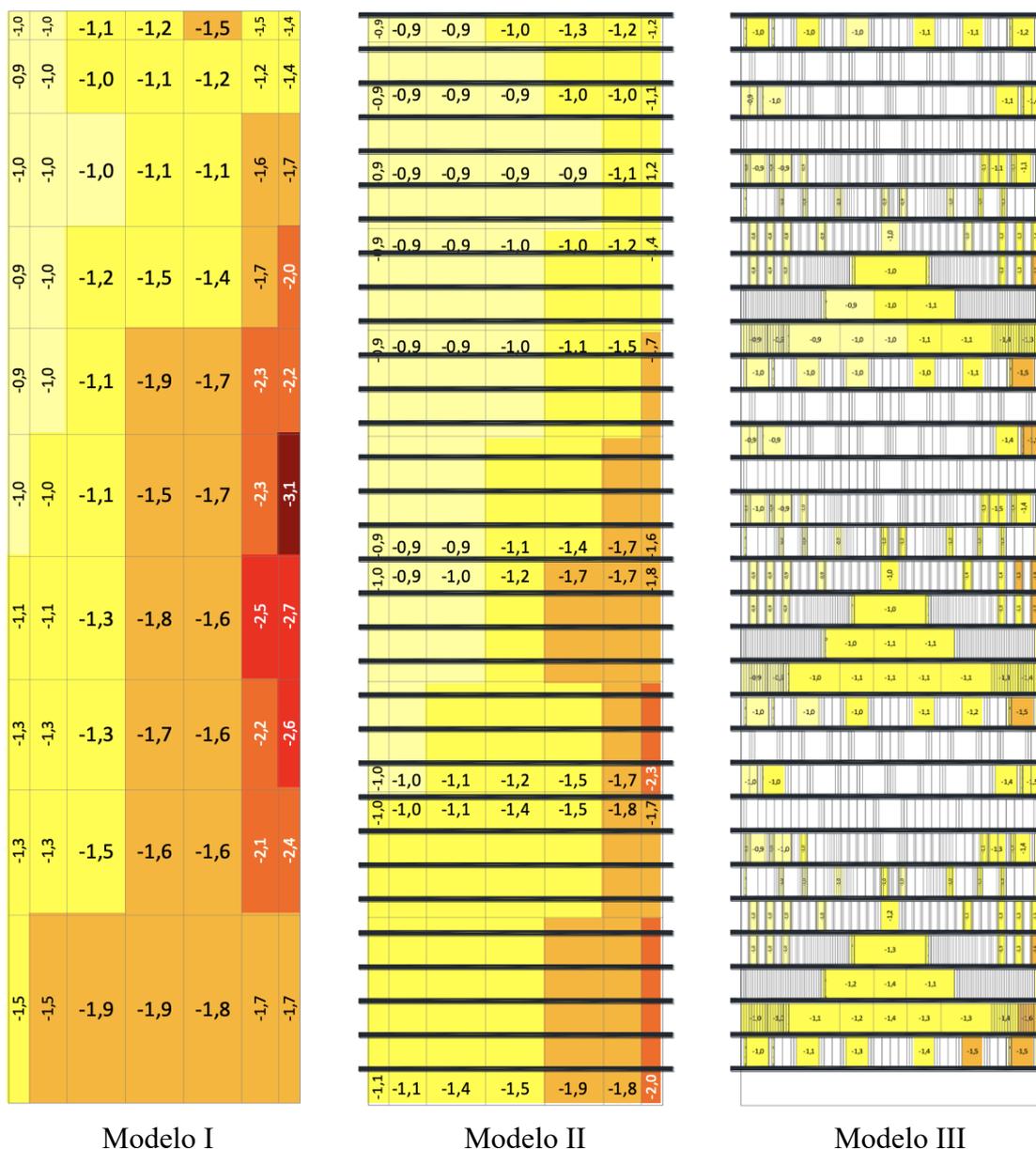


Figura 4.19: Distribuição de coeficientes de pico mínimo, externos, nas faces de número 1 dos modelos I, II e III, respectivamente, considerando o azimute de 345° (fonte: autora).

4.2.4 Coeficientes de pico máximo

Para os dois primeiros ângulos de incidência do vento avaliados, 0° e 15° , há o predomínio de coeficientes negativos abaixo de -0,2 (em módulo) e a ocorrência de picos de sobrepressão inexpressivos, em sua maioria abaixo de 0,2. A alteração mais significativa provocada pela introdução dos elementos de fachada consiste no encolhimento da área contendo sobrepressões, com destaque para o Modelo III.

Já no intervalo de 30° a 150° , ocorrem os picos positivos mais severos. Para o primeiro azimute, verifica-se uma redução geral significativa nos picos máximos verificados ao longo da lateral esquerda das faces, inclusas as regiões de canto, tanto para o Modelo II como para o Modelo III, de um valor característico de referência igual a 0,73 para 0,59 e 0,67, respectivamente. Para o terceiro modelo, coeficientes da mesma ordem de magnitude que os verificados para o Modelo I apenas ocorrem nos primeiros elementos da linha 3 nos três níveis de incorporação.

Para ventos incidindo entre os ângulos de 45° e 75° , verifica-se que a introdução dos elementos de fachada reflete na superioridade dos picos máximos na região de topo das faces de ambos os modelos II e III, sobretudo na região do canto esquerdo. Todavia, apesar dessa tendência geral, os coeficientes característicos dessa área não destoam muito entre si, mantendo-se entre 0,98 e 1,14. As modificações mais significativas se manifestam na distribuição dos coeficientes na face do Modelo III. Primeiramente, como pode ser visualizado na Figura 4.20, nota-se que a área envolvendo os adimensionais superiores a 1,0, localizada ao longo da lateral esquerda da face, é mais alongada, atingindo elementos mais próximos da região de base. Assim, verifica-se um sutil aumento na magnitude dos coeficientes característicos nas regiões do canto inferior esquerdo e também da região de base.

Quando a face assume a posição de barlavento, para o ângulo de incidência de 90° , também se constata um sutil acréscimo geral nos picos positivos ao longo das faces dos modelos II e III. Novamente, a região do canto superior esquerdo se sobressai, na qual se verifica a elevação do coeficiente característico de 0,84, relativo ao modelo de referência, para 0,95 e 1,04, respectivamente. Exclusivamente para o Modelo III, esse mesmo efeito se estende ao longo de toda a lateral esquerda da face, refletindo em brises submetidos a picos mais severos que os observados para a mesma região do Modelo I. Ademais, destaca-se a ocorrência dos picos mais expressivos nos brises posicionados na região central do terço superior da face, com valores oscilando entre -1,0 e -1,22. O valor mais expressivo para o Modelo I, 1,24, também ocorre

para o azimute em questão. As particularidades destacadas podem ser visualizadas nos diagramas da Figura 4.21.

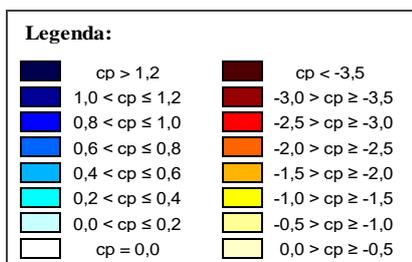
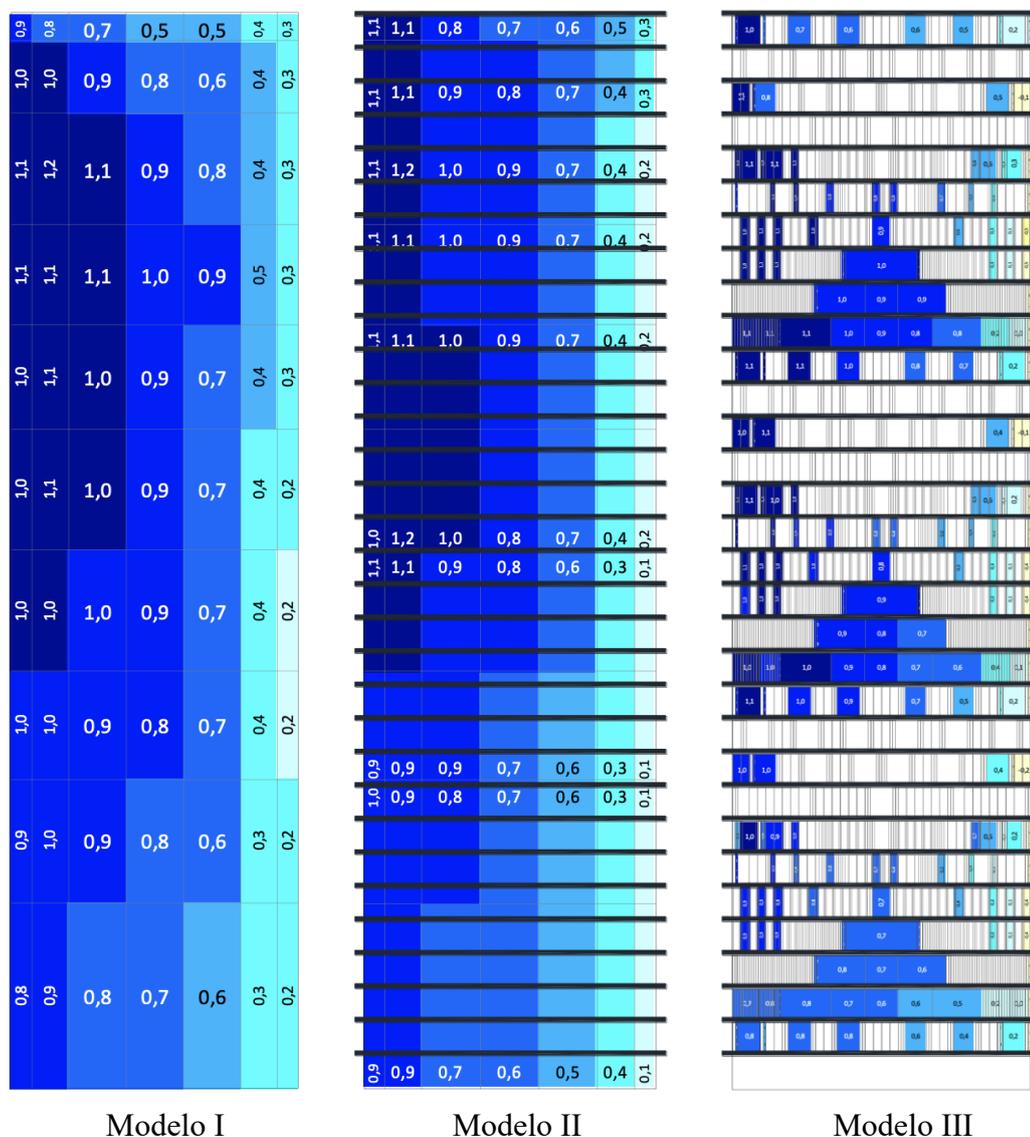


Figura 4.20: Distribuição de coeficientes de pico máximo, externos, nas faces de número 1 dos modelos I, II e III, respectivamente, considerando o azimute de 60° (fonte: autora).

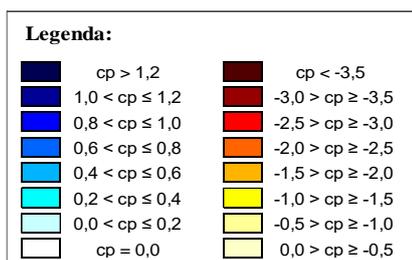
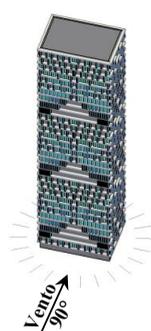
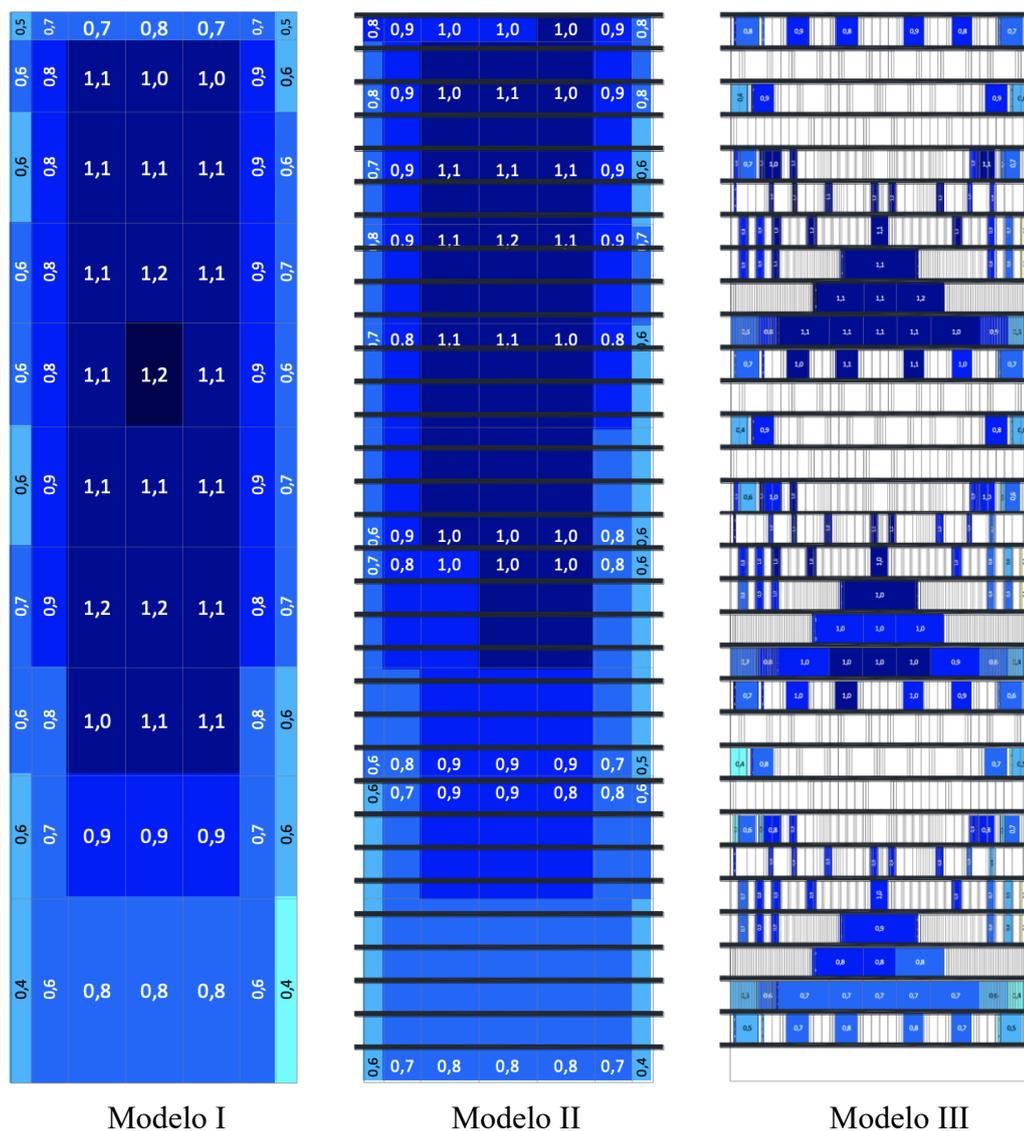


Figura 4.21: Distribuição de coeficientes de pico máximo, externos, nas faces de número 1 dos modelos I, II e III, respectivamente, considerando o azimute de 90° (face a barlavento) (fonte: autora).

Para ventos incidindo no intervalo de 105° a 150° , a introdução dos elementos de fachada segue provocando o aumento dos picos máximos na região de topo das faces, dessa vez com destaque para o canto direito. Apesar da tendência observada, com exceção do último azimute, os demais

não apresentam grandes contrastes para os coeficientes característicos, estes situados entre 1,02 e 1,13. Exclusivamente para a porção de topo do Modelo III, destaca-se também, a superioridade dos coeficientes a que estão sujeitos os dois primeiros brises da linha 1, de máximo ângulo de abertura, os quais ultrapassam em, pelo menos, 100% o valor da região correspondente do Modelo I. Além disso, nota-se também a superioridade dos coeficientes a que alguns elementos posicionados ao longo da lateral esquerda da face estão sujeitos. Dentre os brises compreendidos, destacam-se os primeiros pertencentes as linhas 1, 6, 7 e 8, além do segundo da linha 3 e o terceiro da linha 5, em todos os três níveis de incorporação. Já na região do canto inferior dessa mesma lateral, é relevante mencionar que o brise mais extremo (linha 1, nível inferior), fica sujeito a um pico de magnitude consideravelmente superior ao verificado na mesma região do Modelo I (aumento de até 163,9%).

Já na lateral direita da face, destacam-se os picos mais severos, sobretudo para os azimutes de 135° e 150°. Nessa faixa, boa parte dos elementos de extremidade ficam sujeitos a picos de magnitudes superiores a 1,0, de modo que a área os envolvendo se estende, mais uma vez, para mais próximo da região de base. Para 150°, o coeficiente característico na região parte de 0,72 e alcança 1,05, configurando o efeito mais acentuado. Por fim, ressalta-se também a elevação dos picos máximos nos brises da extremidade esquerda da cavidade central formada nas linhas 8, 9 e 10 (de 0,1 para até 0,8), uma vez que as folhas instrumentadas recebem a ação do vento em orientação mais perpendicular. As modificações evidenciadas se encontram explicitadas na Figura 4.22 e na Figura 4.23.

Para os azimutes de 165° e 180°, os picos de sobrepressão já são menos expressivos, em sua maioria inferiores a 0,3 e, assim como verificado para 0° e 15°, a introdução dos elementos de fachada provoca o encolhimento da área abrangendo-os. As modificações mais significativas ficam restritas à lateral direita da face do Modelo III, para 165°. Assim como observado para 150°, boa parte dos coeficientes de extremidade, com exceção dos pertencentes às linhas 3, 7 e 8, ficam submetidos a picos máximos bastante superiores aos observados para a mesma região do Modelo I. Na região em questão, o coeficiente mais expressivo atinge 0,65, contrastando significativamente com um valor de referência igual a 0,12. Ademais, em relação ao Modelo I, verifica-se que a região de topo é bem mais negativa. Por fim, de 195° a 345°, verificam-se apenas baixas sucções para os três modelos, de modo que os coeficientes se situam abaixo de -0,5, em módulo, configurando os coeficientes negativos menos expressivos registrados durante os ensaios.

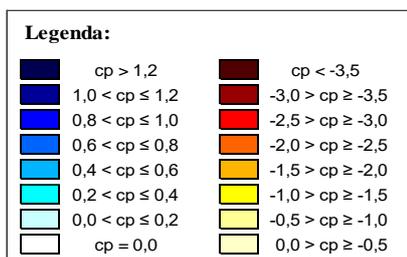
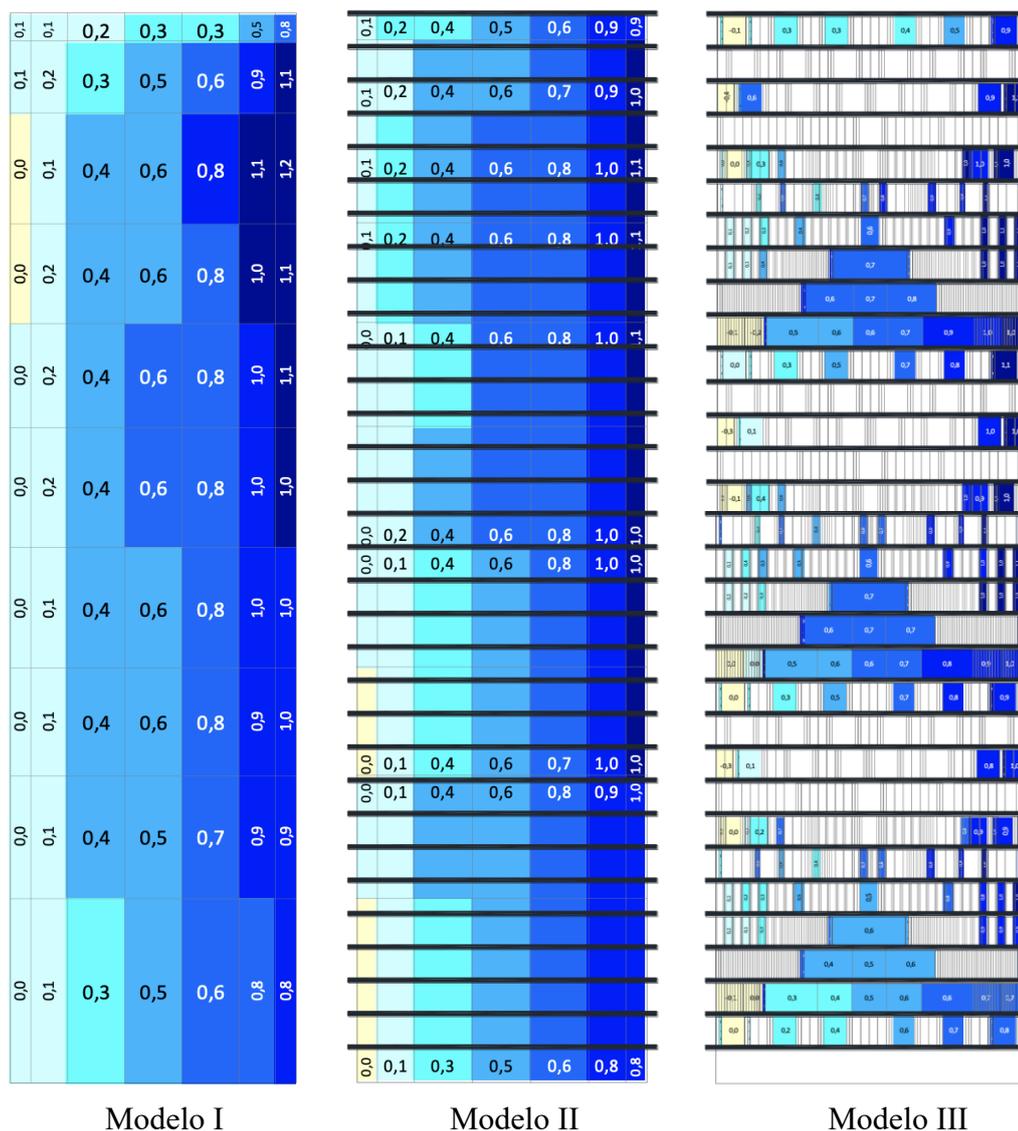


Figura 4.22: Distribuição de coeficientes de pico máximo, externos, nas faces de número 1 dos modelos I, II e III, respectivamente, considerando o azimute de 135° (fonte: autora).

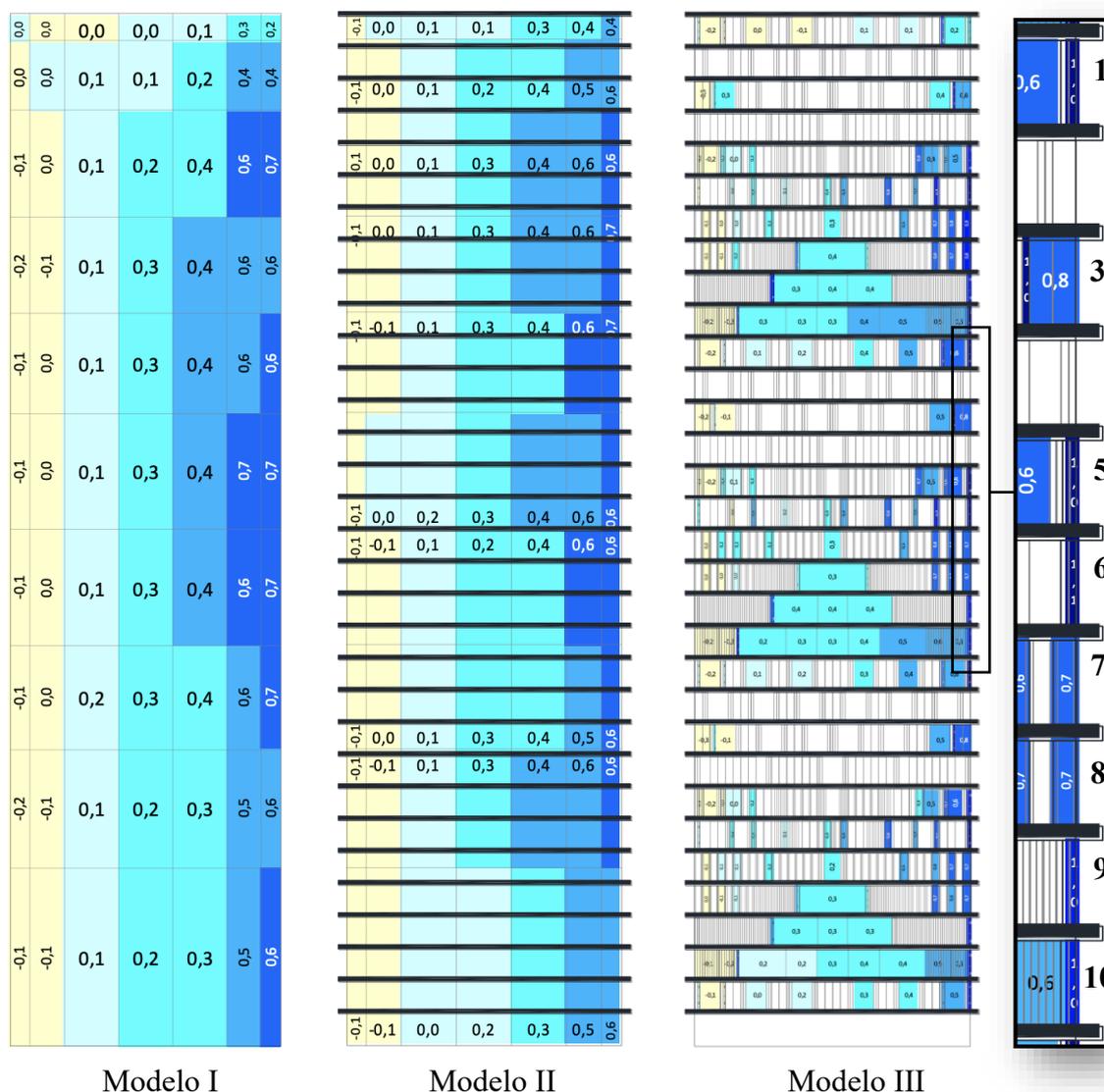


Figura 4.23: Distribuição de coeficientes de pico máximo, externos, nas faces de número 1 dos modelos I, II e III, respectivamente, considerando o azimute de 150° (fonte: autora).

4.2.5 Coeficientes resultantes

Uma vez que os brises deslizantes e articulados que integram a face 1 do Modelo III são constituídos por duas folhas voltadas para lados opostos, torna-se pertinente a avaliação dos

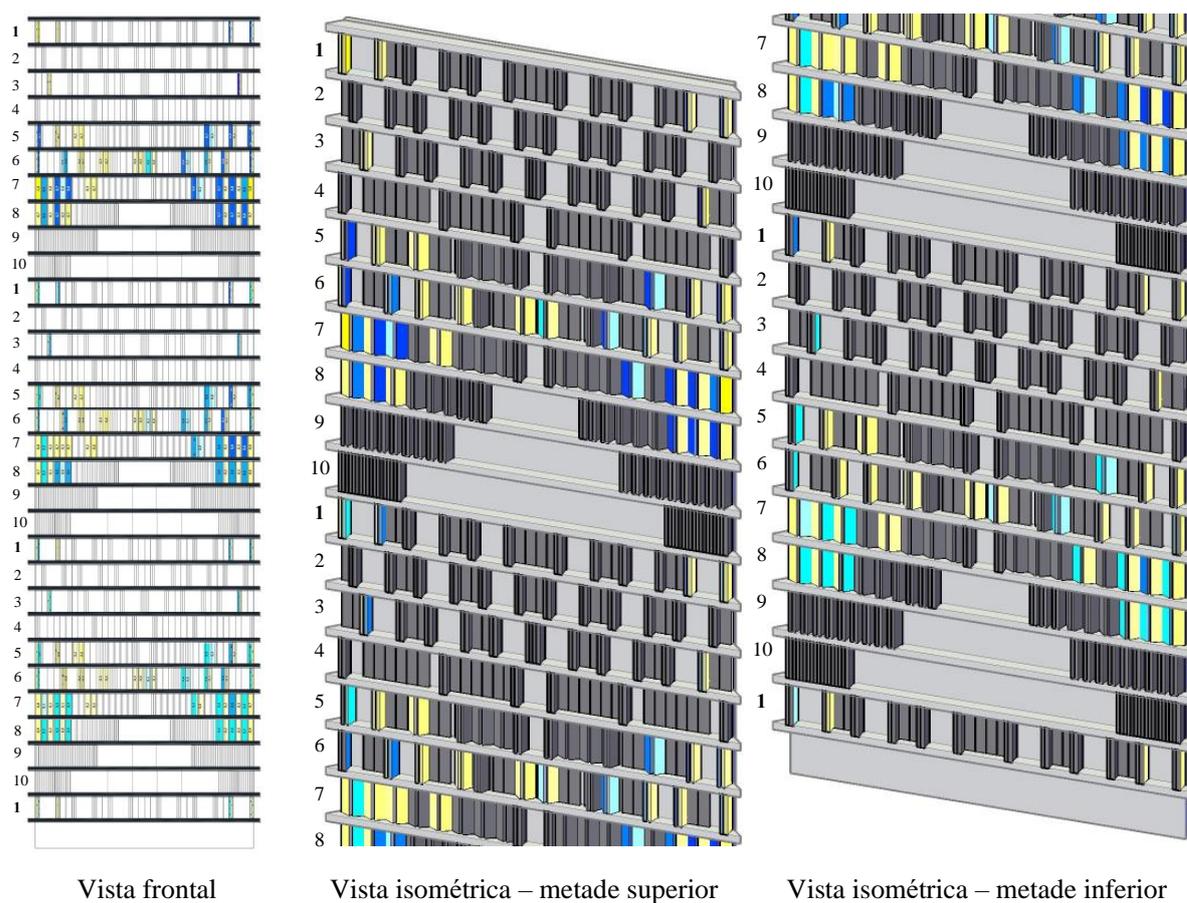
coeficientes resultantes aos quais são submetidos. Por meio da correlação de ângulos de incidência do vento, viabiliza-se a obtenção dos coeficientes de pressão referentes às folhas voltadas para o lado esquerdo, as quais não foram originalmente instrumentadas. Assim, através da análise conjunta dos coeficientes referentes às duas folhas pertencentes a cada elemento, destacam-se algumas resultantes significativas em determinados brises, para os ângulos de incidência do vento situados, sobretudo, entre 0° e 180° .

Duas análises são propostas: a primeira a partir da correlação de coeficientes médios e a segunda a partir de coeficientes de pico. Apesar do fato de a segunda análise ser a utilizada no dimensionamento dos elementos sob a ação do vento, uma vez que os valores de pico apresentam uma dispersão estatística maior, opta-se também por apresentar os valores médios característicos. A estimativa dos coeficientes de pico resultantes é feita de maneira conservadora, assumindo a ocorrência simultânea dos valores mais expressivos de coeficiente de pico mínimo em uma das folhas e de pico máximo na outra, para cada ângulo de incidência avaliado. Para a correlação de coeficientes de mesmo sinal, optou-se por não realizar a dedução de valores, mantendo-se o valor mais significativo, a favor da segurança.

A tendência geral observada nas análises, a cada correlação de ângulos de incidência, é do decréscimo da magnitude dos coeficientes resultantes do topo para a base e também das extremidades laterais para o centro da face. Assim, em uma mesma linha, os elementos mais extremos são os subjugados por coeficientes aerodinâmicos mais significativos. É importante destacar que os valores apresentados são referentes às piores combinações identificadas para cada brise, logo estes não ocorrem simultaneamente no conjunto dos elementos. Assim, a tendência mencionada não pode ser vista com tanta clareza. Ademais, deve-se levar em consideração o fato de que ensaios experimentais estão sujeitos a diversos tipos de interferência, de modo que pequenas imprecisões no posicionamento dos ângulos de incidência e demais fatores podem contribuir para resultados imperfeitos. No caso das correlações apresentadas na sequência, nota-se que os coeficientes que dão origem às maiores resultantes não são exatamente espelhados ou simétricos, como se espera na teoria.

Para a primeira situação, levando em consideração coeficientes médios, os valores mais expressivos são identificados para os azimutes 15° , 45° e 90° , que correspondem a ventos quase paralelo, oblíquo e perpendicular a face, respectivamente. Como pode ser observado na Figura 4.24, em conjunto com os valores apresentados na Tabela 4.1, nos brises pertencentes ao nível superior, tem-se valores, em módulo, variando de 0,14 a 1,48. Já para o nível intermediário, os

valores oscilam entre 0,15 a 1,43 e para o inferior, entre 0,12 e 1,20. Convencionou-se coeficientes resultantes negativos orientados para a esquerda e positivos para a direita e a ordem numérica dos elementos relacionados na Tabela 4.1 respeita o posicionamento dos elementos, em linha, da esquerda para a direita.



Legenda:			
	$cp > 1,2$		$cp < -3,5$
	$1,0 < cp \leq 1,2$		$-3,0 > cp \geq -3,5$
	$0,8 < cp \leq 1,0$		$-2,5 > cp \geq -3,0$
	$0,6 < cp \leq 0,8$		$-2,0 > cp \geq -2,5$
	$0,4 < cp \leq 0,6$		$-1,5 > cp \geq -2,0$
	$0,2 < cp \leq 0,4$		$-1,0 > cp \geq -1,5$
	$0,0 < cp \leq 0,2$		$-0,5 > cp \geq -1,0$
	$cp = 0,0$		$0,0 > cp \geq -0,5$

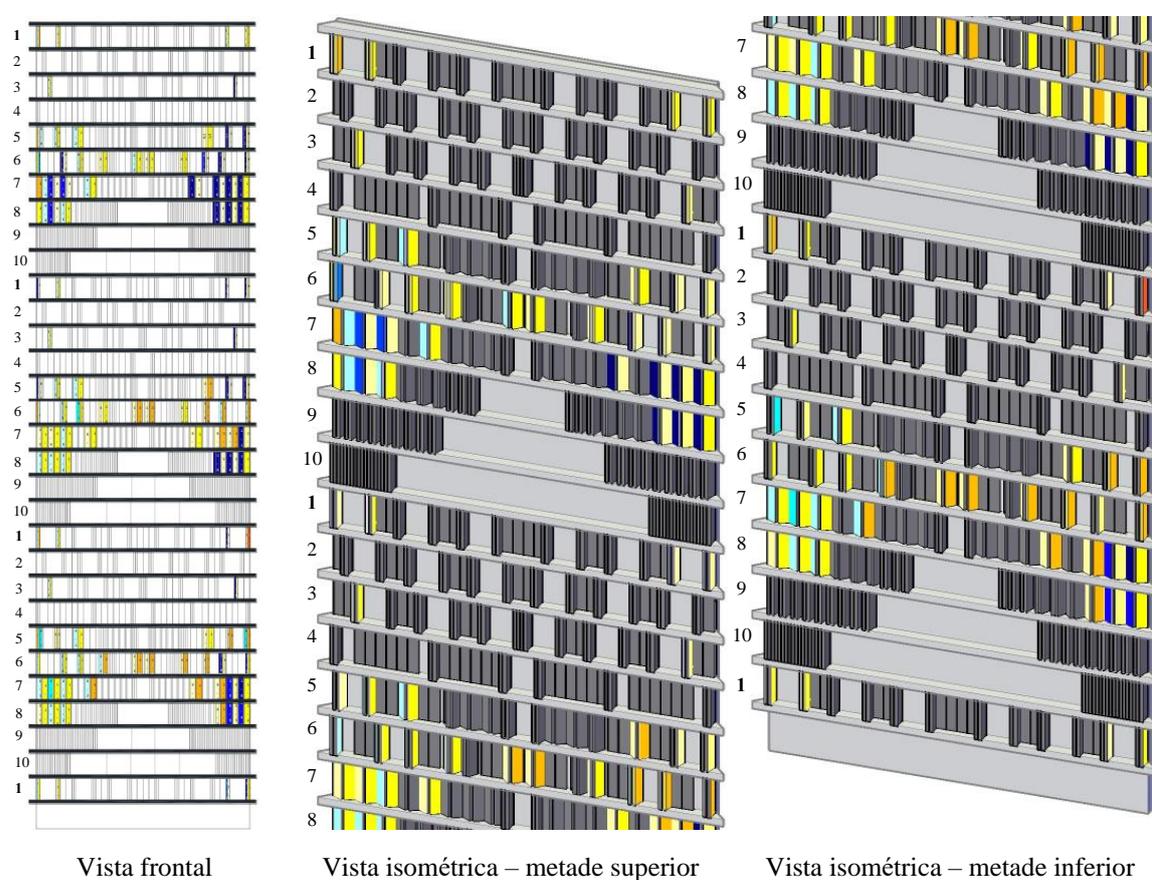
Figura 4.24: Distribuição dos coeficientes dimensionais de pressão médios, externos, que dão origem aos maiores coeficientes resultantes nos brises da face 1 do Modelo III (fonte: autora).

Tabela 4.1: Coeficientes adimensionais de pressão média referentes à Figura 4.24.

NÍVEL	LINHA	Cp med	ELEMENTO											
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
SUPERIOR	1	Folha esquerda	-0,22	-0,29	0,67	0,72								
		Folha direita	-1,03	-0,89	-0,12	-0,05								
		Resultante	1,03	0,89	0,79	0,77								
	3	Folha esquerda	-0,18	0,81										
		Folha direita	-0,95	-0,63										
		Resultante	0,95	1,44										
	5	Folha esquerda	-0,20	-0,20	-0,20	0,69	0,77	0,78						
		Folha direita	0,72	-0,73	-0,70	0,07	-0,11	-0,63						
		Resultante	-0,92	0,73	0,70	0,69	0,88	1,41						
	6	Folha esquerda	-0,81	0,05	-0,19	-0,32	-0,40	0,22	0,61	0,60	0,80	0,68		
		Folha direita	0,68	0,57	-0,68	-0,67	-0,54	-0,04	0,18	-0,02	-0,15	-0,81		
		Resultante	-1,48	-0,57	0,68	0,67	0,54	0,26	0,61	0,62	0,95	1,48		
7	Folha esquerda	-1,01	-0,05	0,05	-0,27	0,62	0,69	0,75	0,47					
	Folha direita	0,47	0,66	0,60	-0,69	0,09	-0,15	-0,30	-1,01					
	Resultante	-1,48	-0,71	-0,60	0,69	0,62	0,84	1,05	1,48					
8	Folha esquerda	-0,74	-0,11	-0,25	0,69	0,74	0,76							
	Folha direita	0,42	0,66	-0,74	-0,16	-0,31	-0,73							
	Resultante	-1,16	-0,77	0,74	0,84	1,05	1,48							
INTERMEDIÁRIO	1	Folha esquerda	-0,77	0,01	0,72	0,38								
		Folha direita	0,38	0,57	-0,20	-0,77								
		Resultante	-1,15	-0,57	0,92	1,15								
	3	Folha esquerda	-0,15	0,51										
		Folha direita	0,53	-0,46										
		Resultante	-0,67	0,97										
	5	Folha esquerda	-0,79	-0,19	-0,21	0,60	0,64	0,55						
		Folha direita	0,28	-0,69	-0,66	0,04	-0,25	-0,55						
		Resultante	-1,07	0,69	0,45	0,60	0,88	1,10						
	6	Folha esquerda	-0,83	0,00	-0,18	-0,29	-0,36	0,14	0,58	0,55	0,66	0,60		
		Folha direita	0,60	0,49	-0,64	-0,62	-0,50	-0,05	0,11	-0,03	-0,19	-0,83		
		Resultante	-1,43	-0,49	0,64	0,62	0,50	0,19	0,58	0,57	0,85	1,43		
7	Folha esquerda	-0,75	-0,23	-0,25	-0,23	0,50	0,57	0,61	0,61					
	Folha direita	0,33	-0,70	-0,70	-0,63	0,04	-0,14	-0,26	-0,64					
	Resultante	-1,08	0,70	0,70	0,63	0,50	0,71	0,88	1,25					
8	Folha esquerda	-0,75	-0,08	0,03	0,58	0,60	0,58							
	Folha direita	0,30	0,52	0,47	-0,18	-0,26	-0,64							
	Resultante	-1,05	-0,59	-0,47	0,76	0,86	1,22							
INFERIOR	1	Folha esquerda	-0,76	-0,23	0,53	0,44								
		Folha direita	0,44	-0,66	-0,23	-0,76								
		Resultante	-1,20	0,66	0,76	1,20								
	3	Folha esquerda	-0,30	0,54										
		Folha direita	0,34	-0,63										
		Resultante	-0,64	1,17										
	5	Folha esquerda	-0,86	-0,21	-0,19	0,27	0,45	0,24						
		Folha direita	0,24	-0,58	-0,57	0,14	-0,23	-0,86						
		Resultante	-1,10	0,58	0,57	0,27	0,68	1,10						
	6	Folha esquerda	-0,80	-0,22	-0,17	-0,27	-0,28	0,13	0,38	0,37	0,44	0,31		
		Folha direita	0,31	-0,56	-0,52	-0,48	-0,40	-0,12	0,02	-0,07	-0,27	-0,80		
		Resultante	-1,11	0,56	0,52	0,48	0,40	0,25	0,38	0,44	0,71	1,11		
7	Folha esquerda	-0,85	-0,09	-0,06	-0,22	0,35	0,38	0,43	0,37					
	Folha direita	0,14	0,33	0,29	-0,50	-0,02	-0,20	-0,29	-0,72					
	Resultante	-0,99	-0,41	-0,36	0,50	0,37	0,58	0,72	1,09					
8	Folha esquerda	-0,93	-0,16	-0,03	0,37	0,39	0,21							
	Folha direita	0,21	0,32	0,29	-0,19	-0,30	-0,93							
	Resultante	-1,15	-0,48	-0,32	0,56	0,69	1,15							
BASE	1	Folha esquerda	-0,79	-0,35	0,30	0,20								
		Folha direita	0,20	-0,68	-0,22	-0,79								
		Resultante	-0,99	0,68	0,52	0,99								

(fonte: autora)

Para a segunda situação, os coeficientes resultantes mais severos, provenientes da combinação de coeficientes de picos máximo e mínimo, ocorrem sobretudo para os azimutes de 15° , 45° , 90° e 180° . Conforme ilustrado na Figura 4.25 e descrito na Tabela 4.2, para o conjunto de brises do nível superior têm-se valores situados entre 0,89 e 2,21. Já para o nível intermediário, estes se situam entre 1,31 e 2,09 e para o inferior, entre 0,63 e 2,45. Assim, como esperado, os valores de pico refletem em coeficientes resultantes muito superiores em relação aos médios apresentados anteriormente.



Legenda:	
 $cp > 1,2$	 $cp < -3,5$
 $1,0 < cp \leq 1,2$	 $-3,0 > cp \geq -3,5$
 $0,8 < cp \leq 1,0$	 $-2,5 > cp \geq -3,0$
 $0,6 < cp \leq 0,8$	 $-2,0 > cp \geq -2,5$
 $0,4 < cp \leq 0,6$	 $-1,5 > cp \geq -2,0$
 $0,2 < cp \leq 0,4$	 $-1,0 > cp \geq -1,5$
 $0,0 < cp \leq 0,2$	 $-0,5 > cp \geq -1,0$
 $cp = 0,0$	 $0,0 > cp \geq -0,5$

Figura 4.25: Distribuição dos coeficientes adimensionais de pressão de pico, externos, que dão origem aos maiores coeficientes resultantes nos brises da face 1 do Modelo III (fonte: autora).

Tabela 4.2: Coeficientes adimensionais de pressão de pico referentes à Figura 4.25.

NÍVEL	LINHA	Cp pico	ELEMENTO																								
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10															
SUPERIOR	1	Folha esquerda	0,03	-0,19	0,03	-0,01																					
		Folha direita	-1,60	-1,08	-1,28	-1,39																					
		Resultante	1,63	1,08	1,31	1,39																					
	3	Folha esquerda	0,16	1,10																							
		Folha direita	-1,32	-0,86																							
		Resultante	1,49	1,96																							
	5	Folha esquerda	-1,62	0,14	0,16	-0,07	1,11	1,08																			
		Folha direita	0,04	-1,05	-1,08	-1,30	-0,31	-0,88																			
		Resultante	-1,65	1,19	1,23	1,30	1,42	1,96																			
	6	Folha esquerda	-1,48	1,06	0,18	-0,09	0,04	-0,28	-0,17	0,93	1,10	1,06															
		Folha direita	0,40	-0,03	-1,07	-1,17	-1,05	-1,36	-1,30	-0,25	-0,35	-0,90															
		Resultante	-1,89	1,09	1,26	1,17	1,09	1,36	1,30	1,18	1,45	1,96															
	7	Folha esquerda	-1,78	0,94	0,88	0,04	1,13	1,03	1,10	1,10																	
		Folha direita	0,07	-0,32	-0,26	-1,11	-0,02	-0,37	-0,53	-1,11																	
		Resultante	-1,85	1,26	1,14	1,14	1,15	1,39	1,63	2,21																	
	8	Folha esquerda	-1,41	0,96	0,05	1,04	1,05	1,12																			
		Folha direita	0,01	-0,35	-1,23	-0,37	-0,52	-1,06																			
		Resultante	-1,42	1,30	1,28	1,41	1,57	2,18																			
	INTERMEDIÁRIO	1	Folha esquerda	1,06	0,03	1,10	1,04																				
			Folha direita	-0,44	-1,28	-0,42	-0,81																				
			Resultante	1,49	1,31	1,52	1,85																				
		3	Folha esquerda	0,13	1,08																						
			Folha direita	-1,19	-0,86																						
			Resultante	1,32	1,94																						
5		Folha esquerda	1,00	0,11	0,10	-0,05	1,10	1,08																			
		Folha direita	-0,49	-1,35	-1,37	-1,52	-0,45	-0,84																			
		Resultante	1,50	1,46	1,47	1,47	1,54	1,92																			
6		Folha esquerda	-1,87	0,05	0,30	-0,12	-0,23	-0,21	-0,20	0,00	0,10	0,05															
		Folha direita	0,05	-1,38	-1,12	-1,39	-1,68	-1,64	-1,46	-1,54	-1,56	-1,87															
		Resultante	-1,92	1,43	1,42	1,39	1,68	1,64	1,46	1,54	1,66	1,92															
7		Folha esquerda	-0,02	-0,01	0,01	-0,09	-0,12	-0,07	-0,09	1,07																	
		Folha direita	-1,41	-1,39	-1,43	-1,41	-1,46	-1,56	-1,65	-0,99																	
		Resultante	1,41	1,39	1,45	1,41	1,46	1,56	1,65	2,06																	
8		Folha esquerda	0,07	0,10	0,02	1,04	1,01	1,05																			
		Folha direita	-1,39	-1,43	-1,42	-0,37	-0,46	-1,05																			
		Resultante	1,46	1,52	1,44	1,42	1,48	2,09																			
INFERIOR		1	Folha esquerda	0,06	0,01	1,04	-0,18																				
			Folha direita	-1,59	-1,38	-0,45	-2,26																				
			Resultante	1,65	1,38	1,50	2,08																				
		3	Folha esquerda	0,03	1,02																						
			Folha direita	-1,48	-0,98																						
			Resultante	1,51	2,00																						
	5	Folha esquerda	-1,93	-0,14	0,08	-0,08	-0,19	0,21																			
		Folha direita	0,21	-0,77	-1,49	-1,48	-1,65	-1,93																			
		Resultante	-2,14	0,63	1,57	1,48	1,65	2,14																			
	6	Folha esquerda	0,05	0,05	0,15	0,00	-0,03	-0,25	-0,21	-0,24	1,04	0,97															
		Folha direita	-1,39	-1,47	-1,44	-1,61	-1,62	-1,81	-1,75	-1,68	-0,52	-1,15															
		Resultante	1,44	1,52	1,59	1,61	1,62	1,81	1,75	1,68	1,55	2,12															
	7	Folha esquerda	0,07	0,22	0,12	0,18	-0,08	-0,16	0,96	1,01																	
		Folha direita	-1,35	-1,32	-1,38	-1,54	-1,53	-1,70	-0,55	-1,44																	
		Resultante	1,42	1,54	1,50	1,72	1,45	1,70	1,51	2,45																	
	8	Folha esquerda	-0,03	0,01	0,17	-0,29	0,86	0,93																			
		Folha direita	-1,38	-1,30	-1,37	-1,63	-0,59	-1,49																			
		Resultante	1,38	1,32	1,54	1,63	1,45	2,42																			
	BASE	1	Folha esquerda	0,06	-0,13	0,60	0,84																				
			Folha direita	-1,35	-1,06	-0,44	-1,02																				
			Resultante	1,41	1,06	1,04	1,86																				

(fonte: autora)

4.3 ANÁLISE: FACE 2

4.3.1 Coeficientes médios

Do primeiro ângulo de incidência avaliado, 0° , quando a face se encontra na posição de sotavento, até o ângulo de 105° , verifica-se a ocorrência exclusiva de sucções para os três modelos. A cada incremento de 15° , os coeficientes característicos de cada região se elevam, permanecendo abaixo de -0,7 (em módulo) de 0° a 60° , e predominantemente entre -0,7 e -1,0 para os azimutes de 75° a 105° . Nesse intervalo, a introdução dos elementos de fachada não reflete em mudanças muito significativas na distribuição de pressões.

Enquanto para o primeiro azimute se verifica uma sutil elevação na magnitude dos coeficientes médios na região da base e da lateral direita da face, de 15° a 90° têm-se atenuações nas mesmas regiões, sendo estas mais expressivas para 90° , quando o vento incide paralelamente à face em análise. Para este caso, verifica-se o decréscimo dos coeficientes característicos da região de base de -0,90, relativo ao modelo de referência (Modelo I), para -0,79, referente ao Modelo II, e para -0,77 e -0,72, para a superfície e brises do Modelo III, respectivamente. Já na lateral direita da face, os valores sofrem uma redução de -0,97, para -0,85, -0,83 e -0,77, segundo a mesma ordem. Vale ressaltar que além das áreas mencionadas, para o ângulo de incidência do vento destacado, verifica-se uma redução geral dos coeficientes médios para a introdução dos elementos de fachada.

Já o ângulo de 105° merece mais destaque. Posto que uma de suas arestas fica posicionada perpendicularmente à ação do vento, verifica-se a elevação das sucções médias ao longo da porção superior da lateral esquerda. Nessa região, destaca-se a ocorrência de alguns dos maiores coeficientes (em módulo) observados dentre os ângulos de incidência do vento avaliados, especificamente na região do canto superior. Enquanto o valor observado para o Modelo I é de -1,82, para o Modelo II tem-se -1,25 e para o III, -1,10 para a superfície da fachada e -1,20 para o brise posicionado no local, configurando reduções significativas na magnitude dos coeficientes característicos das regiões abrangidas. Em contrapartida, vale mencionar um leve aumento na magnitude dos coeficientes na lateral oposta, partindo de -0,68 e atingindo -0,79, -0,82 e -0,70, segundo a mesma ordem, conforme apresentado na Figura 4.26.

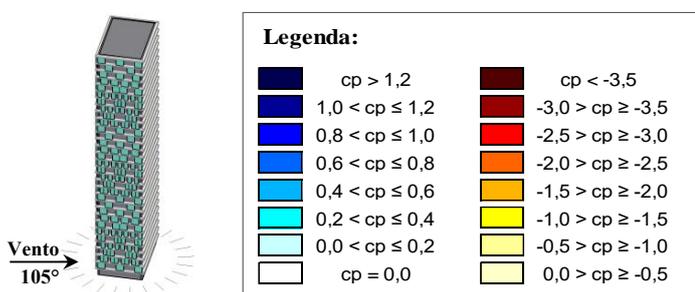
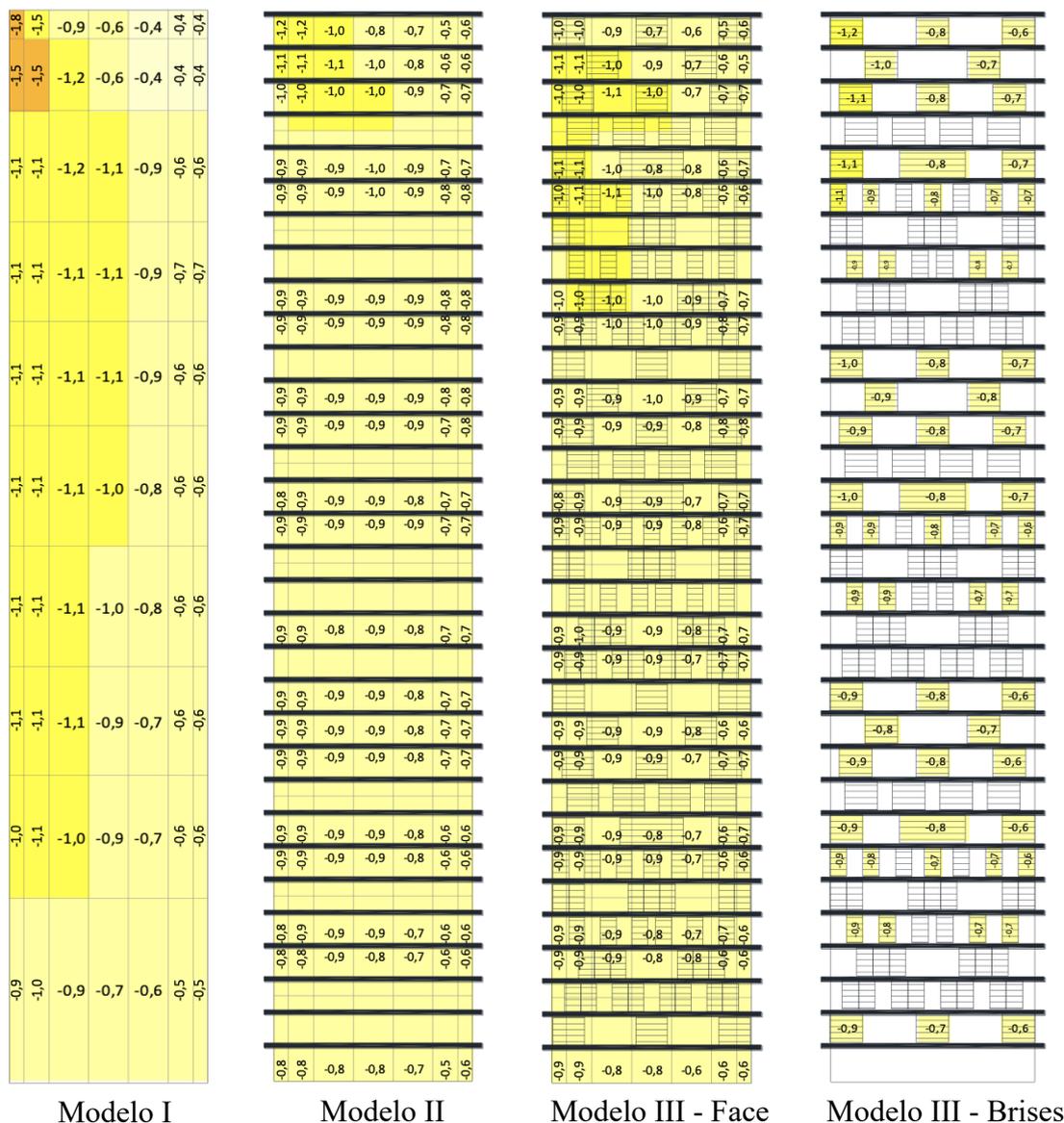


Figura 4.26: Distribuição de coeficientes de pressão média, externos, nas faces de número 2 dos modelos I, II e III, respectivamente, considerando o azimute de 105° (fonte: autora).

Para 120°, inicia-se o surgimento de regiões de sobrepressões, as quais se desenvolvem até 240°. Para os ângulos de incidência do vento limites desse intervalo, ainda há o predomínio de

sucções e as faces contam apenas com pequenos focos de sobrepressões em sua região central, com valores próximos a 0,0. Para 120°, destaca-se a elevação dos coeficientes negativos nas regiões de topo, central e de base, com destaque para a segunda região, de um valor de referência de -0,24 para -0,39, -0,39 e -0,37, para os modelos II e III, considerando os valores referentes à superfície da fachada e aos brises. Ademais, também se observa uma elevação da magnitude dos coeficientes aos quais os brises posicionados na lateral direita da face estão submetidos, inclusas as regiões de canto, de modo que o valor característico se eleva de -0,40 para -0,43, -0,57 e -0,54, segundo a mesma ordem. Já para 240°, o efeito que se verifica para as primeiras regiões apenas se sustenta para o Modelo III, com coeficientes característicos da mesma ordem apresentada para 120°. Já na lateral direita, inclusas as regiões de canto, se verificam reduções nos coeficientes, sendo que os valores mais expressivos decaem de -0,81 para -0,67, -0,47 e -0,50, respectivamente.

Entre os azimutes de 135° e 225°, figuram ao longo das faces e também dos brises, sobrepressões médias mais elevadas, as quais surgem na lateral esquerda e, a cada incremento de 15°, vão avançando até desaparecerem pela lateral direita. Apesar das distribuições de pressões dos modelos II e III seguirem bem a tendência verificada para o Modelo I, algumas mudanças relevantes podem ser destacadas, principalmente para o terceiro. Nesse intervalo, verifica-se uma forte influência exercida pela presença dos brises deslizantes na distribuição dos coeficientes médios. Uma vez que funcionam como anteparos ao escoamento, normalmente são submetidos a coeficientes de pressão mais significativos que os da superfície na qual estão inseridos. Assim, a distribuição da face assume um aspecto mais irregular, diferindo, de certa forma, do padrão observado para o modelo de referência, enquanto os valores a que os brises estão sujeitos permanecem, em geral, bastante similares aos que ocorrem no Modelo I.

Para vento incidindo obliquamente à face, a 135°, a mudança mais significativa observada para o Modelo II consiste na elevação das sobrepressões na região de topo da face, com destaque para a primeira tomada de pressão posicionada exatamente no canto esquerdo, a qual registra o aumento do coeficiente aerodinâmico local de 0,29 para 0,61. Já para o Modelo III, essa mesma tomada registra um decréscimo para 0,10, valor compensado pelo adimensional referente ao brise. Enquanto isso, os coeficientes característicos dos três modelos permanecem bastante próximos. Ademais, tanto para a face como para os brises do terceiro modelo, estende-se a atenuação dos coeficientes também para a metade superior da lateral esquerda da face em análise, de um valor de referência igual a 0,66 para 0,60 e 0,57, respectivamente. Quanto às sucções, verifica-se o aumento da magnitude de boa parte dos coeficientes distribuídos na

lateral direita da face e dos brises posicionados na região, sendo o efeito mais significativo observado para a os cantos (elevação de coeficientes situados entre -0,2 e -0,3 para até próximo de -0,6). Os detalhes supracitados se encontram explicitados nos diagramas apresentados na Figura 4.27.

Considerando os azimutes de 150° e 165° e restringindo a análise ao segundo modelo, observa-se a ampliação da área contendo as maiores sobrepressões, cujos coeficientes adimensionais superam o valor de 0,8. Com a introdução das projeções horizontais, a área passa a se estender do ponto aonde se localiza o maior coeficiente do Modelo I (0,82), até o canto superior esquerdo, refletindo em sobrepressões mais elevadas nessa região. O maior incremento é observado para 150° , de 0,77 para 0,86, sendo este também o valor mais expressivo verificado para o Modelo II. Em contraste, para o Modelo III, apesar do aumento do coeficiente característico da região para um valor similar a este, a tomada posicionada exatamente no canto em questão registra um decréscimo significativo no coeficiente positivo, especialmente para 165° , de 0,44, referente ao Modelo I, para 0,04. Todavia, nota-se que o brise posicionado no local, para ambos os casos, fica sujeito a um coeficiente até mesmo superior ao verificado para o Modelo I (0,64). te

O mesmo efeito também ocorre ao longo da lateral esquerda da face do terceiro modelo: enquanto os coeficientes pertencentes à face sofrem reduções em sua magnitude, os coeficientes associados aos brises chegam a superar em até 50% a magnitude dos observados na região correspondente do Modelo I. Finalmente, quanto às sucções, destaca-se apenas a ampliação da região envolvendo-as, bem como a elevação da magnitude dos coeficientes ao longo da lateral direita da face do Modelo III, com destaque para os cantos superior e inferior, os quais são sujeitos a coeficientes superiores a -0,5 (em módulo). Detalhes do intervalo podem ser visualizados na Figura 4.28.

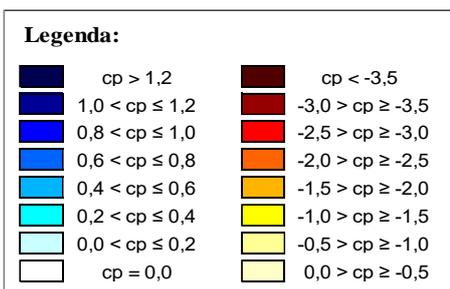
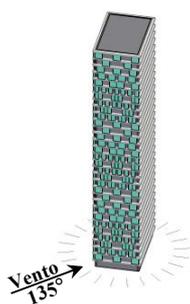
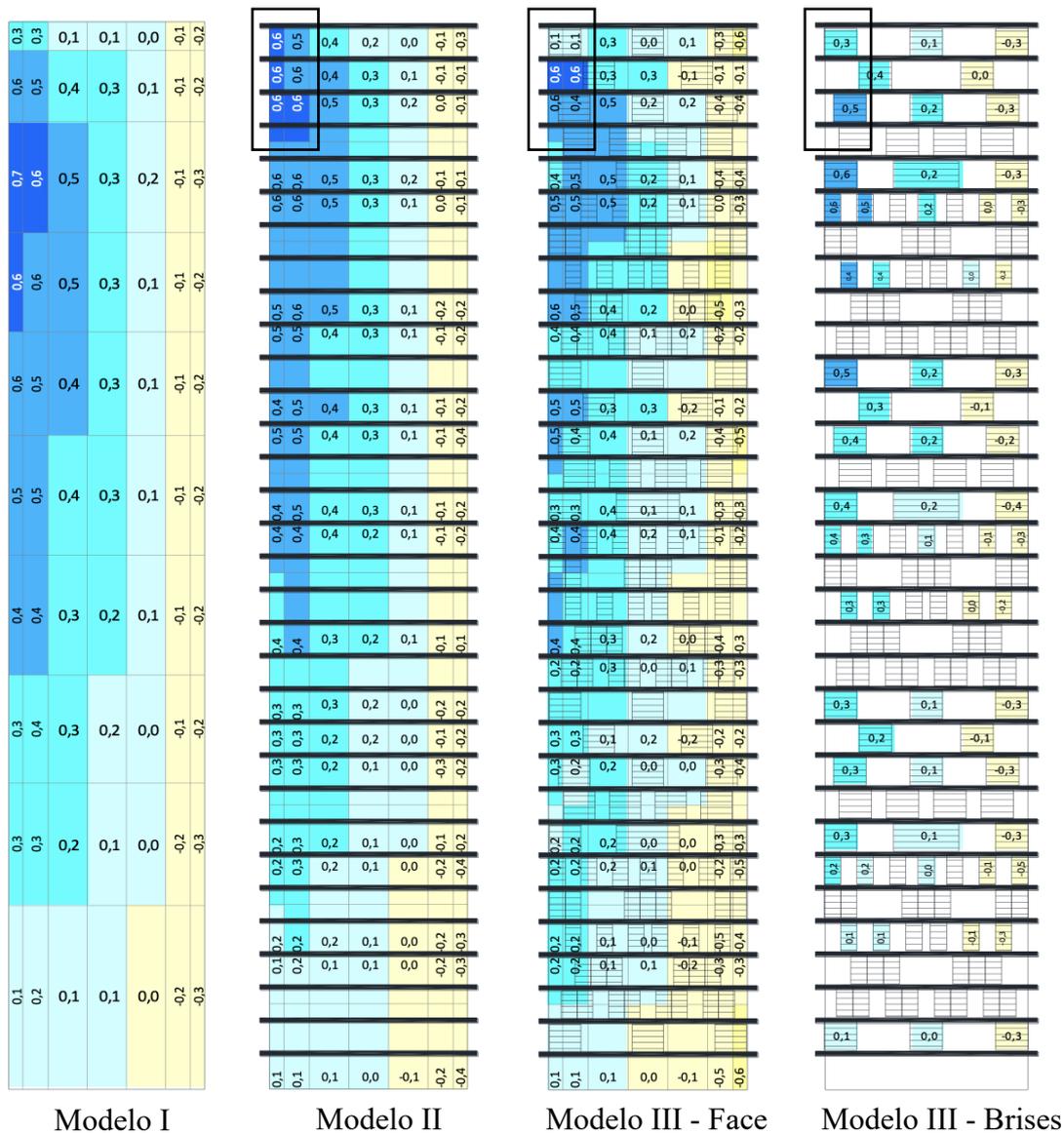


Figura 4.27: Distribuição de coeficientes de pressão média, externos, nas faces de número 2 dos modelos I, II e III, respectivamente, considerando o azimute de 135° (vento oblíquo a face) (fonte: autora).

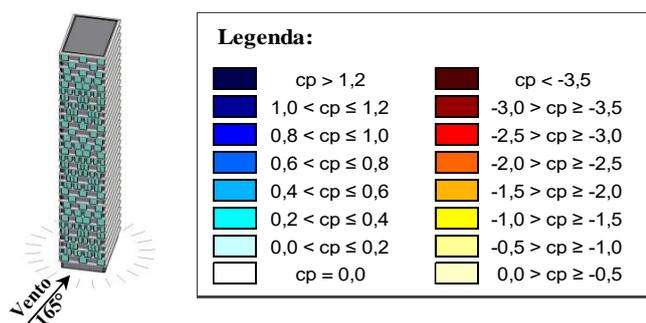
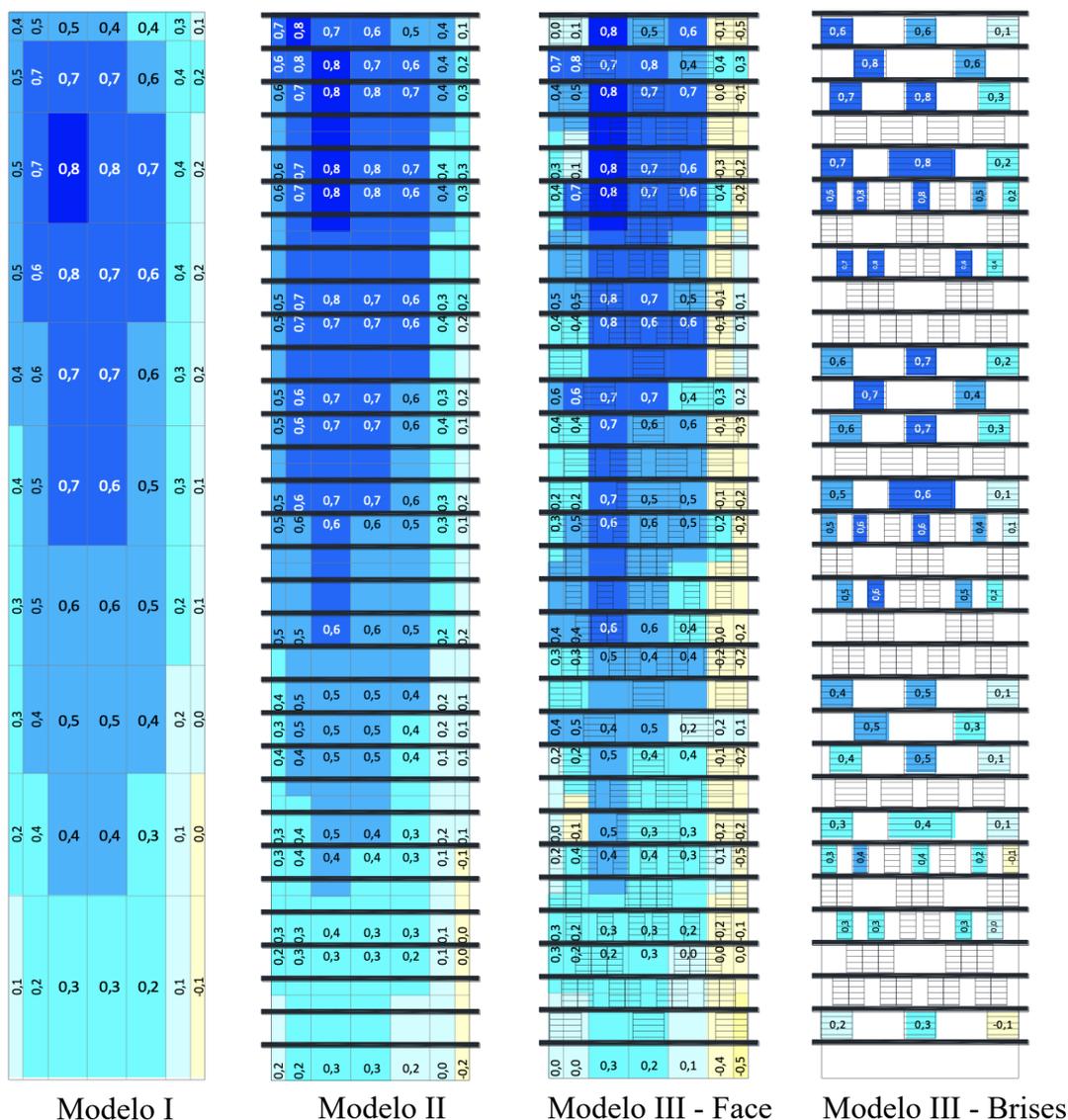


Figura 4.28: Distribuição de coeficientes de pressão média, externos, nas faces de número 2 dos modelos I, II e III, respectivamente, considerando o azimute de 165° (fonte: autora).

Considerando vento perpendicular à face, isto é, para o azimute de 180° , destaca-se o aumento das sobrepessões ao longo de toda a região de topo do Modelo II, sendo que o valor

característico da área passa de 0,72, relativo ao modelo de referência, para 0,85. Para a face do Modelo III, essa elevação é mais sutil e se restringe a porção central, a qual fica sujeita a um coeficiente característico igual a 0,82. Considerando novamente apenas as tomadas de pressão localizadas exatamente nos cantos superiores, têm-se coeficientes negativos oscilando entre -0,08 e -0,34, configurando uma redução expressiva em relação aos valores de referência situados entre 0,25 e 0,39. Novamente, os brises posicionados nestes mesmos cantos, “compensam” esses valores, sendo o coeficiente a que o elemento do lado esquerdo fica sujeito, ainda maior que o verificado para o Modelo I. Para os demais brises, como pode ser visualizado na Figura 4.29, verificam-se apenas coeficientes positivos, sendo que os mais extremos das laterais esquerda e direita ficam submetidos a pressões superiores às verificadas no Modelo I, especialmente nos 2/3 superiores. O destaque fica para os pertencentes à lateral esquerda, na qual o coeficiente característico sobe de 0,55 para 0,70. Assim como observado para o azimute de 165°, os modelos I e II praticamente não apresentam sucções (apenas no canto inferior). Já a face do Modelo III apresenta sucções ao longo de praticamente toda a extremidade direita e em alguns pontos da extremidade esquerda também. Destacam-se a ocorrência de sucções nos quatro cantos da face, com o maior valor figurando no inferior direito, próximo a -0,55.

De 195° a 225°, a elevação das sobrepressões na região de topo, oriundas da incorporação de projeções horizontais à face, se concentra próximo ao canto direito, sendo a maior elevação verificada para 225°, de 0,57, referente ao Modelo I, para 0,72. Já para a adição dos brises à essa configuração, as modificações ficam mais condicionadas ao ângulo de incidência considerado. Enquanto as alterações verificadas para 195° são bastante similares às constatadas para 180°, para 210°, verifica-se a elevação na magnitude das sobrepressões a que estão sujeitos os elementos das linhas 1 a 6 pertencentes ao 1/3 superior da lateral direita, inclusa a região de canto, conforme exposto na Figura 4.30. Nessa região, identificam-se os maiores coeficientes positivos dentre os ângulos de incidência avaliados, atingindo valores iguais a 0,86 para a face e 0,82 para o elemento da linha 3. Já para 225°, não se verificam alterações significativas no canto superior direito, todavia destaca-se uma sutil atenuação das sobrepressões ao longo da lateral direita da face. Finalmente, quanto às sucções, verifica-se a elevação dos coeficientes na lateral esquerda apenas para o último azimute do intervalo, com destaque para o canto superior da face (de -0,21 para -0,40).

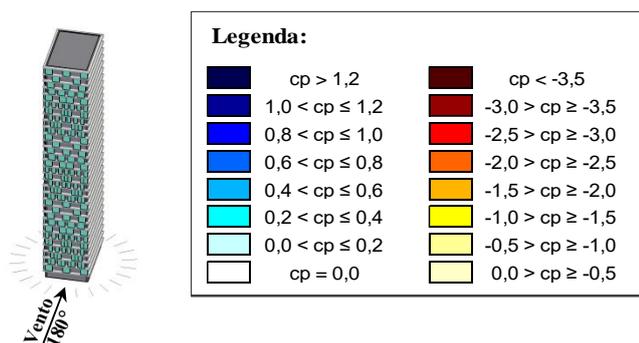
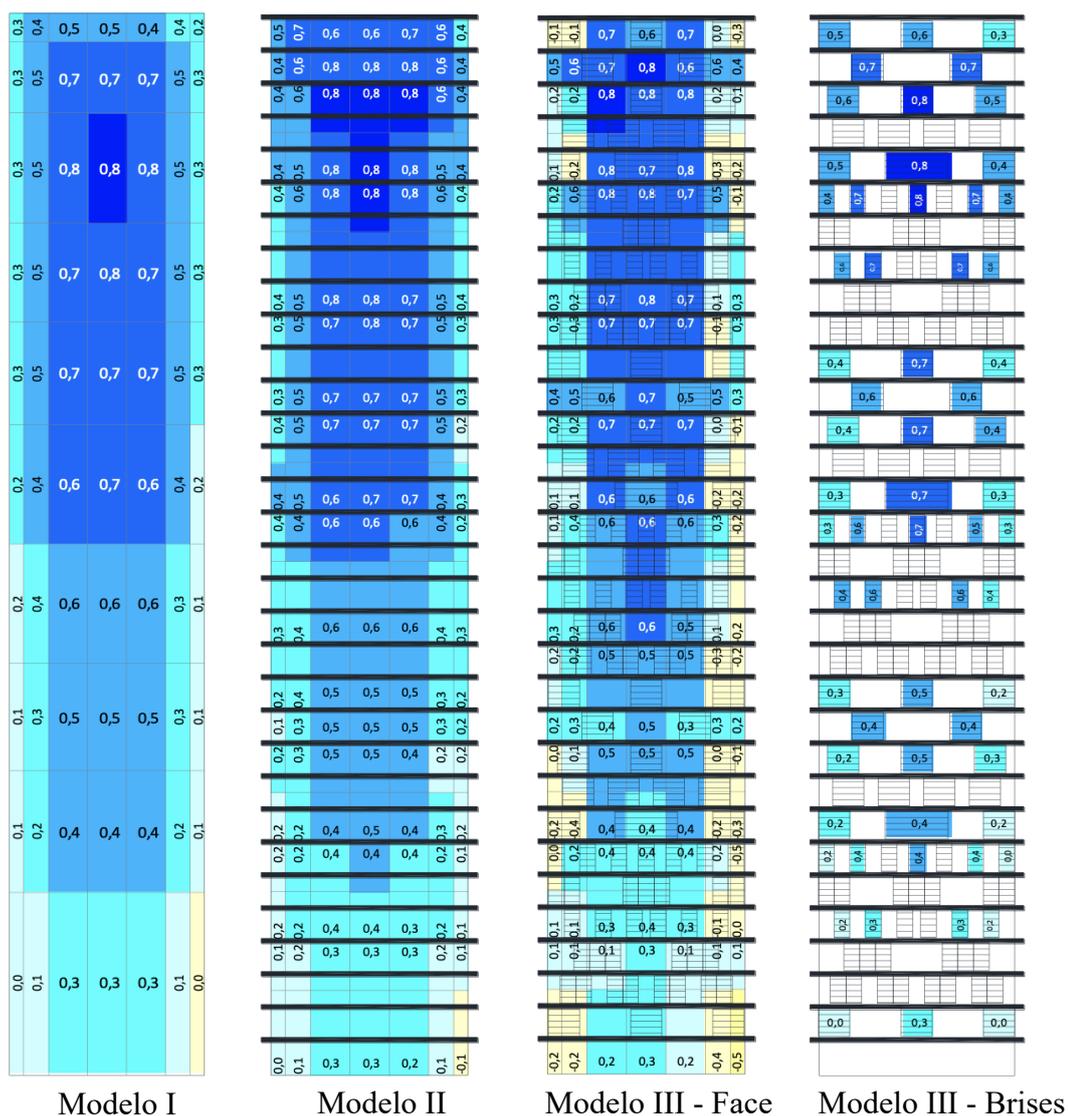


Figura 4.29: Distribuição de coeficientes de pressão média, externos, nas faces de número 2 dos modelos I, II e III, respectivamente, considerando o azimute de 180° (face a barlavento) (fonte: autora).

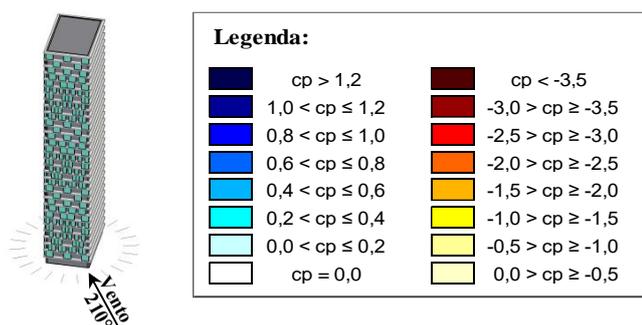
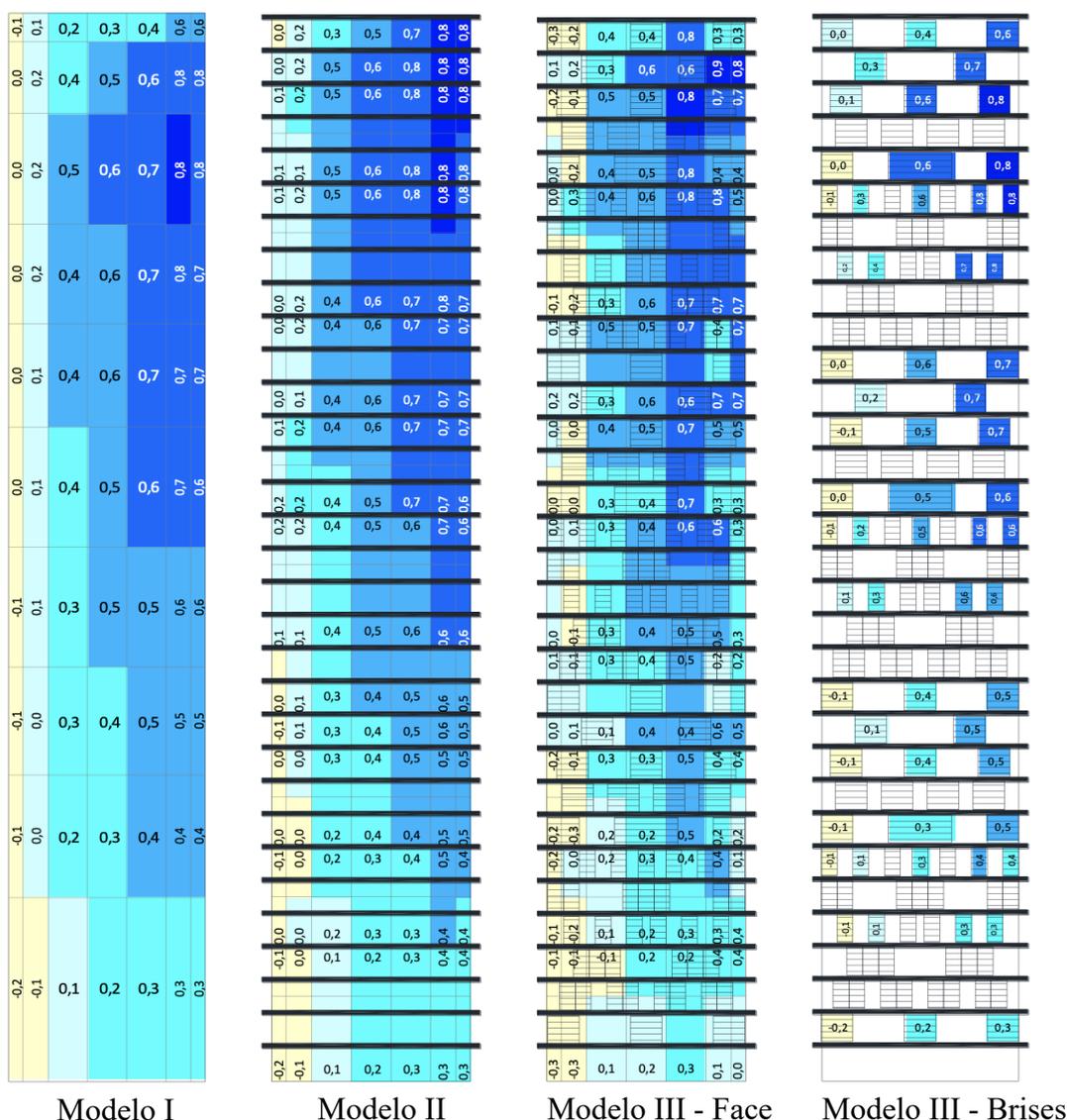


Figura 4.30: Distribuição de coeficientes de pressão média, externos, nas faces de número 2 dos modelos I, II e III, respectivamente, considerando o azimute de 210° (fonte: autora).

De 255° a 345°, as sucções voltam a imperar para todos os casos analisados. Para o primeiro, assim como para 105°, constatam-se valores mais significativos, dessa vez ao longo da lateral direita da face, sobretudo no canto superior. No local, destacam-se alguns dos maiores

coeficientes médios negativos dentre todos os ângulos de incidência do vento avaliados: -1,688 para o Modelo I, -1,33 para o Modelo II, -1,39 e -1,31 para a face e brises do Modelo III. Através da análise comparativa das distribuições de pressões entre os três modelos, verifica-se que a introdução dos elementos de fachada conduz a uma redução expressiva das magnitudes dos coeficientes negativos nessa região e também da área envolvendo valores superiores a -1,0 (em módulo). Para o Modelo III, apesar dessa redução, constata-se a ocorrência de um coeficiente igual a -1,77 na extremidade direita da linha 5, nível superior, superando o valor da região correspondente do Modelo I. Já a distribuição das pressões nos brises permanece similar a observada para a face, sendo que nenhum elemento fica sujeito a valores superiores aos do Modelo I.

De 270° a 345°, os coeficientes negativos vão se tornando cada vez menos significativos a cada incremento de 15°, partindo de valores predominantemente situados entre -0,7 e -0,8, para o primeiro, a inferiores a -0,6 (em módulo) para o último. Nesse intervalo, poucas mudanças relevantes são observadas dentre os modelos. A tendência geral é de suavizações das sucções por toda a extensão das faces dos modelos e também nos brises, com exceção de algumas regiões da lateral direita da face do Modelo III, considerando o ângulo de incidência de 270°, quando o vento incide paralelamente à face.

4.3.2 Coeficientes r.m.s.

De 0°, quando a face se encontra posicionada a sotavento, a 60°, além de sutis reduções nas flutuações de pressão, não se observam alterações significativas dentre os modelos, sendo que as faces dos três permanecem submetidas a coeficientes próximos a 0,1. Já para ventos incidindo mais paralelamente à face em questão, para os azimutes de 75° e 90°, constata-se uma redução expressiva da área envolvendo coeficientes superiores a 0,2, tanto para as faces dos modelos II e III, como para os brises pertencentes ao último. Essa restrição, retratada na Figura 4.31, promove atenuações na magnitude dos coeficientes sobretudo ao longo da lateral direita da face em análise, sendo o efeito mais significativo observado para 75°, quando o valor característico na região sofre uma queda de 0,29 para 0,18, 0,16 e 0,14 segundo a ordem das imagens. Outra região que também merece destaque é a de base, a qual apresenta atenuações similares. Ademais, para o azimute de 90°, também se constata uma redução ao longo da lateral esquerda da face, de um valor característico de 0,34 para 0,24, 0,20 e 0,19, segundo a mesma ordem. Nessa região, vale destacar a superioridade do coeficiente a que o brise posicionado no canto superior esquerdo fica submetido, 0,25, em relação a 0,19 do modelo de referência.

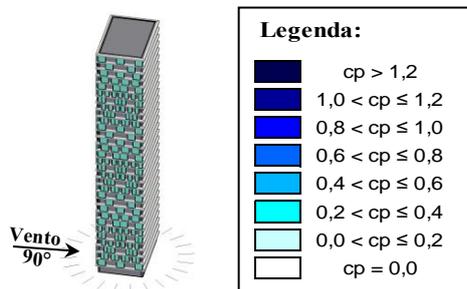
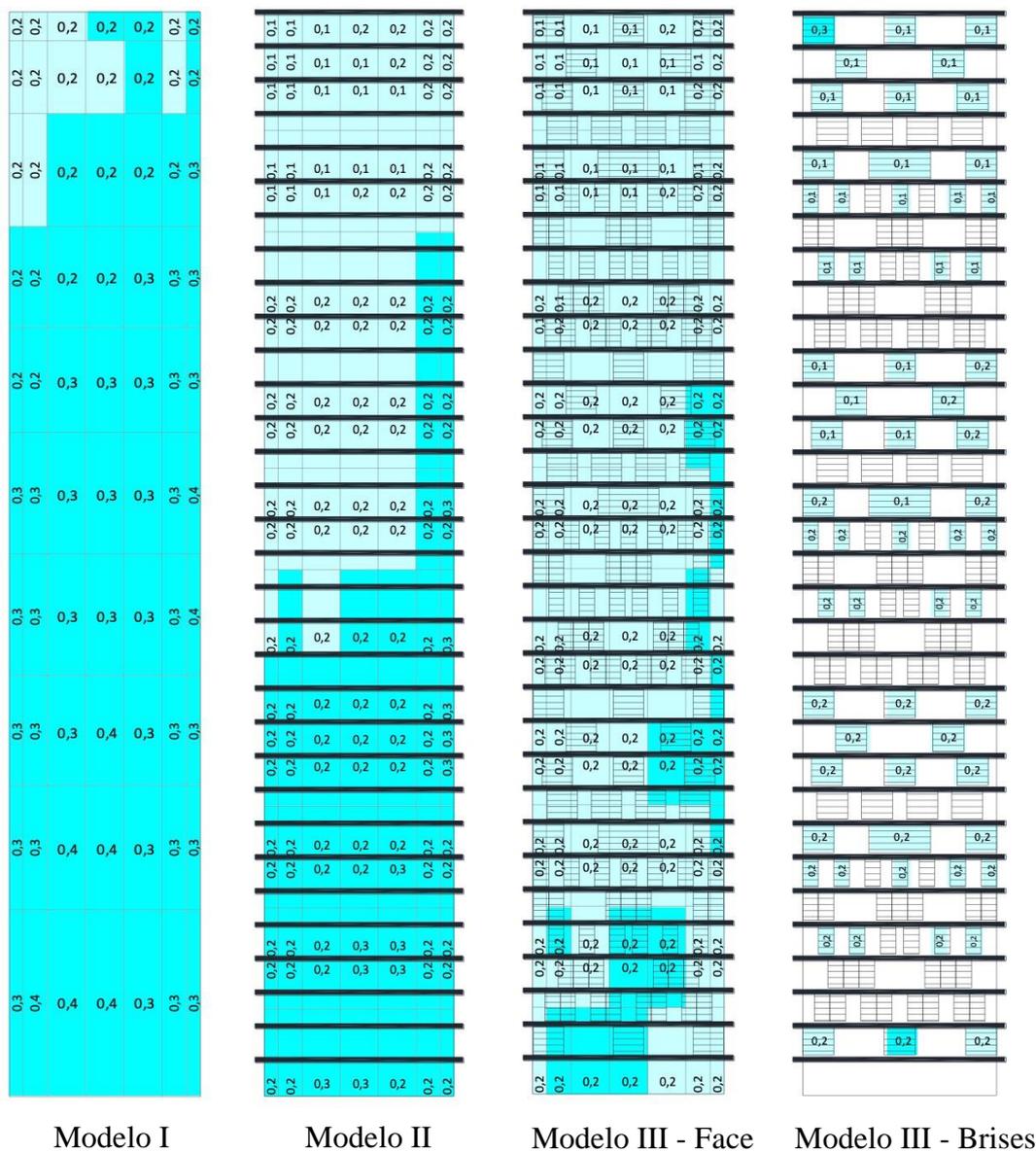


Figura 4.31: Distribuição de coeficientes de pressão r.m.s., externos, nas faces de número 2 dos modelos I, II e III, respectivamente, considerando o azimute de 90° (vento paralelo à face) (fonte: autora).

Para o azimute de 105° , também se observa o encolhimento da área que abrange os coeficientes adimensionais superiores a 0,2, o que reflete na atenuação das flutuações, especialmente ao

longo da lateral esquerda das faces dos modelos. Nessa faixa, verifica-se a queda dos coeficientes característicos, de 0,49, relativo ao canto superior esquerdo do modelo de referência, para 0,22 e 0,20, para as faces dos modelos II e III. Ademais, também se ressalta o mesmo efeito para a região de base, de 0,27 para 0,23 e 0,22, respectivamente. Para os brises, nota-se também um coeficiente bastante inferior para o elemento posicionado no canto superior esquerdo, todavia, é notória a sua superioridade em relação à mesma região da face, conforme os detalhes dos diagramas da Figura 4.32. Ademais, ao longo da extremidade lateral esquerda, tem-se os elementos mais solicitados, nas linhas 1, 3 e 5, cujos coeficientes também superam os valores da região da face correspondente, porém não os verificados para o Modelo I. Já os demais elementos permanecem sujeitos a coeficientes consideravelmente inferiores aos pertencentes ao primeiro modelo. As tendências destacadas para os brises se confirmam também para vento incidindo a 120°.

Entre 135° e 240°, poucas são as mudanças observadas. Ressaltam-se apenas reduções na magnitude dos coeficientes para a face do Modelo III, sendo estas concentradas ao longo da lateral esquerda da face em análise, para 135°, e da lateral oposta, para 225°. Já para vento incidindo a 255°, verifica-se novamente uma redução expressiva da área contendo os coeficientes mais críticos (acima de 0,2), a qual se torna mais esparsa para o Modelo II e praticamente some para o Modelo III. Para ambas as faces dos modelos e também para os brises incorporados ao último, o maior destaque se resume à atenuação da flutuação a que o canto superior direito fica subjugado, de modo que se verifica uma queda do coeficiente característico de 0,56 para 0,18, 0,18 e 0,15, respectivamente. Essas reduções também se estendem para toda a lateral direita das faces, todavia de forma menos significativa, e também para a região de base, com uma queda de 0,26 para 0,25, 0,19 e 0,17, segundo a mesma ordem. Ao contrário do observado para 105°, nenhum brise fica submetido a flutuações superiores às observadas para o Modelo I. Salvo as modificações destacadas, as distribuições dos coeficientes são bastante similares às do azimute de 105°, todavia de maneira espelhada.

Para vento incidindo mais uma vez paralelamente à face, a 270°, observa-se também a redução da área contendo flutuações superiores a 0,2, todavia de maneira menos expressiva que o verificado para 90° (Figura 4.31). Não obstante, reduções gerais ao longo das faces e brises são verificadas. Já para 285°, as reduções se concentram apenas na lateral esquerda da face. Finalmente, entre os azimutes de 300° e 345°, não se destacam mudanças muito expressivas.

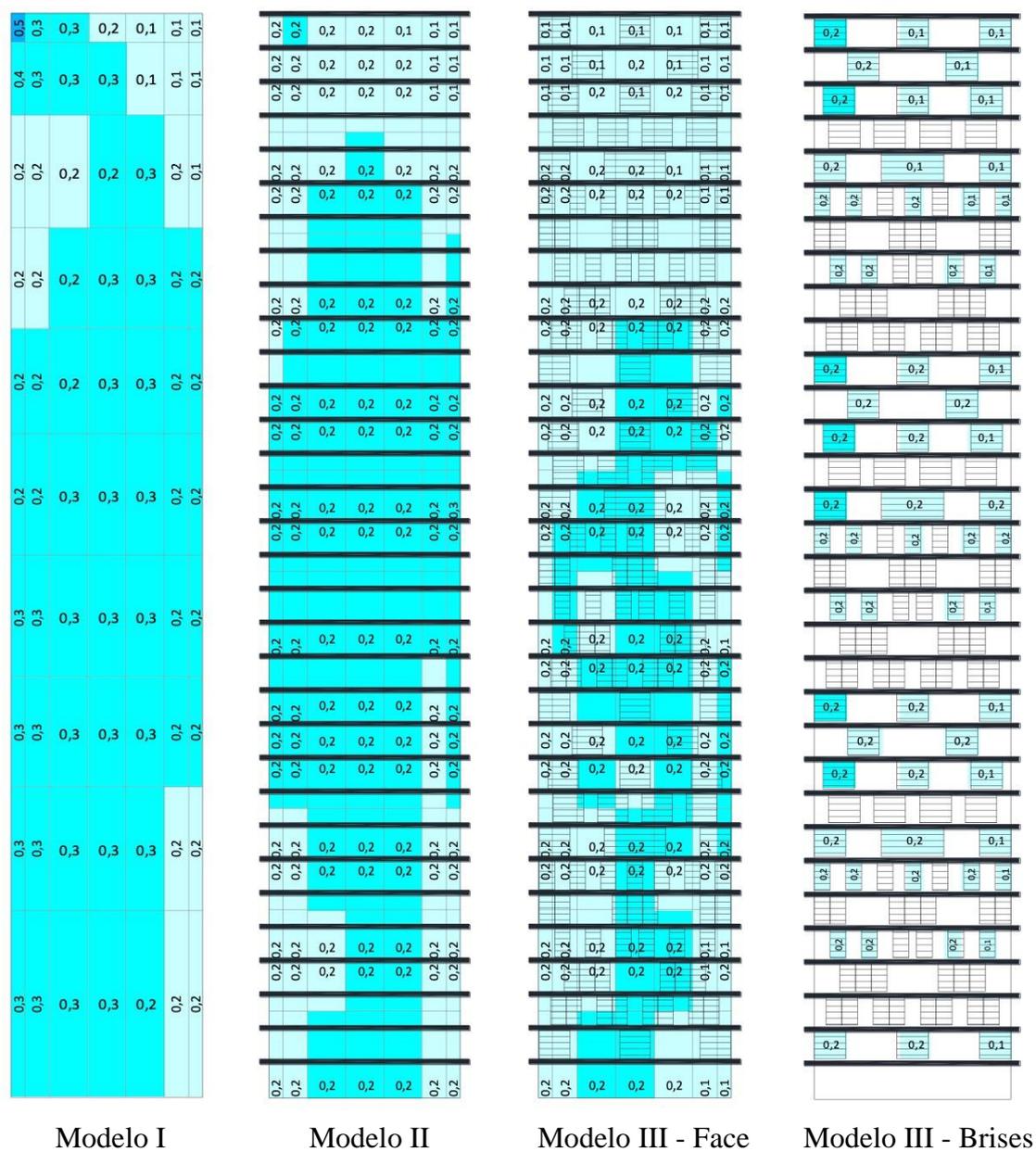


Figura 4.32: Distribuição de coeficientes de pressão r.m.s., externos, nas faces de número 2 dos modelos I, II e III, respectivamente, considerando o azimute de 105° (fonte: autora).

4.3.3 Coeficientes de pico mínimo

Considerando a face 2 na posição de sotavento, quando o vento incide a 0° , não se verificam mudanças muito significativas. Para as faces dos modelos II e III, e também para os brises pertencentes ao último, destaca-se a redução do valor do coeficiente característico ao qual fica sujeita a lateral esquerda da face, de um valor de referência igual a -1,63 para -1,31, -1,20 e -1,52, respectivamente. Para o último modelo, adiciona-se também a região de base, para a qual se verifica a queda de -1,72 para -1,31, tanto para a face quanto para os brises.

Entre 15° e 75° , nota-se o encolhimento da área que abrange os picos de magnitudes superiores a -1,5, de modo que esta fica restrita à região inferior direita das faces equipadas com projeções. Para os dois primeiros azimutes do intervalo, 15° e 30° , as atenuações dos picos mínimos se consolidam sobretudo para a região de base, com destaque para o primeiro, para o qual se observa a queda de um valor característico de referência de -2,07 para -1,35, -1,32 e -1,32, para as faces dos modelos II e III e para os brises pertencentes ao último, respectivamente. Para 45° , as regiões que apresentam as reduções mais significativas, em magnitude, são a de topo, de um valor característico de referência igual a -1,32 para, 0,94, -0,91 e -0,87, segundo a mesma ordem, e a lateral direita, de -2,32 para -1,96, -1,64 e -1,57, respectivamente.

Já para 60° e 75° , verificam-se decréscimos na magnitude dos coeficientes característicos em todas as regiões dos modelos II e III, sendo as mais expressivas localizadas ao longo da lateral direita das faces e também dos brises pertencentes ao terceiro modelo, com destaque para o último ângulo de incidência. Para este, verifica-se a queda de um valor de referência igual a -3,40 para -2,59 (coeficiente mais expressivo para o Modelo II, dentre os ângulos de incidência do vento), -1,89 e -1,69, respectivamente. Além dessa região, para 75° , o mesmo efeito se confirma para as regiões de centro (de -2,16 para -1,69, -1,50 e 1,44, segundo a mesma ordem) e de base (de -2,37 para 1,91, 1,62 e -1,52, respectivamente), como pode ser visualizado na Figura 4.33. Dentro do intervalo em análise, nenhum brise fica submetido a picos mínimos mais severos que os observados para o modelo de fachadas lisas e, no geral, a distribuição dos coeficientes respeita a mesma tendência da face do Modelo III. Todavia, para 75° , atenta-se para o fato de o brise posicionado no canto inferior direito atrair uma sucção significativamente superior à observada para a face do Modelo III, se aproximando do valor pertencente ao Modelo I.

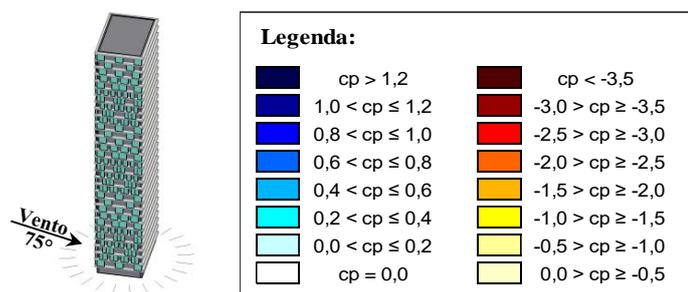
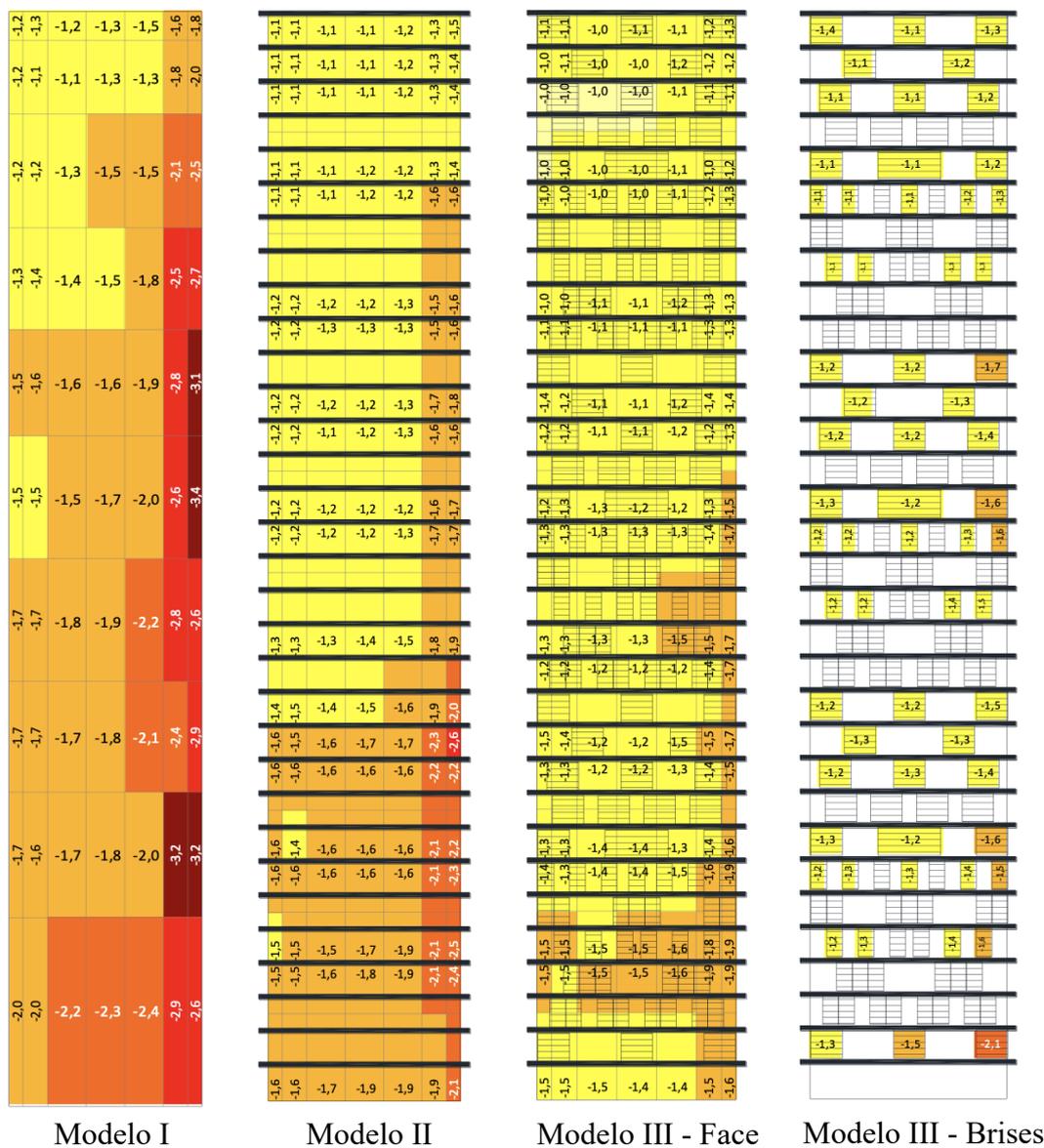


Figura 4.33: Distribuição de coeficientes de pico mínimo, externos, nas faces de número 2 dos modelos I, II e III, respectivamente, considerando o azimute de 75° (fonte: autora).

Para vento incidindo paralelamente à face em análise, a 90°, constata-se reduções expressivas na magnitude dos picos mínimos em toda a extensão das faces de número 2 dos modelos II e

III, conforme pode ser observado na Figura 4.34. Apesar da tendência geral, esse efeito se concentra nas regiões dos cantos inferior e superior esquerdo, de centro e da lateral direita, de valores de referência situados entre -3,18 e -3,60, para valores predominantemente próximos a -2,0. Vale ressaltar que um dos picos mínimos mais expressivos observados para o Modelo I, -3,60, localizado na região central da extremidade lateral direita da face, sofre grandes reduções para a introdução das projeções horizontais de maneira isolada (-2,58) e, principalmente, para a adição dos brises deslizantes (-2,30 na face e -2,48 para o brise posicionado no local).

Ademais, todos os brises dispostos na extensão da face do Modelo III também ficam sujeitos a picos de magnitudes bastante reduzidas. Poucos são os elementos subjugados por coeficientes superiores a -2,0 (em módulo), sendo a maioria estes posicionados na porção central da lateral direita da face, os quais atraem pressões mais significativas para si e promovem atenuações na superfície da face. Nesse contexto, destaca-se o elemento posicionado no canto superior esquerdo, submetido a um coeficiente de magnitude 54,25% superior ao da face do Modelo III, ainda que inferior ao do Modelo I.

Para o azimute de 105°, os coeficientes mais expressivos passam a se concentrar apenas na metade esquerda da face e a introdução dos elementos de fachada reflete em decrementos significativos na região. O destaque fica para o canto superior, para o qual se verifica a redução da magnitude do coeficiente característico de -3,45, referente ao Modelo I, para -1,95, -1,66 e -2,22, para os Modelos II e III, sendo o último valor referente aos brises pertencentes ao terceiro modelo. No geral, a distribuição dos coeficientes pelos brises segue bem a tendência verificada para a face e nenhum elemento fica sujeito a magnitudes superiores às identificadas para o Modelo I.

Já para 120°, predominam picos mínimos de magnitudes inferiores a -1,0, com exceção da região lateral esquerda das faces, na qual assumem valores de até -1,5. Nessa região, assim como verificado para 105°, verificam-se decréscimos na magnitude dos dimensionais para as faces dos modelos II e III, todavia de forma menos significativa. Para o Modelo III, enquanto se constata a redução na magnitude do coeficiente característico de -1,55 para -1,02, verifica-se uma compensação do valor aos quais os brises se encontram submetidos, -1,42, de modo que este quase se iguala ao valor de referência. Nesse contexto, apenas o elemento posicionado no canto superior merece destaque, o qual fica submetido a um coeficiente igual a -1,88, superior ao do modelo de referência para a mesma região, -1,52 e, principalmente ao pertencente a face do Modelo III, -0,86.

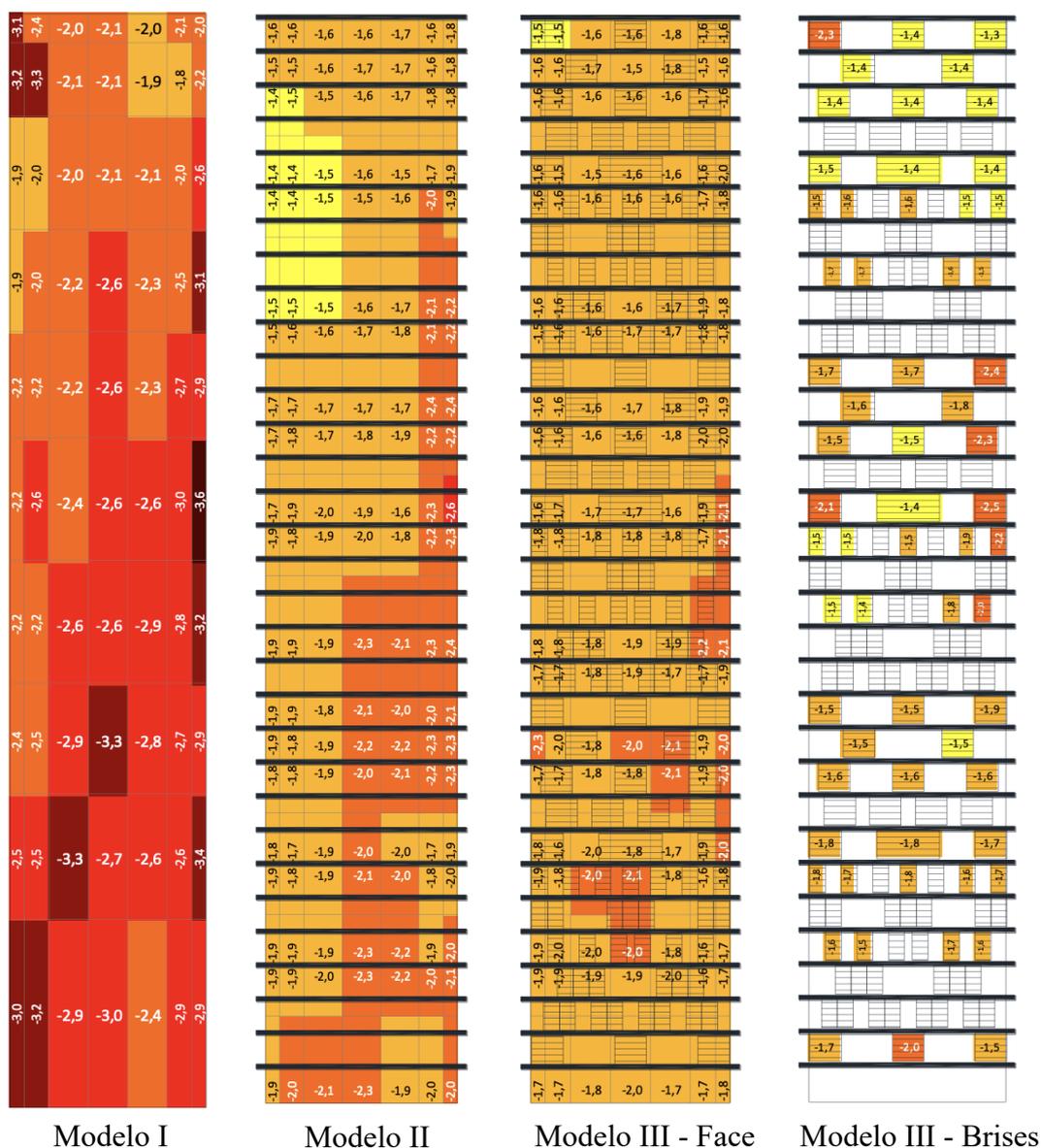


Figura 4.34: Distribuição de coeficientes de pico mínimo, externos, nas faces de número 2 dos modelos I, II e III, respectivamente, considerando o azimute de 90° (vento paralelo à face) (fonte: autora).

No intervalo de ângulos de incidência do vento de 135° e 225° , há a inclusão de sobrepressões na distribuição dos picos mínimos, respeitando a mesma composição de áreas constatada para os coeficientes médios mais expressivos. Os picos mínimos positivos observados não superam

o valor de 0,4, os quais consistem nos menores coeficientes positivos registrados para a face 2 dos três modelos. Quanto às sobrepressões, os efeitos provocados pela introdução dos elementos de fachada são exatamente os mesmos explicitados para os coeficientes médios, com ênfase na elevação da magnitude dos coeficientes na porção de topo.

Quanto às sucções, as maiores modificações são observadas para o Modelo III. De 135° a 195° , destacam-se elevações nas magnitudes dos picos mínimos ao longo da lateral direita da face, de valores abaixo de -0,5, em módulo, para valores próximos a -1,0. Para os brises, verifica-se uma distribuição semelhante à observada para a superfície da fachada, todavia, alguns elementos situados na lateral direita da face ficam sujeitos a magnitudes levemente superiores às da região correspondente do Modelo I, especialmente para os dois primeiros azimutes do intervalo. Já para 210° não se destacam modificações relevantes e para 225° , apenas se ressalta a ocorrência de picos mais expressivos para os elementos posicionados na extremidade lateral esquerda das faces, cujos coeficientes chegam a superar em até 100% os valores da região correspondente do Modelo I, enquanto a lateral oposta sofre reduções, especialmente na proximidade com a base.

Os comportamentos observados para vento incidindo a 240° são similares aos percorridos para 120° , todavia de modo espelhado. Assim, para ambas as faces dos modelos II e III, constatam-se reduções na magnitude dos coeficientes ao longo da lateral direita das faces, de um valor de referência igual a -1,78 para -1,17 e -1,48, respectivamente, em detrimento de um leve aumento na lateral oposta. A distribuição para os brises é semelhante à da face, com os elementos pertencentes à extremidade direita subjugados por sucções que preenchem as lacunas dos coeficientes mais expressivos observados para a face do modelo, sem superarem os valores de referência.

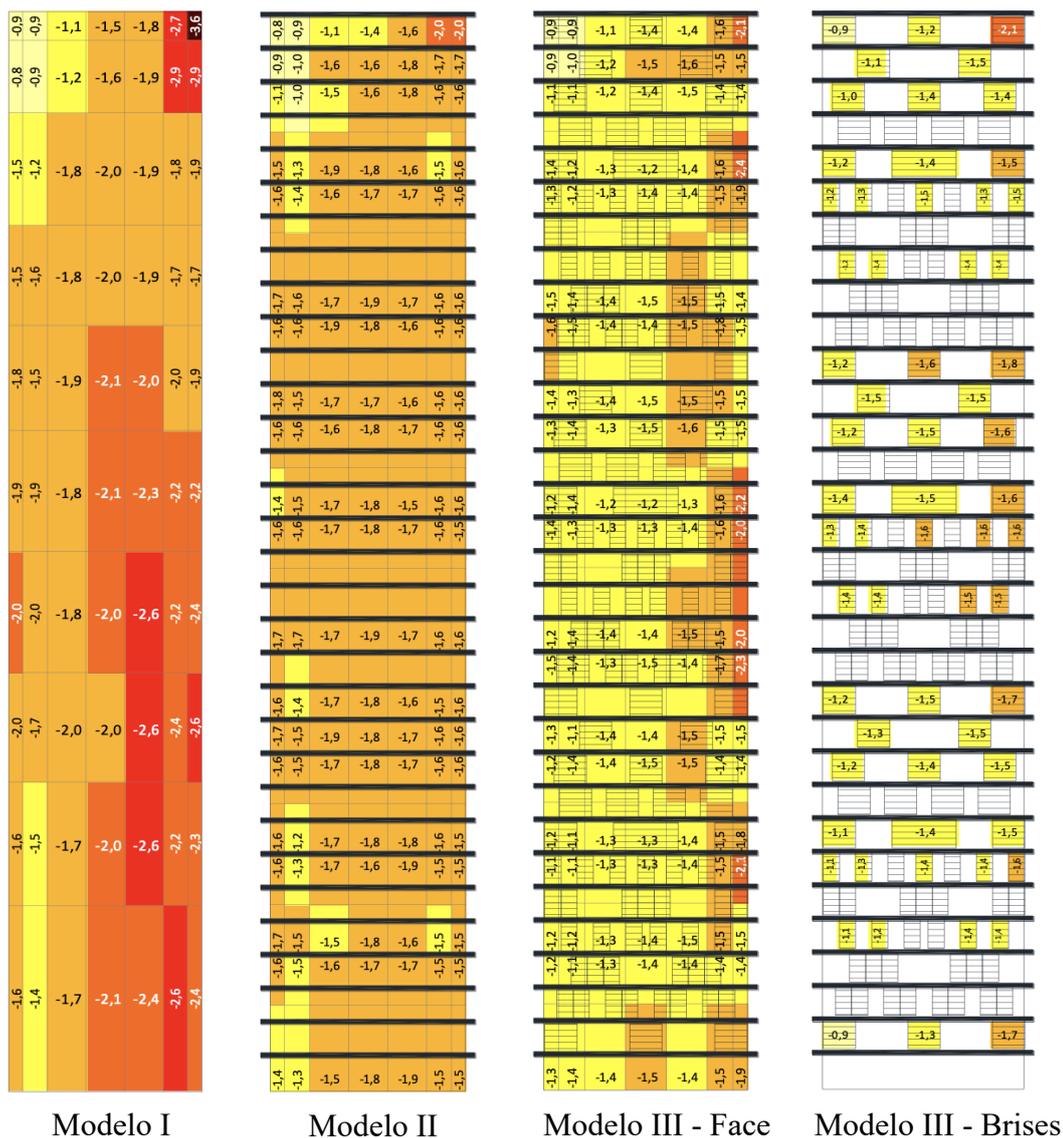
Já de 255° a 285° , quando o vento incide paralelamente à face em análise e próximo à esta orientação, há novamente o predomínio de picos mínimos bastante expressivos. Para o primeiro azimute do intervalo, estes se concentram ao longo da lateral direita da face, região na qual se verificam as reduções mais significativas em suas magnitudes, de um valor característico de referência igual a -2,55 para -1,63 e -2,41, para as faces dos modelos II e III, respectivamente. Nessa região, destaca-se também o canto superior, cujo coeficiente característico sofre uma queda de -3,63 (pico mínimo mais expressivo observado para o Modelo I, dentre todos os ângulos de incidência do vento avaliados) para -2,04 e -2,12. Já os brises permanecem submetidos a picos similares aos observados para a face, novamente com os elementos mais

solicitados posicionados na lateral direita, complementando a distribuição dos coeficientes mais significativos observados para a face. Nesse contexto, destaca-se uma redução ainda mais acentuada para o brise posicionado no canto inferior esquerdo, como pode ser visto na Figura 4.35.

Para vento paralelo à face, incidindo a 270° , também se observam atenuações expressivas na magnitude dos picos, especialmente nas regiões de topo, centro, base e da lateral esquerda. A última é a que apresenta o efeito mais significativo, com a redução do valor característico de referência de -3,49 para -2,60, -2,02 e -2,09, para os modelos II e III, sendo o último relativo aos brises pertencentes ao terceiro modelo. Na sequência, ficam as regiões de centro e de base, cujos coeficientes sofrem uma queda de valores próximos a -3,05 para próximos a -2,5, para o Modelo II, em torno de -1,92 para a face do Modelo III e de -2,0 para os brises pertencentes ao mesmo modelo. Vale ressaltar que os brises ficam sujeitos a coeficientes de pico mínimo similares aos observados para a face do Modelo III e significativamente inferiores aos do Modelo I, como pode ser constatado na comparação entre os diagramas da Figura 4.36.

De 285° a 345° , os picos mais severos ficam localizados ao longo da lateral esquerda e de base das faces, como pode ser observado na Figura 4.37. Com a incorporação dos elementos de fachada, se confirmam reduções na magnitude dos coeficientes especialmente nessas regiões. Assim, de 285° a 315° , evidenciam-se reduções na magnitude dos dimensionais ao longo da lateral esquerda das faces dos modelos II e III, com ênfase para 315° , quando o coeficiente característico da região sofre uma queda de -2,35 para -1,56 e -1,38, respectivamente, sendo o efeito ainda mais pronunciado para o canto inferior (queda de -2,75 para -1,75 e -1,39, segundo a mesma ordem).

De 300° a 345° , adiciona-se também a região do canto superior, com a redução da magnitude dos picos característicos de valores próximos a -1,3 para valores inferiores a -1,0. Por fim, para 330° e 345° , acrescenta-se também a região de base, todavia apenas para o Modelo III, a qual apresenta reduções de valores de referência em torno de -1,6 para próximos a -1,1. Quanto aos brises, observa-se uma distribuição similar à da face e nenhum elemento fica submetido a coeficientes mais expressivos que os verificados para o Modelo I. Todavia, como já verificado para outros ângulos de incidência do vento, alguns elementos atraem uma pressão mais significativa para si, diminuindo a parcela que subjuga a face. Tal efeito ocorre especialmente na proximidade com a base e com a lateral esquerda da face.



Modelo I

Modelo II

Modelo III - Face

Modelo III - Brises

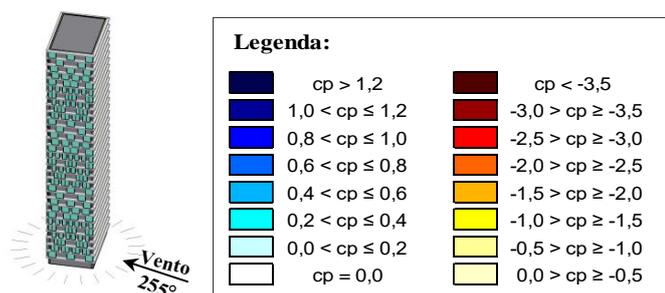


Figura 4.35: Distribuição de coeficientes de pico mínimo, externos, nas faces de número 2 dos modelos I, II e III, respectivamente, considerando o azimute de 255° (fonte: autora).

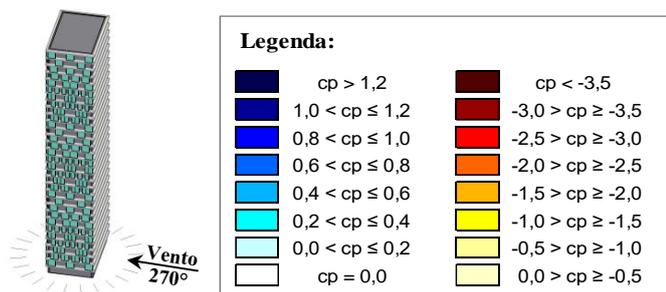
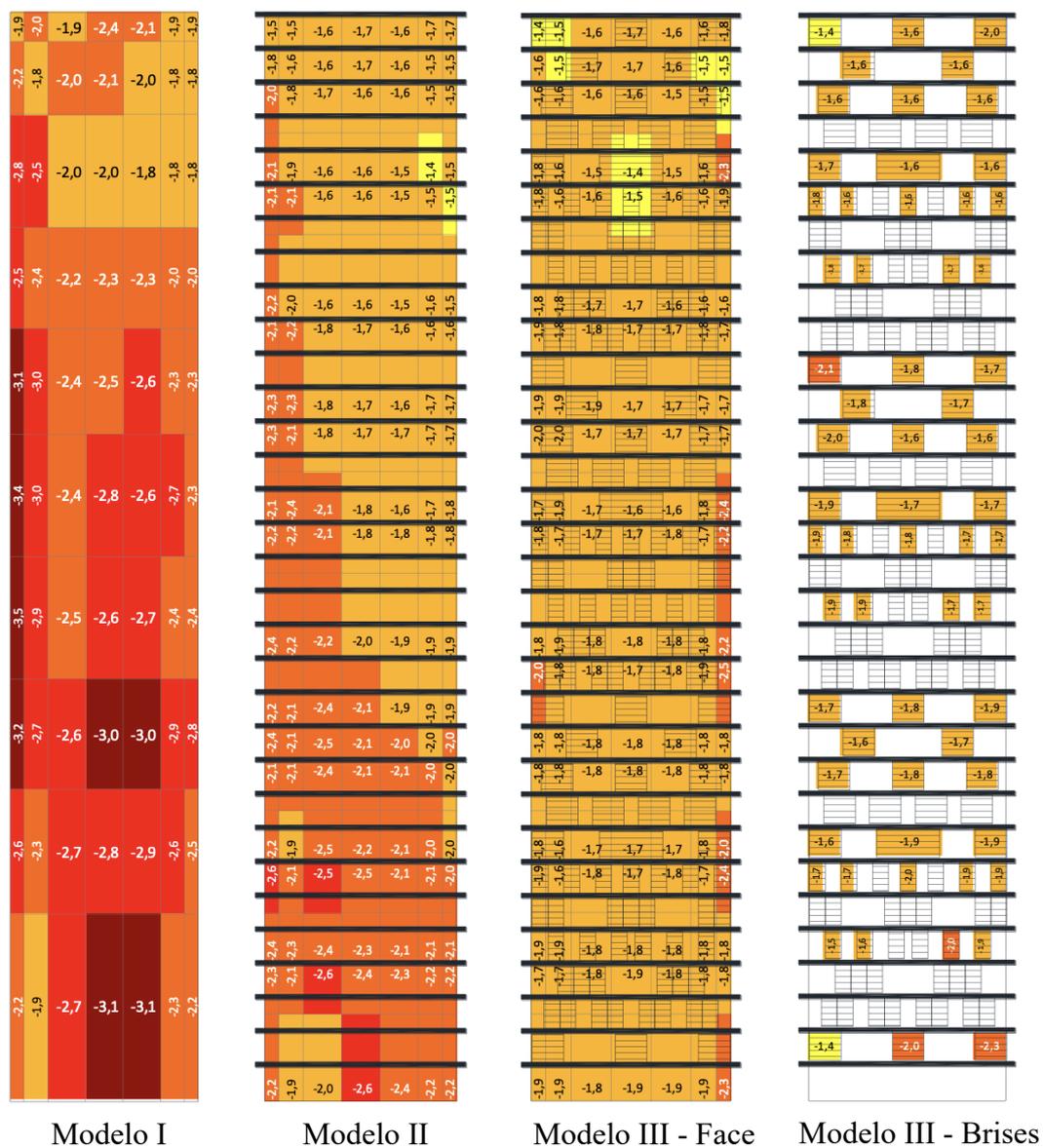


Figura 4.36: Distribuição de coeficientes de pico mínimo, externos, nas faces de número 2 dos modelos I, II e III, respectivamente, considerando o azimute de 270° (vento paralelo à face) (fonte: autora).

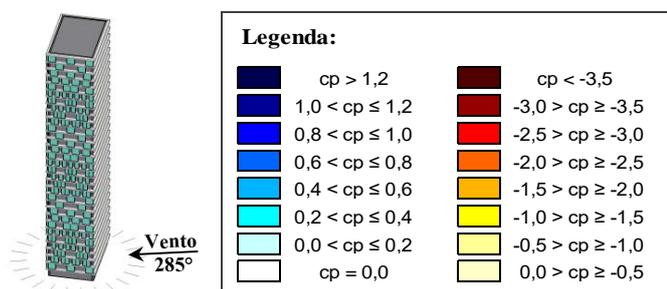
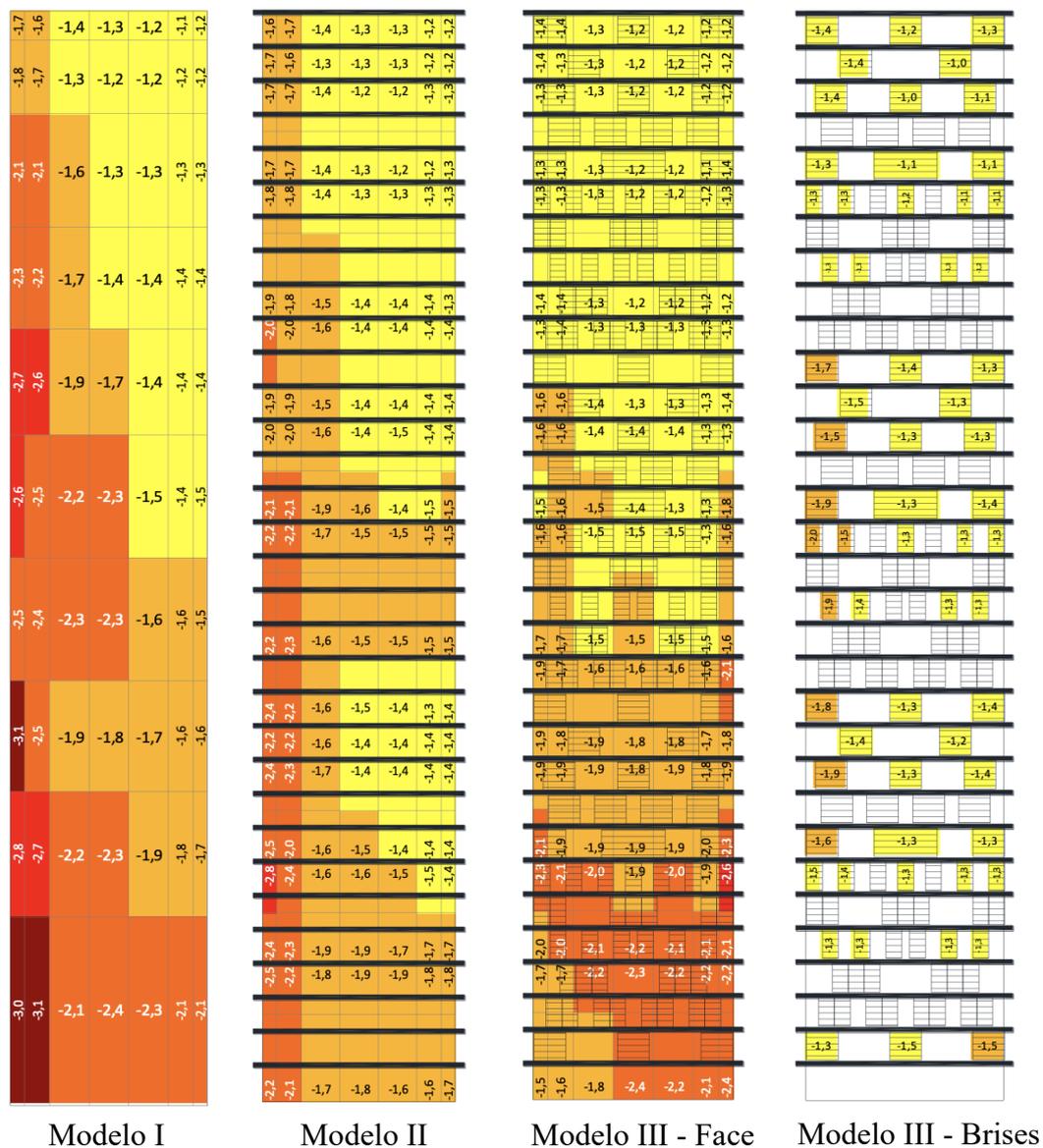


Figura 4.37: Distribuição de coeficientes de pico mínimo, externos, nas faces de número 2 dos modelos I, II e III, respectivamente, considerando o azimute de 285° (fonte: autora).

4.3.4 Coeficientes de pico máximo

Partindo de 0° , com a face localizada na posição de sotavento, até 90° , com vento paralelo à face, verifica-se o predomínio de coeficientes negativos de magnitudes inferiores a $-0,5$ (em módulo), valores os quais consistem nas menores sucções adquiridas durante os ensaios. Aos 105° , inicia-se a ocorrência de coeficientes positivos, todavia apenas para o Modelo I, de modo que a introdução dos elementos de fachada em estudo provoca o seu desaparecimento para os modelos II e III. De 120° a 240° , as sobrepressões passam a predominar nas faces dos três modelos e se observam os picos máximos mais severos. Para o primeiro ângulo de incidência do intervalo, 120° , os picos não atingem $0,5$, para o Modelo I, e $0,4$ para os dois últimos modelos, refletindo em uma significativa redução nas magnitudes dos coeficientes característicos ao longo da lateral esquerda das faces. Para os brises, o mesmo efeito se confirma também para a porção superior da face, de modo que a região subjugada por coeficientes superiores a $0,2$ fica confinada à porção inferior da lateral esquerda, sem superar os valores correspondentes do modelo de referência.

De 135° a 165° , destacam-se elevados picos máximos na metade esquerda da face, com valores superiores a $1,0$. Para a introdução das projeções horizontais de maneira isolada, destaca-se a superioridade das sobrepressões na região de topo, especialmente voltado para a região do canto esquerdo. Já para a incorporação dos brises, observa-se uma redução expressiva da área contendo coeficientes acima de $1,0$ ao longo da lateral esquerda da face, de modo que estes ficam concentrados apenas no espaço entre-brises. Vale destacar que as atenuações mais significativas se concentram nos cantos superior e inferior dessa lateral, conforme pode ser visto na Figura 4.38. Assim como já verificado na análise dos coeficientes médios, as tomadas de pressão posicionadas exatamente nestes cantos da face do Modelo III, registram reduções expressivas dos coeficientes de pico máximo em relação ao modelo de referência. O efeito mais expressivo é observado para vento incidindo a 165° , com o decréscimo de valores em torno de $0,9$, para próximos a $0,35$. A distribuição nos brises segue a tendência observada para o Modelo I.

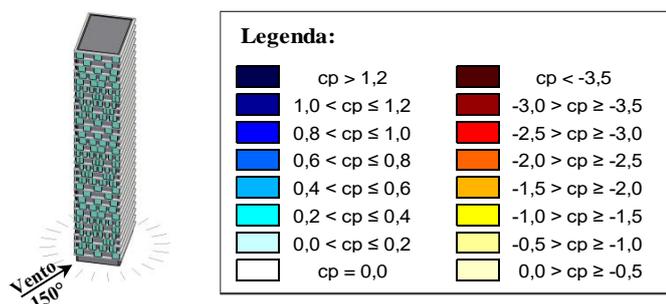
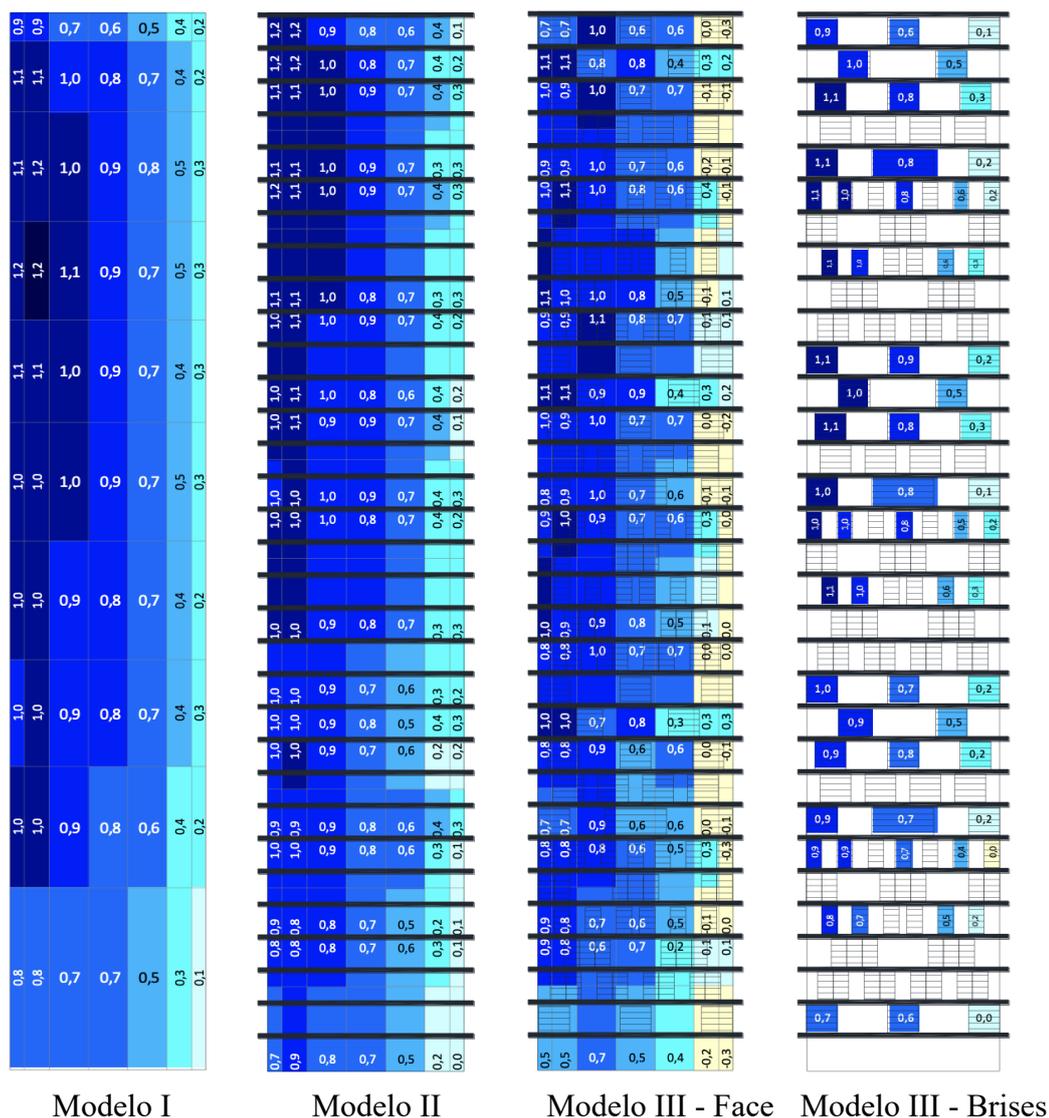


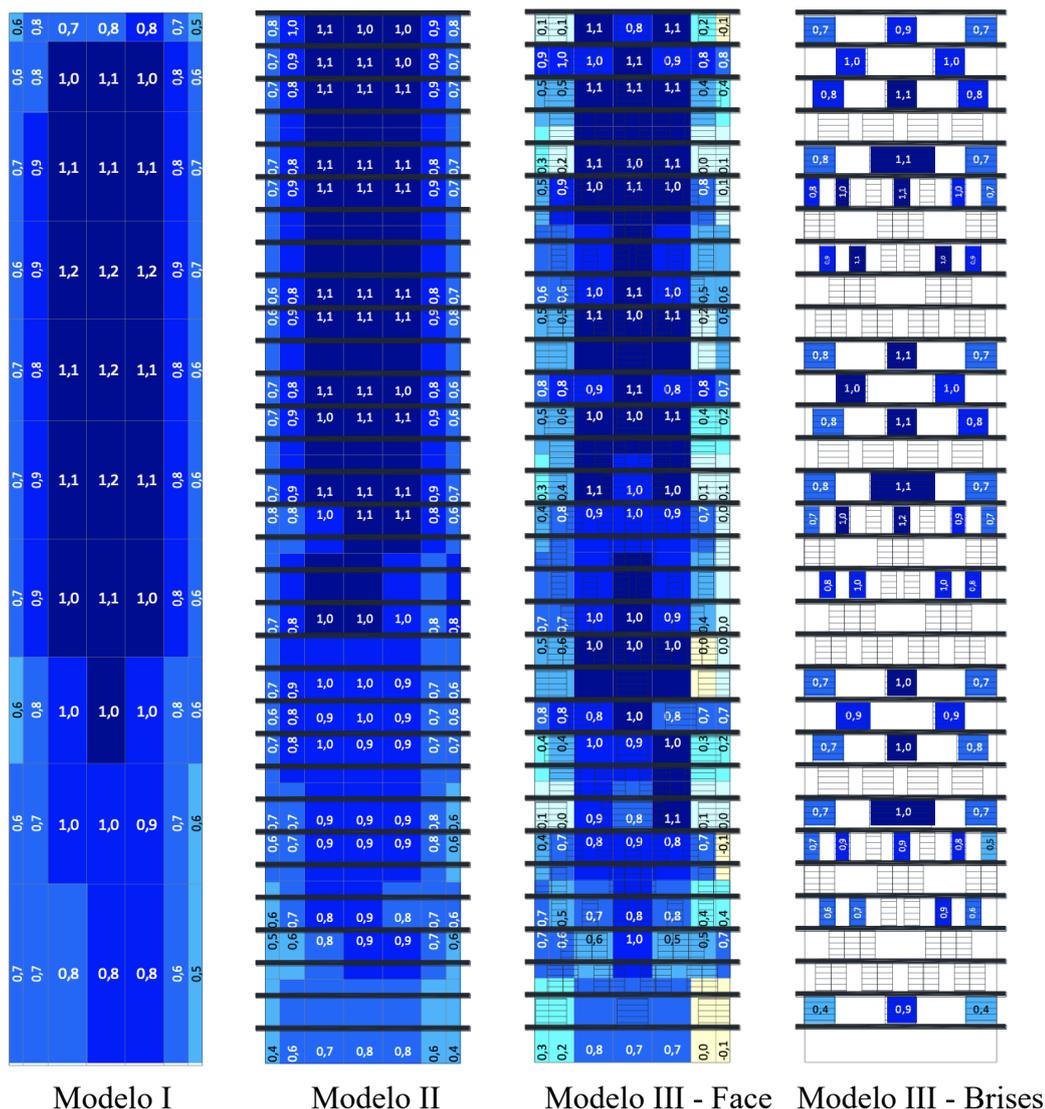
Figura 4.38: Distribuição de coeficientes de pico máximo, externos, nas faces de número 2 dos modelos I, II e III, respectivamente, considerando o azimute de 150° (fonte: autora).

Para vento perpendicular à face, correspondente ao ângulo de 180° , têm-se os picos máximos mais severos. A introdução das projeções horizontais isoladamente e combinada aos brises deslizantes, provoca o aumento das magnitudes em toda a região de topo da face, sobretudo no

canto esquerdo, aonde se verifica a elevação do coeficiente característico de um valor de referência igual a 0,80 para valores superiores a 0,95. Todavia, assim como o intervalo anterior, é importante salientar que, para o Modelo III, as pressões medidas nas tomadas posicionadas exatamente nos cantos superiores da face apresentam expressivas reduções em relação ao Modelo I, de valores próximos a 0,6, para valores beirando a 0,0. Como pode ser observado no terceiro diagrama da Figura 4.39, a presença desses elementos reflete em uma região de picos máximos superiores a 1,0 mais esparsa e centralizada, o que promove expressivas reduções nas laterais esquerda e direita da face. Em contrapartida, ressalta-se o fato de os coeficientes característicos dessas regiões permanecem muito próximos aos do modelo de referência. A distribuição nos brises segue bem a tendência observada para o Modelo I, porém com uma sutil elevação geral dos coeficientes, sobretudo na região de topo.

De 195° a 225° , os picos máximos mais expressivos se concentram na metade direita da face. Assim como observado para 180° , enquanto o Modelo II apresenta uma elevação na magnitude dos picos máximos em toda a porção de topo, de forma ainda mais significativa, para o Modelo III o mesmo efeito segue restrito à porção central dessa região. Isto porque os dimensionais medidos nas tomadas de pressão dos cantos registram reduções bastante significativas, sobretudo para a lateral direita da face a 195° , quando sofrem uma queda de valores superiores a 0,7 para inferiores a 0,3. Os coeficientes abrangidos pelas regiões das laterais esquerda e direita da face também sofrem atenuações, todavia, os coeficientes característicos permanecem similares. A distribuição das pressões nos brises é bastante semelhante à do Modelo I, como ilustrado na Figura 4.40.

Para o último azimute do intervalo, 240° , assim como para 120° , constata-se sobrepressões máximas mais suaves, não superando o valor de 0,5. A única modificação a ser mencionada consiste na superioridade das sobrepressões na metade direita da região de topo da face pertencente ao Modelo II. Já para 255° , assim como observado para 105° , verifica-se a ocorrência de sobrepressões apenas para o Modelo I, sendo que a distribuição dos coeficientes nos brises segue bem a tendência da face do terceiro modelo. Finalmente, de 270° a 345° , assim como observado para o primeiro intervalo apresentado, os três modelos se encontram submetidos a coeficientes negativos inferiores a -0,5 (em módulo) e não se destacam modificações relevantes.



Modelo I

Modelo II

Modelo III - Face

Modelo III - Brises

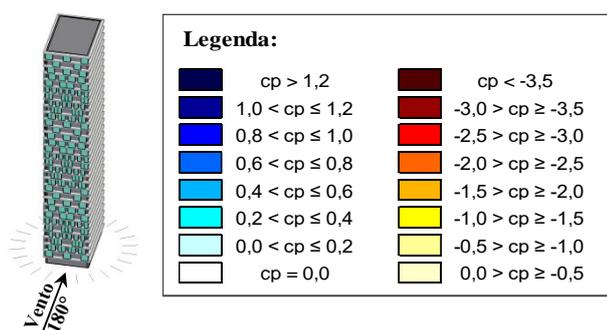


Figura 4.39: Distribuição de coeficientes de pico máximo, externos, nas faces de número 2 dos modelos I, II e III, respectivamente, considerando o azimute de 180° (face a barlavento) (fonte: autora).

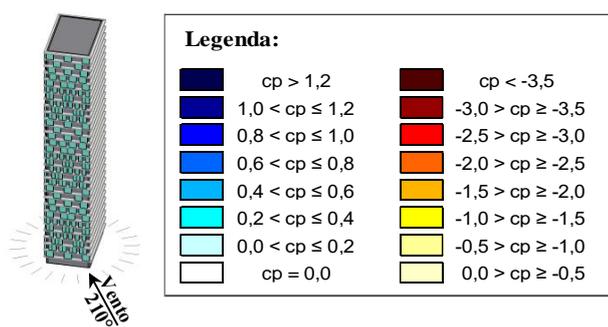
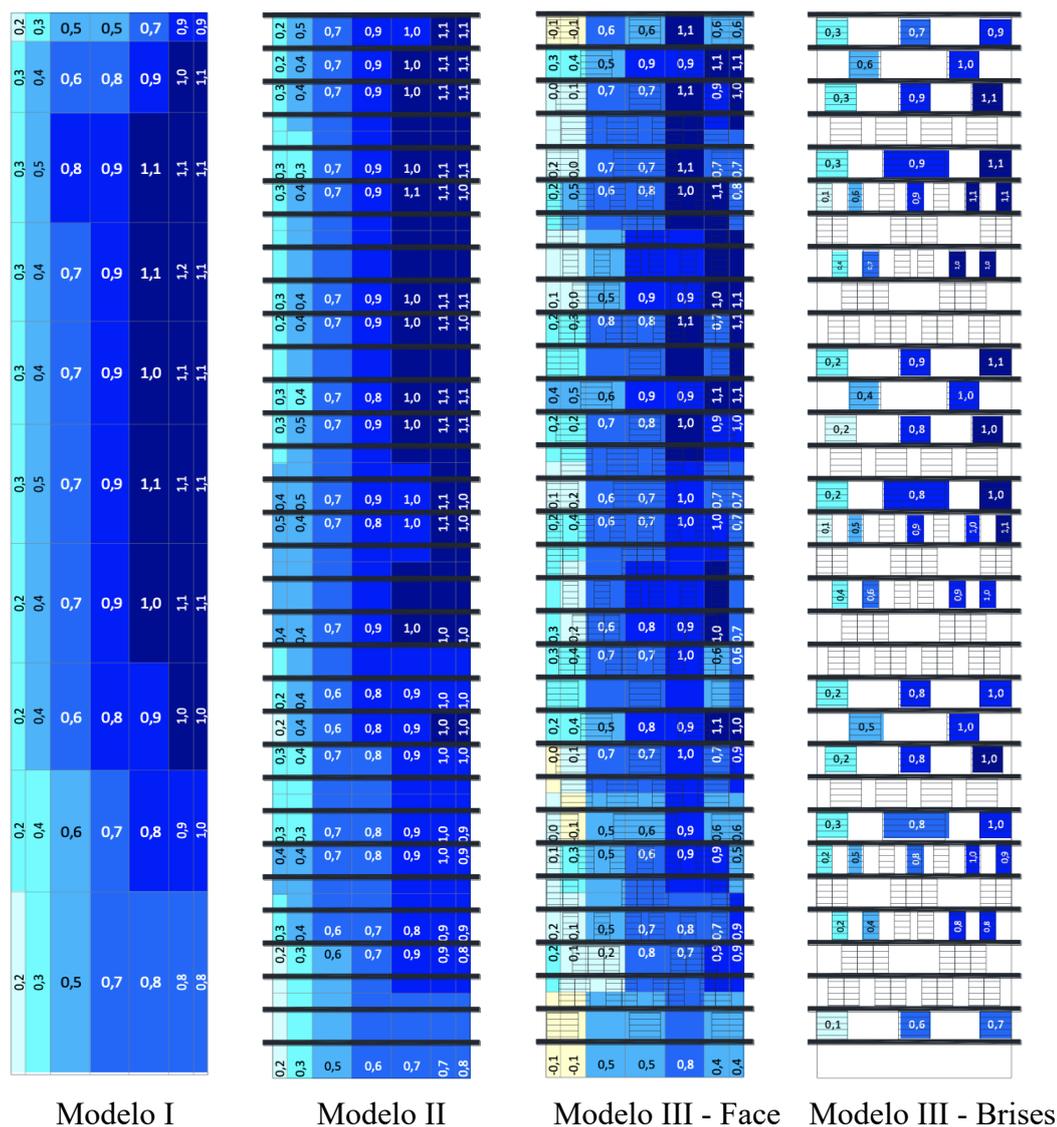


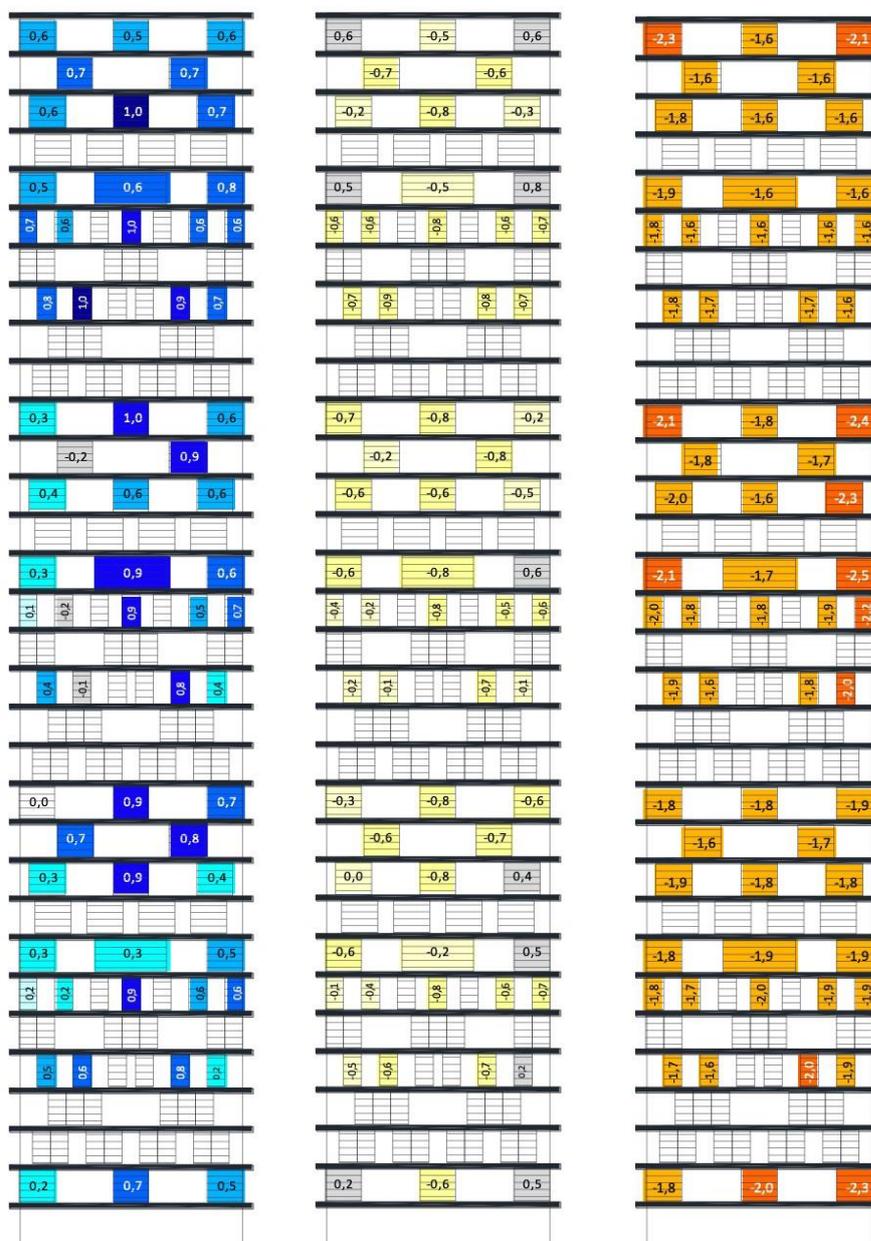
Figura 4.40: Distribuição de coeficientes de pico máximo, externos, nas faces de número 2 dos modelos I, II e III, respectivamente, considerando o azimute de 210° (fonte: autora).

4.3.5 Coeficientes resultantes

Como discorrido ao longo das análises dos coeficientes adimensionais de pressão externos para a face de número 2 do Modelo III, a presença dos brises deslizantes visivelmente modifica a distribuição das pressões na superfície da fachada principal, tornando-a mais irregular em relação à tendência observada para o modelo de referência. Ademais, para determinadas regiões e ângulos de incidência do vento, verificaram-se coeficientes de sinais opostos associados às superfícies interna e externa do mesmo brise, refletindo em um coeficiente mais expressivo sobre o elemento, o que pode aumentar seu risco de dano ou arrancamento.

Assim como para a face 1, duas análises foram realizadas: a primeira a partir da combinação de coeficientes médios e a segunda a partir de coeficientes de pico, os quais, novamente, foram estimados de forma conservadora, assumindo a ocorrência simultânea dos valores mais expressivos de coeficiente de pico mínimo na superfície externa do brise e do coeficiente de pico máximo para a superfície interna, para cada ângulo de incidência avaliado. As magnitudes mais expressivas se sucedem, em grande parte, para os ângulos de incidência do vento de 90° e 270°, quando o vento incide paralelamente à face em análise. Os principais coeficientes resultantes obtidos por meio das análises podem ser visualizados na Figura 4.41, sendo os valores médios representados nas letras (a) e (b) e de pico na letra (c), e se encontram relacionados na Tabela 4.3. Coeficientes resultantes negativos indicam a orientação de arrancamento dos elementos.

Para ambas as análises foram avaliados os pares de coeficientes referentes às superfícies interna (correspondente à face da fachada principal) e externa de cada um dos brises instrumentados, para todos os 24 ângulos de incidência do vento, selecionando-se aqueles que conduziam aos valores resultantes mais significativos. Para a primeira análise, poucos foram os elementos cuja a combinação dos coeficientes resultou em um aumento das pressões. Para aqueles nos quais ambas as superfícies ficaram submetidas a coeficientes de mesmo sinal, optou-se pela não dedução dos valores, indicando-se as maiores magnitudes. Todavia, uma vez que não há garantia de simultaneidade entre os valores, apresentam-se dois diagramas: um referente aos valores que conduzem a coeficientes médios resultantes positivos (a) e outro a negativos (b).



(a) Coeficientes médios positivos

(b) Coeficientes médios negativos

(c) Coeficientes de pico

Legenda:			
	$cp > 1,2$		$cp < -3,5$
	$1,0 < cp \leq 1,2$		$-3,0 > cp \geq -3,5$
	$0,8 < cp \leq 1,0$		$-2,5 > cp \geq -3,0$
	$0,6 < cp \leq 0,8$		$-2,0 > cp \geq -2,5$
	$0,4 < cp \leq 0,6$		$-1,5 > cp \geq -2,0$
	$0,2 < cp \leq 0,4$		$-1,0 > cp \geq -1,5$
	$0,0 < cp \leq 0,2$		$-0,5 > cp \geq -1,0$
	$cp = 0,0$		$0,0 > cp \geq -0,5$

Figura 4.41: Coeficientes de pressão resultantes nos brises da face 2 do Modelo III (fonte: autora).

Tabela 4.3: Coeficientes adimensionais de pressão associados à Figura 4.41. Figura 4.41: Coeficientes de pressão resultantes nos brises da face 2 do Modelo III (fonte: autora).

NÍVEL	LINHA	Elemento	ELEMENTO									
			1		2		3		4		5	
			med	pico	med	pico	med	pico	med	pico	med	pico
SUPERIOR	1	Brise	0,48	-2,27	-0,50	-1,38	0,57	-1,35				
		Face	-0,10	-0,33	-0,50	-0,33	-0,03	-0,31				
		Resultante	0,58	-2,27	-0,50	-1,38	0,60	-1,35				
	2	Brise	-0,65	-1,43	0,73	-1,43						
		Face	-0,65	-0,35	0,61	-0,35						
		Resultante	-0,65	-1,43	0,73	-1,43						
	3	Brise	0,57	-1,42	-0,81	-1,41	0,72	-1,37				
		Face	0,22	-0,38	-1,01	-0,36	0,31	-0,34				
		Resultante	0,57	-1,42	1,01	-1,41	0,72	-1,37				
	5	Brise	0,46	-1,49	0,62	-1,43	0,66	-1,42				
		Face	-0,08	-0,36	0,45	-0,34	-0,13	-0,29				
		Resultante	0,54	-1,49	0,62	-1,43	0,79	-1,42				
	6	Brise	-0,64	-1,54	-0,57	-1,56	-0,83	-1,58	-0,62	-1,48	-0,66	-1,46
		Face	-0,65	-0,34	-0,58	-0,33	-0,97	-0,35	-0,63	-0,33	-0,63	-0,33
		Resultante	0,65	-1,54	0,58	-1,56	0,97	-1,58	0,63	-1,48	-0,66	-1,46
	8	Brise	-0,73	-1,72	-0,92	-1,73	-0,76	-1,65	-0,66	-1,53		
		Face	-0,77	-0,30	-1,03	-0,32	-0,89	-0,35	-0,69	-0,33		
		Resultante	0,77	-1,72	1,03	-1,73	0,89	-1,65	0,69	-1,53		
INTERMEDIÁRIO	1	Brise	-0,66	-1,67	-0,82	-1,72	0,56	-2,38				
		Face	-0,30	-0,31	-0,97	-0,29	0,16	-0,24				
		Resultante	-0,66	-1,67	0,97	-1,72	0,56	-2,38				
	2	Brise	-0,15	-1,64	-0,75	-1,84						
		Face	0,09	-0,30	-0,91	-0,28						
		Resultante	-0,24	-1,64	0,91	-1,84						
	3	Brise	-0,63	-1,50	-0,56	-1,48	-0,49	-2,27				
		Face	-0,39	-0,26	-0,56	-0,26	-0,55	-0,27				
		Resultante	-0,63	-1,50	-0,56	-1,48	0,55	-2,27				
	5	Brise	-0,64	-2,08	-0,79	-1,45	0,47	-2,48				
		Face	-0,31	-0,29	-0,93	-0,28	-0,16	-0,23				
		Resultante	-0,64	-2,08	0,93	-1,45	0,63	-2,48				
	6	Brise	-0,37	-1,46	-0,07	-1,48	-0,78	-1,54	-0,54	-1,94	-0,64	-2,24
		Face	-0,09	-0,25	0,09	-0,19	-0,92	-0,28	-0,54	-0,18	-0,72	-0,22
		Resultante	-0,37	-1,46	-0,16	-1,48	0,92	-1,54	-0,54	-1,94	0,72	-2,24
	8	Brise	0,41	-1,46	-0,02	-1,45	-0,71	-1,77	0,38	-2,03		
		Face	0,21	-0,24	0,10	-0,25	-0,84	-0,22	0,11	-0,21		
		Resultante	0,41	-1,46	-0,12	-1,45	0,84	-1,77	0,38	-2,03		
INFERIOR	1	Brise	-0,28	-1,53	-0,78	-1,51	-0,63	-1,92				
		Face	0,00	-0,28	-0,91	-0,28	-0,68	-0,27				
		Resultante	-0,28	-1,53	0,91	-1,51	0,68	-1,92				
	2	Brise	-0,60	-1,53	-0,69	-1,50						
		Face	-0,73	-0,31	-0,83	-0,25						
		Resultante	0,73	-1,53	0,83	-1,50						
	3	Brise	0,25	-1,62	-0,77	-1,58	0,29	-1,63				
		Face	0,04	-0,29	-0,91	-0,30	-0,08	-0,27				
		Resultante	0,25	-1,62	0,91	-1,58	0,37	-1,63				
	5	Brise	-0,57	-1,76	0,31	-1,80	0,34	-1,69				
		Face	-0,29	-0,34	0,22	-0,25	-0,13	-0,26				
		Resultante	-0,57	-1,76	0,31	-1,80	0,47	-1,69				
	6	Brise	0,18	-1,79	-0,36	-1,71	-0,75	-1,76	-0,58	-1,63	-0,65	-1,71
		Face	0,08	-0,31	-0,23	-0,30	-0,86	-0,30	-0,59	-0,28	-0,64	-0,28
		Resultante	0,18	-1,79	-0,36	-1,71	0,86	-1,76	0,59	-1,63	-0,65	-1,71
	8	Brise	-0,49	-1,61	-0,59	-1,52	-0,68	-1,69	0,17	-1,63		
		Face	-0,50	-0,31	-0,64	-0,32	-0,75	-0,29	-0,07	-0,28		
		Resultante	0,50	-1,61	0,64	-1,52	0,75	-1,69	0,24	-1,63		
BASE	1	Brise	0,02	-1,71	-0,62	-2,00	0,02	-1,55				
		Face	-0,19	-0,32	-0,71	-0,28	-0,49	-0,23				
		Resultante	0,21	-1,71	0,71	-2,00	0,51	-1,55				

(fonte: autora)

4.4 RESUMO E COMENTÁRIOS

Diante das extensas análises apresentadas, torna-se pertinente a síntese das principais tendências constatadas a partir do estudo comparativo proposto. Assim, o presente item se dedica à apresentação das principais modificações e detalhes observados entre os modelos, bem como à sua associação a constatações realizadas por outros autores em estudos prévios similares, os quais foram revisados ao longo do item 2.4.1.

Mostra-se oportuno enfatizar alguns pontos antes da condensação dos resultados. Como foi possível observar em algumas figuras, nem todos os diagramas compostos a partir dos dados de pressão local adquiridos resultaram em uma distribuição de coeficientes perfeitamente simétrica ou espelhada, de modo que boa parte das análises revelou uma superioridade dos coeficientes localizados ao longo da lateral direita das faces em relação à lateral oposta. Essas e outras pequenas imperfeições provavelmente decorreram de irregularidades na construção do modelo e de pequenas interferências às quais os ensaios normalmente estão submetidos, sobretudo da falta de precisão no posicionamento dos ângulos de incidência do vento. Apesar dessas considerações, todos os comentários e análises foram realizados de acordo com os dados coletados e com os diagramas reais apresentados, sem quaisquer correções.

Primeiramente, da análise dos coeficientes de pressão média distribuídos ao longo da face de número 1, verificou-se que a introdução das projeções horizontais de maneira isolada (Modelo II) e combinada a brises deslizantes e articulados (Modelo III) provocou modificações mais significativas entre os ângulos de incidência do vento de 15° a 165° , isto é, quando o vento incide mais diretamente sobre a face. Em geral, a introdução dos elementos de fachada resultou em uma elevação das sobrepressões médias na porção de topo e também em determinados brises, estes usualmente posicionados nas extremidades laterais da face ou nas extremidades da cavidade central formada entre-brises das linhas 8, 9 e 10. Em termos de sucções, destacaram-se elevações nas magnitudes dos coeficientes ao longo da lateral direita da face, de 0° a 105° , e da lateral esquerda, de 120° a 165° , isto é, próximo às arestas verticais posicionadas à sotavento.

Por sua vez, o estudo dos coeficientes de pressão r.m.s. revelou poucas mudanças significativas entre os modelos. A tendência geral observada, para quase todos os ângulos de incidência do vento considerados, foi de reduções na magnitude dos coeficientes. A exceção se verificou para vento perpendicular à face, a 90° , quando se constatou uma elevação das flutuações ao longo

da extremidade lateral direita da face, com destaque para os coeficientes relativos aos brises do Modelo III.

Quanto à distribuição dos coeficientes de pico mínimo, verificou-se que a incorporação dos elementos de fachada em estudo é capaz de promover uma redução expressiva das áreas contendo os coeficientes mais significativos, para a maioria dos ângulos de incidência do vento avaliados. Esse fato configurou significativas atenuações nos picos mínimos para ambos os modelos II e III, com destaque para as regiões próximas à base e ao topo das faces. Em contrapartida, entre os ângulos de incidência do vento de 15° e 105°, evidenciou-se a elevação da magnitude dos coeficientes em brises posicionados na extremidade lateral direita da face em análise, quando comparadas à distribuição na região correspondente do Modelo I.

Assim como já indicado à ocasião da análise comparativa dos coeficientes de pressão média já havia indicado, também se observou a elevação dos picos máximos na região de topo das faces dos modelos II e III. Esse efeito também foi observado para determinados brises, especialmente quando a orientação de sua folha instrumentada ficava posicionada mais perpendicularmente ao escoamento. Novamente, as principais modificações entre os modelos ocorreram para ventos incidindo mais diretamente sobre a face (30° a 165°) e para além deste intervalo, observaram-se distribuições homogêneas para os três modelos.

Diante da síntese dos quatro tipos de coeficientes avaliados para a face 1, torna-se relevante também a apresentação dos coeficientes característicos relativos a cada uma das regiões da face. Tais valores podem ser visualizados na Tabela 4.4, sendo que os símbolos \bar{c}_{pe} , $\sigma_{c_{pe}}$, \check{c}_{pe} e \hat{c}_{pe} representam os coeficientes adimensionais de pressão média, r.m.s., de pico mínimo e máximo na superfície externa das fachadas, respectivamente.

Da análise dos coeficientes de pressão resultantes nos brises deslizantes e articulados instrumentados, identificou-se a tendência geral de redução das magnitudes no sentido do topo para a base do modelo e das extremidades laterais para o centro da face. Como já visto no subcapítulo 2.4, este mesmo fato foi observado durante o estudo de Rocchi *et al.* (2016). Enquanto a correlação de coeficientes médios resultou em valores entre 0,12 e 1,48, a análise que combinou coeficientes de pico mínimo e máximo deu origem a magnitudes muito superiores, partindo de 0,63, em regiões mais centrais, e atingindo 2,45 na extremidade lateral direita da face.

Tabela 4.4: Coeficientes aerodinâmicos característicos por região da face 1 do Modelo III.

Modelo	Cpe	Regiões da face 1								
		Canto superior esquerdo	Topo	Canto superior direito	Lateral esquerda	Centro	Lateral direita	Canto inferior esquerdo	Base	Canto inferior direito
I	\bar{c}_{pe} (menor)	-1,07	-0,94	-1,20	-0,89	-0,89	-0,98	-0,80	-0,79	-0,81
	\bar{c}_{pe} (maior)	0,74	0,70	0,74	0,80	0,81	0,81	0,31	0,36	0,31
	$\sigma_{c_{pe}}$	0,24	0,23	0,25	0,30	0,30	0,33	0,25	0,28	0,24
	\check{c}_{pe}	-2,15	-1,88	-2,37	-2,69	-2,58	-3,07	-2,64	-2,70	-2,69
	\hat{c}_{pe}	1,10	1,07	1,08	1,17	1,24	1,19	0,81	0,89	0,81
II	\bar{c}_{pe} (menor)	-1,22	-0,90	-1,19	-0,87	-0,86	-0,82	-0,71	-0,76	-0,71
	\bar{c}_{pe} (maior)	0,84	0,76	0,84	0,82	0,82	0,81	0,35	0,33	0,36
	$\sigma_{c_{pe}}$	0,22	0,18	0,19	0,28	0,26	0,28	0,21	0,24	0,21
	\check{c}_{pe}	-1,86	-1,68	-1,69	-2,19	-2,47	-2,34	-1,98	-3,04	-2,05
	\hat{c}_{pe}	1,13	1,08	1,13	1,17	1,17	1,12	0,94	0,84	0,87
III	\bar{c}_{pe} (menor)	-1,09	-0,82	-1,03	-0,90	-0,76	-1,32	-0,72	-0,73	-0,93
	\bar{c}_{pe} (maior)	0,81	0,60	0,82	0,82	0,81	0,81	0,39	0,40	0,39
	$\sigma_{c_{pe}}$	0,19	0,15	0,19	0,22	0,22	0,28	0,17	0,22	0,27
	\check{c}_{pe}	-1,60	-1,36	-1,53	-1,91	-1,81	-2,26	-1,67	-2,25	-2,05
	\hat{c}_{pe}	1,08	0,97	1,11	1,18	1,22	1,16	0,87	0,91	0,93

(fonte: autora).

Da avaliação dos coeficientes resultantes médios, observou-se que os valores mais significativos ocorrem, sobretudo, quando o vento incide obliquamente à face, com exceção dos elementos mais extremos de cada linha, para os quais os coeficientes mais expressivos ocorreram para vento perpendicular à face. Já da análise envolvendo coeficientes de pico, além da tendência supracitada, para alguns elementos também se constatou a ocorrência de valores expressivos para ventos paralelos à face, isso porque nem sempre as combinações de picos mínimos e máximos que originaram os valores mais expressivos ocorreram para coeficientes de sinais opostos.

Finalmente, quanto à influência do ângulo de abertura dos brises, não foi possível chegar à conclusões muito consistentes. O que se pode inferir a partir do presente estudo é que as maiores sobrepressões surgem nos elementos cuja folha instrumentada fica posicionada de forma mais perpendicular à ação do vento. Assim, esse fato fica condicionado à combinação entre o ângulo de abertura entre as folhas do brise e o ângulo de incidência do vento avaliado. Ademais, observou-se também o efeito de proteção do escoamento oferecido por brises de ângulos de abertura maiores a elementos de ângulos menores, quando o primeiro está a barlavento. O efeito

ficou bastante claro para os elementos mais extremos da linha 3, de ângulo de abertura igual a 0° , adjacentes a brises com abertura de 90° .

Por sua vez, a análise comparativa da distribuição dos coeficientes de pressão média nas faces de número 2 dos modelos I, II e III, revelou que as mudanças mais significativas promovidas pela incorporação dos elementos de fachada em estudo ocorreram entre os ângulos de incidência do vento de 135° e 255° , isto é, quando a face se encontrava mais próxima da posição de barlavento. Para este intervalo, foi notória a influência exercida pelos brises deslizantes na distribuição de pressões, sobretudo na região superior da face. Funcionando como uma espécie de anteparo ao escoamento, alguns elementos foram submetidos a coeficientes mais significativos que os observados para a superfície da fachada na qual foram inseridos.

Assim como verificado para a primeira face, o estudo dos coeficientes de pressão r.m.s. não denunciou grandes mudanças entre os modelos. Novamente, a tendência geral observada foi de reduções na magnitude dos coeficientes para a introdução dos acessórios de fachada. Já em relação à distribuição dos coeficientes de pico mínimo, de modo geral, constatou-se o encolhimento das áreas contendo as sucções mais severas nos modelos II e III. As consequentes atenuações na magnitude dos coeficientes em questão foram observadas, de forma mais expressiva, em regiões próximas à base e para ângulos de incidência do vento mais paralelos à face, isto é, para 75° , 90° e 105° , 255° , 270° e 285° . Ademais, raros foram os casos nos quais os brises deslizantes do Modelo III foram solicitados por picos mínimos mais expressivos que os das regiões correspondentes do Modelo I.

Quanto aos coeficientes de pico máximo, a análise comparativa entre os modelos revelou a elevação das magnitudes na região de topo das faces, para a introdução dos acessórios de fachada objetos de estudo do presente trabalho. Novamente, as modificações mais significativas puderam ser observadas para ventos incidindo mais diretamente sobre a face analisada, sobretudo entre 135° e 255° . Para esse intervalo, assim como para os coeficientes médios, foi notória a influência exercida pelos brises deslizantes na distribuição de pressões. A relação dos coeficientes característicos avaliados, para cada uma das nove regiões da face 2, pode ser observada na Tabela 4.5.

Da análise dos coeficientes resultantes nos brises deslizantes, destacaram-se, sobretudo, os elementos localizados nas extremidades da face, para a correlação de coeficientes de pico. As resultantes mais significativas ocorreram essencialmente para os azimutes de 90° e 270° , isto

é, para ventos incidindo paralelamente à face. Em termos de magnitudes, verificaram-se valores resultantes médios oscilando entre -0,92, na lateral esquerda da face, e 1,03 na região de topo. Já os valores provenientes da combinação de picos máximo e mínimo se situaram entre -1,58 e -2,48, sendo os mais expressivos relativos aos brises posicionados ao longo da extremidade lateral direita da face analisada.

Tabela 4.5: Coeficientes aerodinâmicos característicos por região da face 2 do Modelo III.

		Regiões da face 2								
Modelo	Cp	Canto superior esquerdo	Topo	Canto superior direito	Lateral esquerda	Centro	Lateral direita	Canto inferior esquerdo	Base	Canto inferior direito
I	\bar{c}_{pe} (menor)	-1,82	-1,19	-1,69	-1,14	-1,18	-1,12	-0,95	-0,90	-0,95
	\bar{c}_{pe} (maior)	0,77	0,74	0,76	0,81	0,82	0,81	0,31	0,32	0,33
	$\sigma_{c_{pe}}$	0,49	0,28	0,56	0,35	0,36	0,37	0,36	0,37	0,30
	\check{c}_p	-3,45	-2,40	-3,63	-3,49	-3,34	-3,60	-3,18	-3,13	-2,93
	\hat{c}_p	1,08	1,08	1,07	1,20	1,21	1,16	0,86	0,93	0,86
II	\bar{c}_{pe} (menor)	-1,25	-1,14	-1,33	-0,93	-1,04	-1,00	-0,86	-0,89	-0,89
	\bar{c}_{pe} (maior)	0,86	0,85	0,86	0,81	0,84	0,77	0,35	0,38	0,39
	$\sigma_{c_{pe}}$	0,22	0,21	0,23	0,28	0,27	0,27	0,25	0,29	0,26
	\check{c}_p	-2,04	-1,83	-2,04	-2,75	-2,50	-2,59	-2,48	-2,57	-2,46
	\hat{c}_p	1,19	1,13	1,11	1,20	1,21	1,11	0,93	0,94	0,92
III (face)	\bar{c}_{pe} (menor)	-1,11	-1,10	-1,39	-1,11	-1,07	-1,77	-0,90	-0,88	-0,95
	\bar{c}_{pe} (maior)	0,85	0,85	0,86	0,79	0,84	0,77	0,41	0,36	0,39
	$\sigma_{c_{pe}}$	0,17	0,17	0,19	0,25	0,23	0,28	0,23	0,24	0,28
	\check{c}_p	-1,66	-1,82	-2,12	-2,30	-2,11	-2,56	-2,01	-2,38	-2,37
	\hat{c}_p	1,12	1,15	1,11	1,12	1,17	1,11	0,93	0,96	0,93
III (brises)	\bar{c}_{pe} (menor)	-1,20	-1,00	-1,31	-1,07	-0,95	-1,04	-0,88	-0,80	-0,93
	\bar{c}_{pe} (maior)	0,82	0,81	0,82	0,81	0,82	0,82	0,35	0,38	0,34
	$\sigma_{c_{pe}}$	0,30	0,15	0,23	0,22	0,23	0,23	0,19	0,24	0,28
	\check{c}_p	-2,27	-1,65	-2,10	-2,09	-1,96	-2,48	-1,84	-2,05	-2,34
	\hat{c}_p	1,12	1,12	1,08	1,09	1,17	1,10	0,84	0,94	0,85

(fonte: autora).

Diante do resumo apresentado, algumas semelhanças em relação aos estudos anteriores revisados merecem ser destacadas. Assim como verificado no presente trabalho, as pesquisas conduzidas por Stathopoulos e Zhu (1988), Maruta, Kanda e Sato (1988), Rofail e Kwok (1999), Holland e Ginger (2003) e por Yuan, Hui e Chen (2018) foram unânimes quanto a reduções dos picos de sucção nas faces laterais de edifícios dotados de projeções horizontais contínuas. Nesse contexto, Maruta, Kanda e Sato (1988) e Yuan, Hui e Chen (2018) também

ressaltaram que as maiores atenuações podem ser observadas na região mais próxima da aresta vertical a barlavento. Apesar de consideráveis reduções na região central e na aresta oposta, para ventos paralelos às faces, a mesma tendência pôde ser constatada ao longo das análises do presente estudo. Apesar das semelhanças evidenciadas, vale mencionar a única tendência observada por Stathopoulos e Zhu (1988) da qual os resultados obtidos destoaram, a de redução das sobrepressões na região de topo da face de barlavento. Como foi demonstrado ao longo do capítulo, a introdução das projeções horizontais no modelo base avaliado provocou o efeito contrário, mesmo que de forma não tão significativa.

Quanto aos brises, como foi demonstrado no item 2.4.1, poucos foram os estudos similares encontrados, o que inviabiliza a realização de um paralelo consistente. Todavia, considerando estudos referentes a projeções verticais, vale ressaltar o fato de Leutheusser (1970), Templin e Cermak (1976) e Stathopoulos e Zhu (1990) terem destacado o aparecimento de sucções ou de elevação destas em regiões de separação do escoamento, especialmente nas extremidades laterais da face, considerando vento normal a ela. O mesmo efeito foi observado no presente estudo, como pode ser visto na Figura 4.6 e também na Figura 4.15. Em contrapartida, a elevação de pressões na base do modelo identificada pelos últimos autores, para vento paralelo à face, não se confirmou, exceto de forma sutil na região do canto inferior direito, considerando coeficientes de pico mínimo e vento incidindo a 0° para a face 1, como visto na Figura 4.13.

Ademais, Liu *et al.* (2021), que também avaliaram a introdução de projeções verticais em fachadas, evidenciaram o decréscimo das flutuações de pressão na porção superior do modelo ensaiado, com destaque para as faces laterais e de sotavento. Conforme a análise dos coeficientes de pressão r.m.s. descrita no capítulo, a introdução dos brises deslizantes e articulados implicou no mesmo resultado. Para ventos incidindo de 0° a 30° e também de 150° a 180° , mais paralelos à face 1, verificaram-se significativas reduções dos adimensionais na porção de topo, não somente para o Modelo III, mas também para o Modelo II. Exclusivamente para os azimutes de 0° (Figura 4.10) e 180° , paralelos à face, e de 270° (Figura 4.12), quando a face se localiza na esteira, observaram-se as atenuações mais expressivas, corroborando o estudo prévio supracitado. Apesar de brises deslizantes incorporados à face 2 do Modelo III não se assemelharem às estruturas abordadas por Liu *et al.* (2021), também se constataram efeitos similares considerando ventos mais paralelos à face, de 90° a 120° e de 240° a 270° . Todavia, é importante mencionar o fato de os brises posicionados nos cantos superiores sustentarem ainda flutuações próximas aos valores observados para o modelo de faces lisas.

Quanto à avaliação conjunta das projeções que compõem a face 1 do Modelo III, o único estudo relacionável consiste no de Rofail e Kwok (1999). A principal observação realizada pelos autores consiste na elevação das pressões na face de barlavento e de sotavento, o que nesta pesquisa apenas se confirma para a primeira, em termos de sobrepressões na região de topo e de sucções nas extremidades laterais da face. Os mesmos autores também fornecem noções acerca da utilização de estruturas que funcionam como anteparos, tanto de forma isolada como associada a projeções horizontais. Para a primeira configuração, a pesquisa evidencia um leve aumento das pressões na face de barlavento e para a segunda, a redução destas nas faces laterais. Ambos os efeitos se confirmam ao longo do estudo comparativo apresentado no capítulo. Já quanto à influência da cavidade formada entre os brises deslizantes e a superfície da fachada, observou-se a mesma tendência que o estudo relacionado de Giachetti, Bartoli e Maninni (2019), a de minimizações das sucções na região próxima às bordas verticais da cavidade presente nas faces laterais.

Finalmente, é importante retomar o fato de que todos os brises que compuseram o Modelo III, foram modelados como sólidos, desconsiderando, assim, a permeabilidade característica de suas folhas. Acredita-se que isso possa contribuir com pequenas modificações nos resultados, inclusive no sentido de valores mais conservadores. Todavia, vale mencionar que o estudo de Rofail e Kwok (1999) considerou ambas configurações e não revelou mudanças significativas entre os resultados. Assim, de modo geral, apesar da análise de uma nova configuração de elementos de controle solar e das particularidades de suas composições, a forma como os elementos foram solicitados e modificaram a distribuição de pressões na fachada respeitou a maioria das tendências observadas em estudos anteriores similares.

4.5 VALORES DE PROJETO

A fim de fornecer uma noção mais prática acerca da utilização dos elementos alvos do presente estudo, torna-se pertinente trazer o problema para uma situação real de dimensionamento. Conforme já apresentado no subcapítulo 2.3, sabe-se que as pressões locais pertinentes ao projeto das fachadas e de seus elementos podem ser definidas por meio da combinação dos coeficientes aerodinâmicos apresentados, com estatísticas do vento na região de construção da edificação.

Uma vez que o modelo em destaque, o Modelo III, o qual incorpora os brises em suas fachadas, trata-se de uma edificação hipotética, opta-se pela apresentação de valores de projeto para cenários típicos observados no território brasileiro. Assim, na sequência, apresentam-se as envoltórias de pressões a partir das velocidades básicas do vento, V_0 , de 30 m/s, 40 m/s e 50 m/s. Para a construção dessas envoltórias, primeiramente definiram-se os fatores S_1 , S_2 e S_3 . Enquanto o primeiro e o terceiro foram fixados em valores unitários, de acordo com as disposições da ABNT NBR 6123 (1988, p. 5 e 10), o segundo foi calculado com base nas disposições do Anexo A da mesma norma (ABNT, 1988, p. 42-44), tomando-se intervalos de tempo de três segundos e de uma hora e sabendo-se que o perfil de velocidades médias ensaiado se refere, sobretudo, à categoria de rugosidade IV.

Por meio da multiplicação dos três fatores às diferentes velocidades básicas do vento estipuladas, obtiveram-se as velocidades características do vento, V_k , e, subsequentemente, as pressões dinâmicas de referência em valores médio, q_{1h} , e de pico, q_{3s} . Isto posto, utilizando-se as Equações (2.18), (2.19), (2.20), (2.21) e (2.22), selecionaram-se as mínimas e máximas pressões aerodinâmicas dentre todos os ângulos de incidência do vento, para cada uma das faces analisadas. Apesar da apresentação dos coeficientes característicos por região das faces no item anterior, optou-se por partir dos dados provenientes de todas as tomadas de pressão distribuídas sobre as faces. Diante disso, apresentam-se as envoltórias de pressões mínimas das faces 1 e 2, na Figura 4.42 e Figura 4.43, e máxima na Figura 4.44 e Figura 4.45, respectivamente.

Em relação às pressões mínimas que atingem a face 1 do modelo, verifica-se o predomínio de magnitudes situadas entre -0,5 kPa e -0,8 kPa, -0,9 kPa e -1,3 kPa, -1,4 e -1,8 kPa, considerando as velocidades básicas do vento de 30 m/s, 40 m/s e 50 m/s, respectivamente. Não obstante, como pode ser observado na Figura 4.42, verificam-se valores mais significativos nos brises mais extremos da lateral direita da face. Seguindo a ordem das velocidades básicas as quais os diagramas de blocos se referem, nessa faixa, alguns elementos chegam a ser subjugados por sucções próximas a -1,0 kPa, -1,7 kPa e -2,7 kPa. Os elementos que merecem maior destaque consistem no último brise pertencente à linha 5 do nível superior e também à linha 1 do nível inferior. Além destes, vale ressaltar os últimos elementos das linhas 5, 6, 9 e 10 do nível intermediário. A combinação de elevados ângulos de abertura dos brises supracitados (70° e 90°), combinados a maior exposição ao escoamento, pelo fato de estarem posicionados na extremidade da face, podem justificar as sucções mais expressivas. Além destes, ressalta-se também uma certa superioridade das magnitudes das sucções na região da base, nas cavidades

formadas entre-brises das linhas 9 e 10 e também entre os brises de abertura máxima posicionados no centro da linha 1 do nível de base, aonde se constata valores de até -0,81 kPa, -1,43 kPa e -2,24 kPa, para as velocidades básicas de 30 m/s, 40 m/s e 50 m/s, respectivamente.

Em termos de pressões máximas, a distribuição é mais homogênea para os três casos, com as magnitudes variando com a altura. Para $V_0 = 30 \text{ m/s}$, o arranjo das magnitudes fica bem delimitada, com o terço superior subjugado por pressões situadas entre 0,5 kPa e 0,6 kPa, com exceção da região central de topo, que apresenta valores da ordem de 0,4 kPa. Já o restante da face fica sujeita a pressões da ordem de 0,3 kPa a 0,5 kPa. Para $V_0 = 40 \text{ m/s}$, a distribuição dos coeficientes é bastante similar, sendo que o terço superior engloba valores situados entre 1,0 kPa e 1,1 kPa, com exceção da região central de topo, a qual apresenta magnitudes da ordem de 0,8 kPa. Já o restante da face permanece submetido a magnitudes oscilando entre 0,5 kPa e 1,0 kPa. Finalmente, para $V_0 = 50 \text{ m/s}$, delimitam-se três regiões: pressões entre 1,5 kPa e 1,7 kPa no terço superior, novamente com valores mais suaves na região central de topo (entre 1,1 kPa e 1,5 kPa), entre 1,0 kPa e 1,5 kPa no terço central e entre 0,7 kPa e 1,0 kPa para a região de base.

Quanto à face 2 do modelo em análise, verifica-se o predomínio de sucções mais significativas que as observadas para a face 1, com magnitudes situadas entre -0,7 kPa e -0,85 kPa, -1,2 kPa e -1,5 kPa, -1,9 kPa e -2,3 kPa, considerando as velocidades básicas do vento de 30 m/s, 40 m/s e 50 m/s, respectivamente. Com exceção do primeiro caso, para o qual não se destacam regiões subjugadas por valores mais expressivos, para os dois últimos, constata-se a superioridade das magnitudes as quais os brises posicionados na extremidade lateral direita e também no canto superior esquerdo estão sujeitos, as quais chegam a atingir valores próximos a -1,7 kPa e -2,65 kPa, respectivamente. Ademais, vale mencionar que a face em si também apresenta pressões mais significativas nessas regiões, em magnitudes similares às descritas para os brises.

Já a distribuição das pressões máximas é mais setorizada, com os maiores valores concentrados na região de topo, de 0,5 kPa a 0,6 kPa, 1,0 kPa a 1,1 kPa, 1,5 kPa a 1,75 kPa, para os diagramas de blocos referentes as velocidades básicas do vento de 30 m/s, 40 m/s e 50 m/s, respectivamente. Já o restante das faces fica sujeito a valores de pressões situados entre 0,25 kPa e 0,5 kPa, 0,5 kPa e 1,0 kPa, 1,1 kPa a 1,5 kPa, sendo que para o último caso, próximo a base, verificam-se pressões próximas a 0,9 kPa.

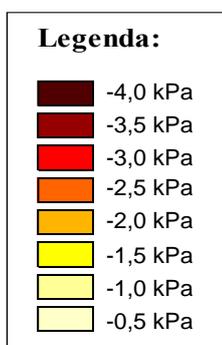
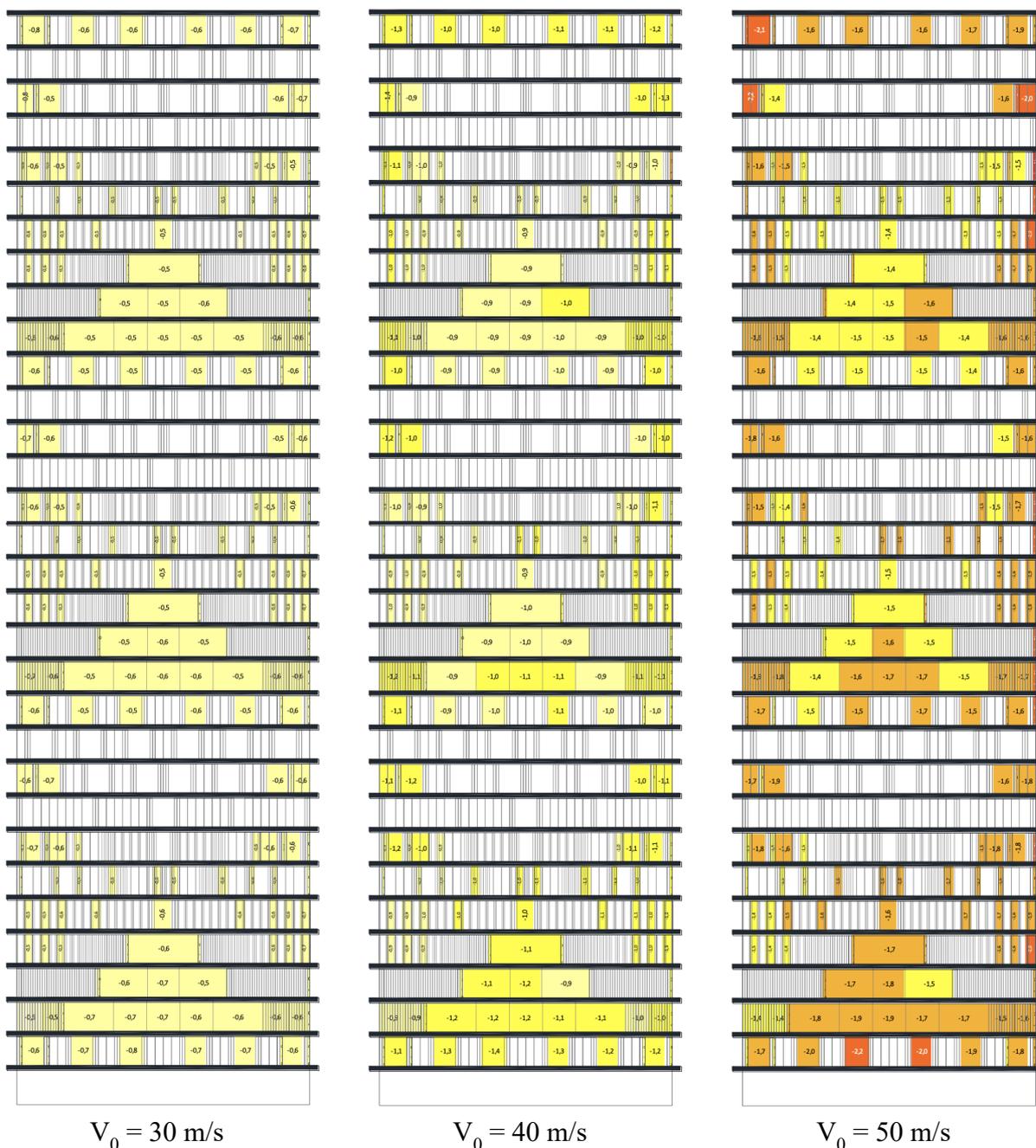


Figura 4.42: Diagramas de blocos indicando a envoltória de pressões externas mínimas na face 1 do Modelo III (fonte: autora).

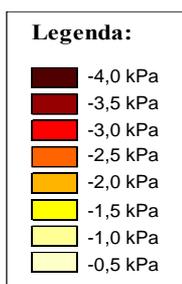
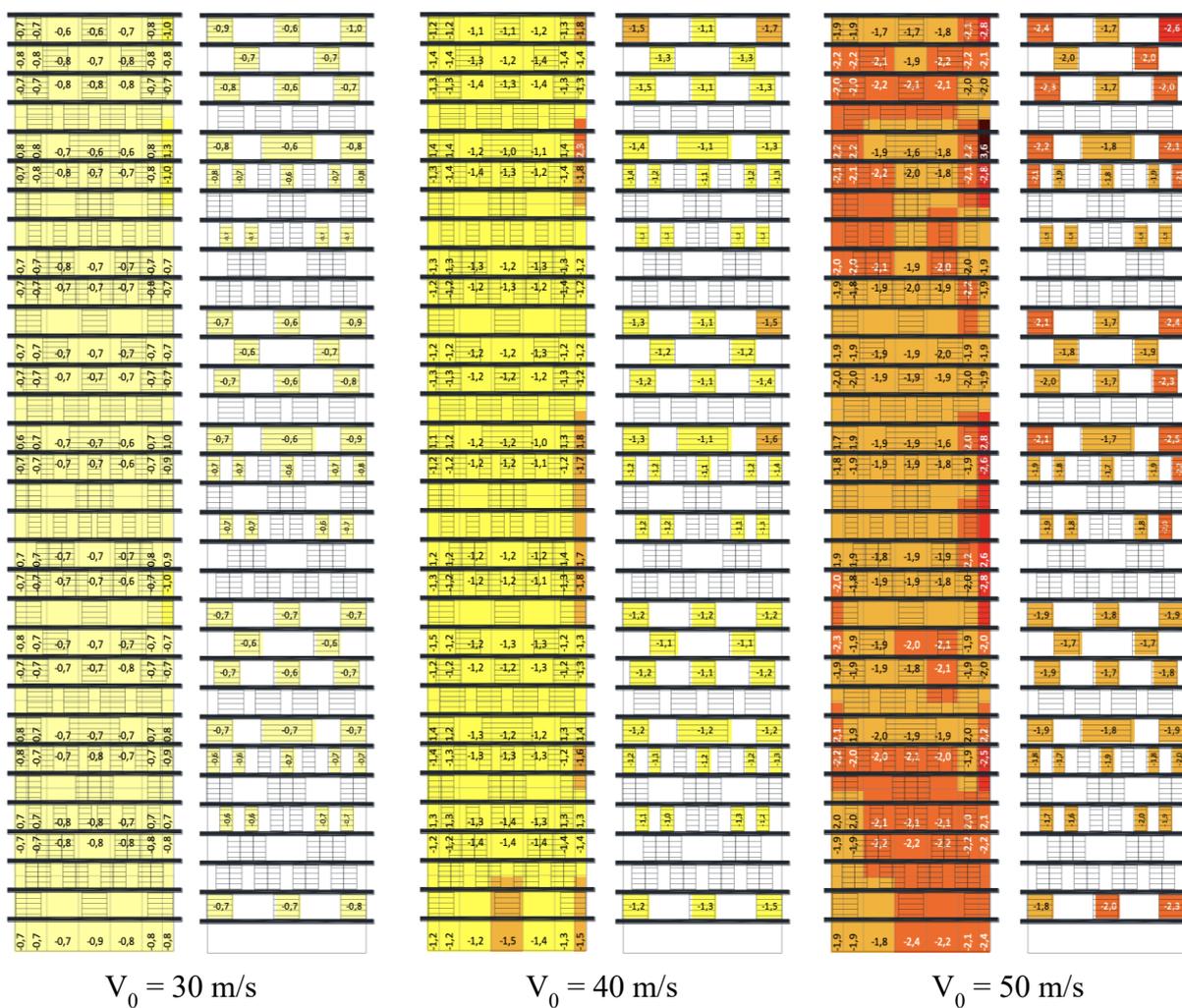


Figura 4.43: Diagramas de blocos indicando a envoltória de pressões externas mínimas na face 2 do Modelo III (fonte: autora).

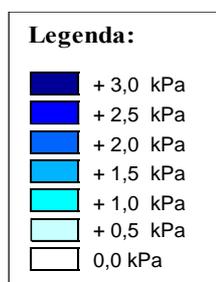
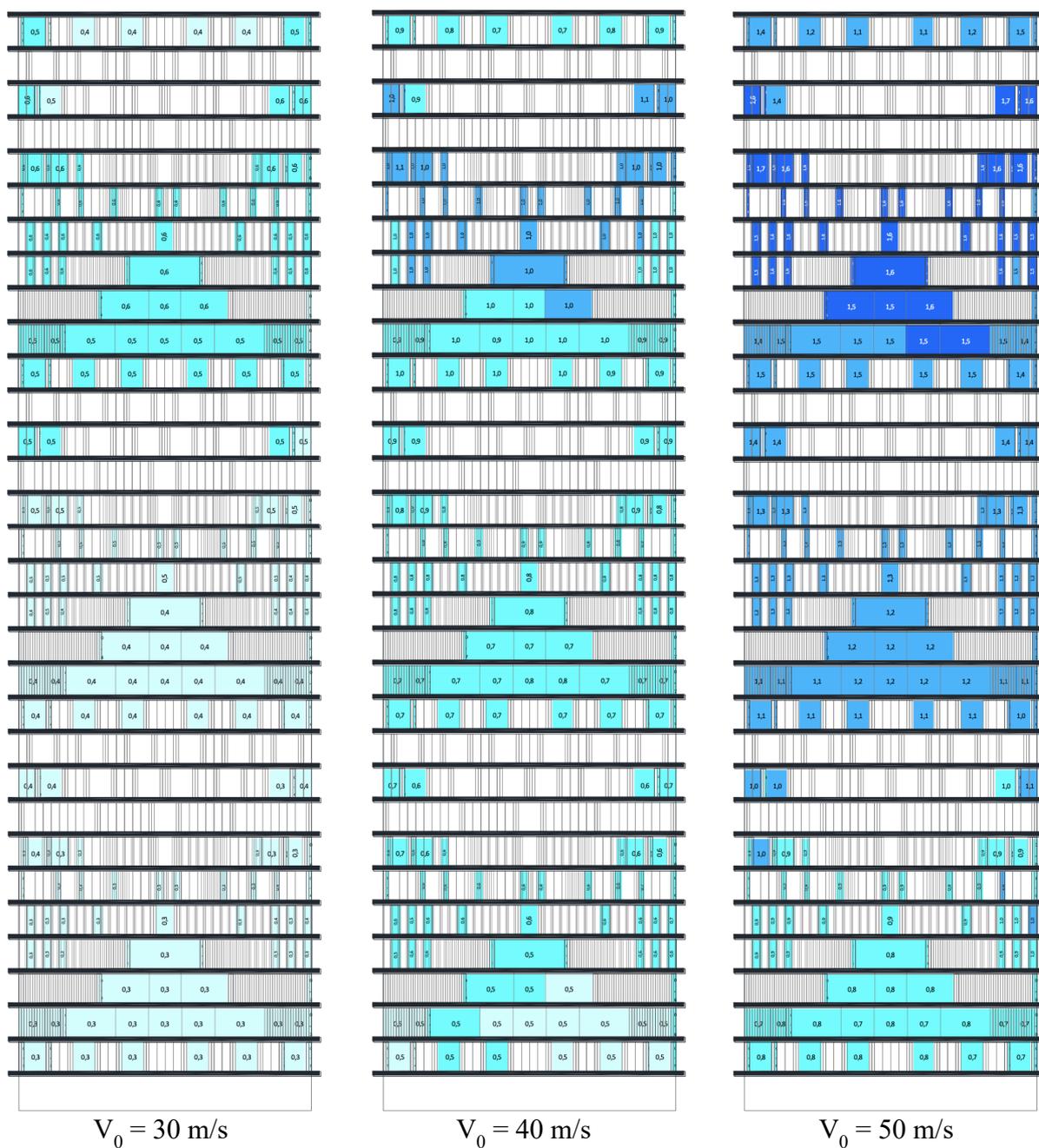


Figura 4.44: Diagramas de blocos indicando a envoltória de pressões externas máximas na face 1 do Modelo III (fonte: autora).

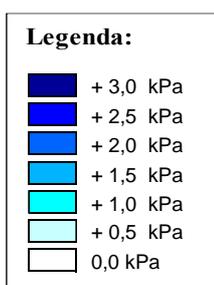
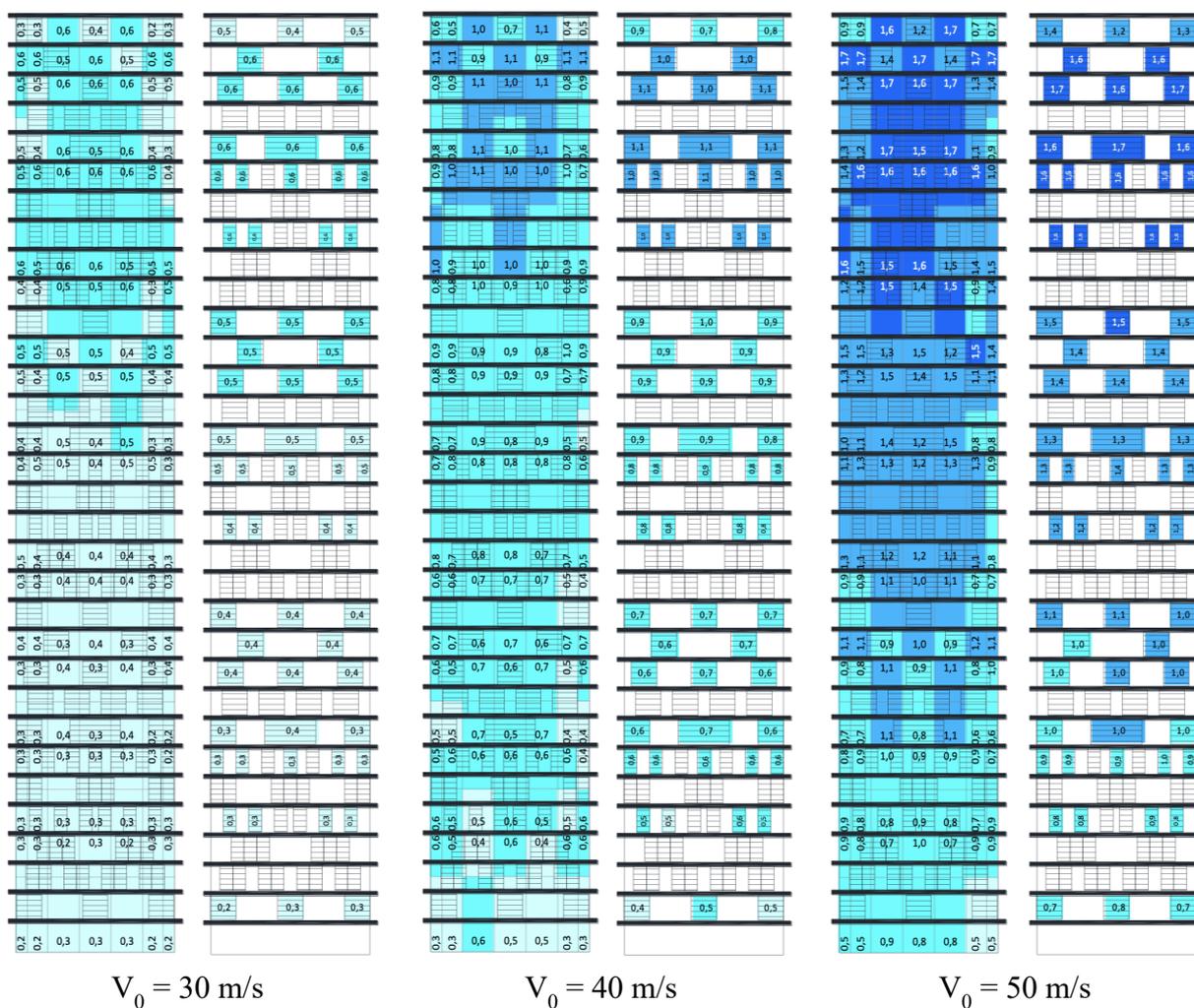


Figura 4.45: Diagramas de blocos indicando a envoltória de pressões externas máximas na face 2 do Modelo III (fonte: autora).

Para fins comparativos, apresentam-se também as envoltórias de pressões mínimas (Figura 4.46) e máximas (Figura 4.47) referentes ao modelo de referência, o Modelo I. Realizando um paralelo entre os dois modelos, constata-se, novamente, que a introdução dos brises provoca expressivas reduções na magnitude das pressões ao longo das duas faces analisadas, considerando as três velocidades básicas do vento avaliadas.

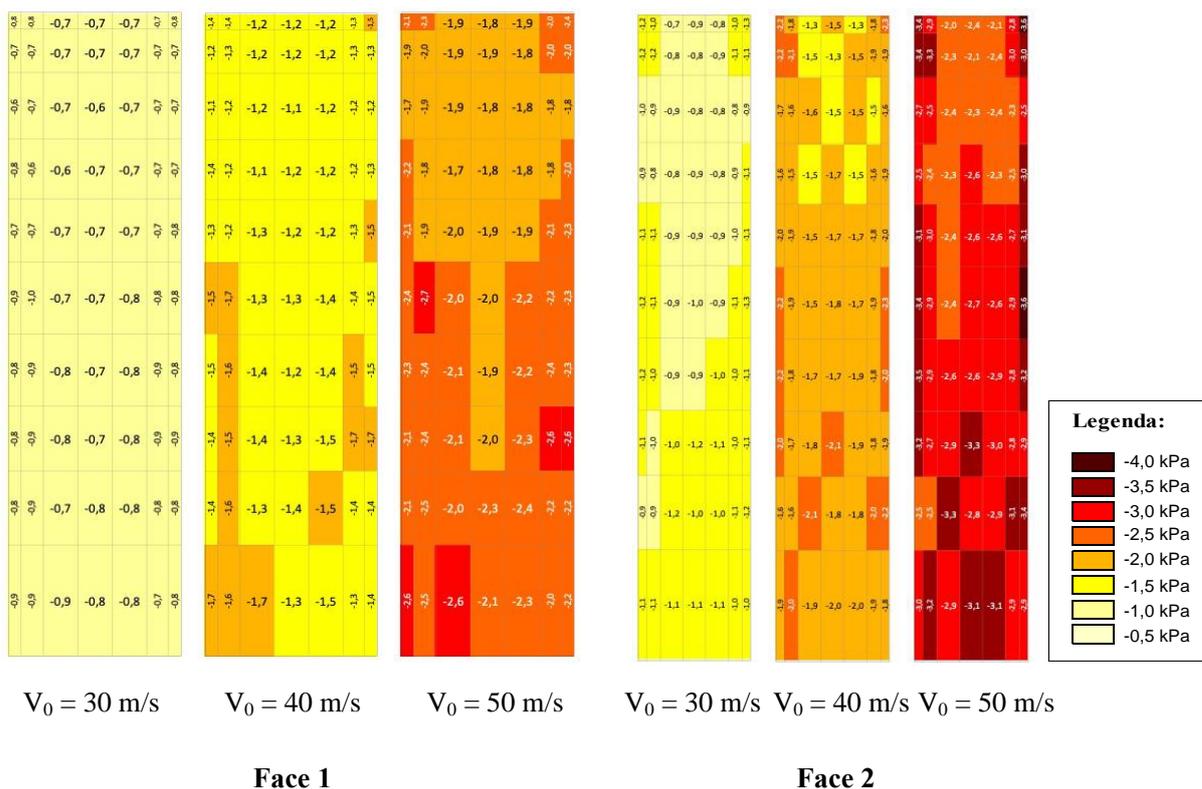


Figura 4.46: Diagramas de blocos indicando a envoltória de pressões externas mínimas nas faces 1 e 2 do Modelo I (fonte: autora).

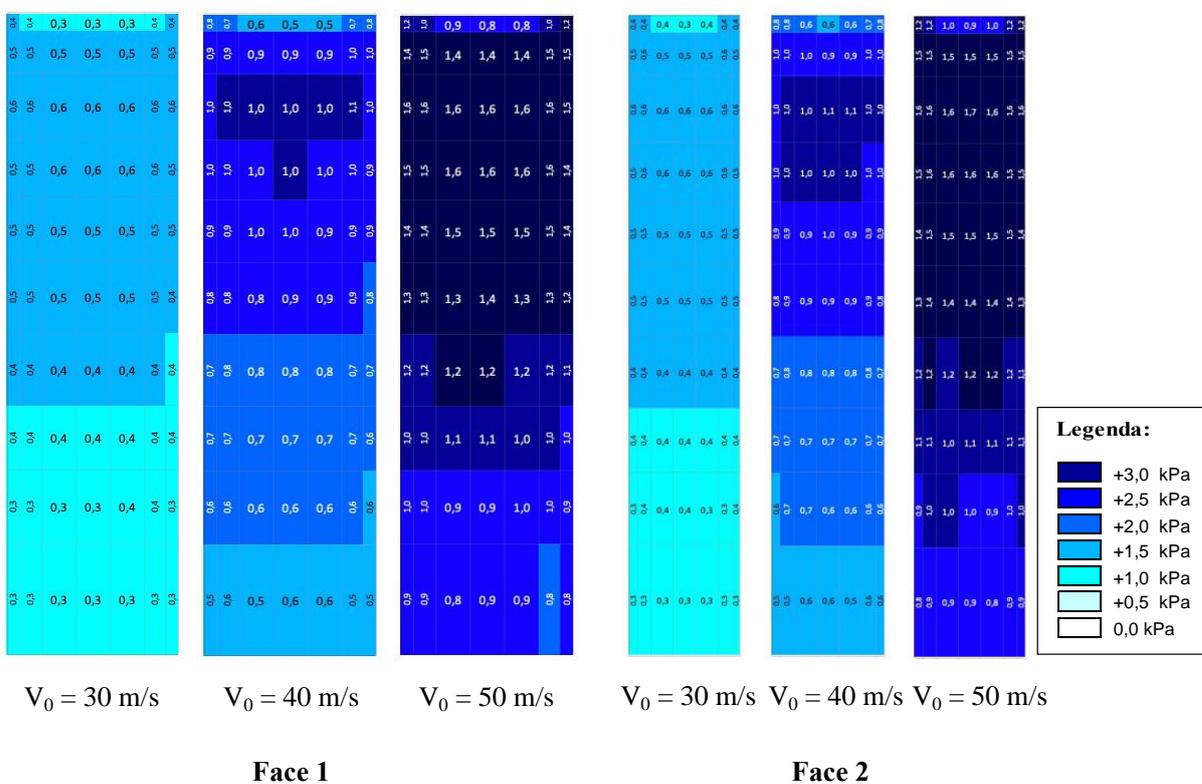


Figura 4.47: Diagramas de blocos indicando a envoltória de pressões externas máximas nas faces 1 e 2 do Modelo I (fonte: autora).

5 CONCLUSÕES

Diante da crescente utilização de sistemas de controle solar no cenário arquitetônico brasileiro, da escassez de estudos aerodinâmicos os envolvendo e frente à preocupação com recorrentes danos a elementos de fachada durante tempestades, a presente pesquisa se propôs a contribuir com um maior entendimento de como brises são solicitados e de como afetam a distribuição de pressões externas induzidas pelo vento em fachadas de edifícios altos de seção transversal retangular. As configurações de brises alvos deste estudo consistiram em painéis móveis, os quais vêm integrando a vista dos centros urbanos do país, sendo incorporados às fachadas de edificações através de um sistema *sliding & folding*, que viabiliza o deslizamento e, em alguns casos, a articulação de suas folhas.

Tendo em vista a falta de diretrizes normativas para o projeto de fachadas envolvendo esses elementos, propôs-se uma análise comparativa entre pressões locais medidas nas superfícies de um modelo rígido liso, cujas características aerodinâmicas podem ser obtidas por meio da ABNT NBR 6118:1988, e um modelo com a incorporação dessa nova tendência de brises em diferentes combinações, a fim de simular a dinamicidade característica das fachadas. Além dos dois modelos supracitados, um modelo intermediário contendo apenas projeções horizontais também foi avaliado, em virtude de exigências de instruções de combate a incêndio em fachadas e também como uma forma de validar a etapa inicial do estudo, através da comparação dos resultados obtidos com os fornecidos por outros autores.

Os três modelos foram ensaiados no túnel de vento *Professor Joaquim Blessmann*, do Laboratório de Aerodinâmica das Construções (LAC) da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS). A partir dos dados de pressão instantânea adquiridos para 24 ângulos de incidência do vento, variando de 0° a 345° em intervalos de 15°, obtiveram-se os coeficientes adimensionais de pressão externa que foram utilizados para a construção desta pesquisa, sendo estes avaliados em valores médio, r.m.s. (tomado como o desvio padrão em relação à média) e de picos mínimo e máximo, sendo que estes dois não sofreram qualquer tratamento estatístico, sendo condicionados ao tempo de registro utilizado.

A partir de diagramas representativos da distribuição destes coeficientes, estabeleceu-se um estudo comparativo, o qual destacou:

1. a elevação das sobrepressões médias e dos picos máximos na porção de topo das faces, para ventos incidindo de forma mais direta sobre as faces (de 15° a 165° para a face 1 e de 135° a 255° para a face 2);
2. a elevação das sucções médias nas arestas laterais de sotavento;
3. a significativa redução das flutuações de pressão para ventos incidindo mais paralelamente às faces 1 (de 0° a 30° e de 150° a 180°) e 2 (de 90° a 120° e de 240° a 270°) e também para a face 1 à sotavento (270°);
4. a expressiva redução dos coeficientes de pico mínimo, sobretudo em regiões próximas ao topo e à base dos modelos, para a maioria dos ângulos de incidência do vento avaliados, com destaque para ventos paralelos a estas e para a posição de sotavento;
5. a grande influência dos brises deslizantes na distribuição dos coeficientes na face 2, esses normalmente sujeitos a valores mais significativos que os observados na cavidade formada entre o elemento e a superfície da fachada principal, com destaque para a porção superior do modelo.

Já quanto às pressões a que os brises são submetidos, observa-se que:

6. poucos foram os casos nos quais os dois tipos de elementos avaliados apresentaram picos mínimos mais significativos que os constatados para regiões correspondentes do modelo de faces lisas. Os únicos casos foram observados apenas para a face 1, considerando ventos próximos a posição perpendicular e em elementos posicionados na extremidade lateral direita da face;
7. os elementos deslizantes e articulados mais solicitados foram os posicionados nas extremidades da face na qual estão instalados e os coeficientes resultantes mais significativos decorreram da correlação de coeficientes de picos mínimo e máximo, especialmente para ventos oblíquos

e perpendiculares às faces, para os quais identificaram-se adimensionais oscilando entre 0,63 e 2,45;

8. brises deslizantes e articulados de elevado ângulo de abertura promoveram certa proteção a de ângulos menores adjacentes, minimizando seus coeficientes;
9. a ocorrência de sobrepressões mais expressivas em alguns brises ficou condicionada à combinação entre o ângulo de abertura entre suas folhas e o ângulo de incidência avaliado;
10. os brises deslizantes sujeitos às pressões mais significativas foram os localizados nas extremidades da face e os maiores coeficientes resultantes ocorreram para ventos incidindo paralelamente sobre ela, com valores de pico oscilando entre -1,58 e -2,48.

Finalmente, a partir de estatísticas do vento características do território brasileiro, obtidas através da ABNT NBR 6123:1988, foram fornecidas pressões máximas e mínimas, a fim de simular uma situação real de dimensionamento e fornecer pontos de alerta a projetistas. Diante disso, apesar das limitações envolvidas, tais como a desconsideração da permeabilidade característica dos painéis e da influência das pressões internas, o presente estudo demonstrou que a configuração dos brises avaliada é capaz de alterar significativamente a distribuição de pressões na fachada de um edifício alto de seção transversal retangular, de maneira favorável, em geral. Ademais, apesar de suas particularidades, verificou-se que os resultados obtidos respeitaram a maioria das tendências observadas em estudos anteriores similares.

5.1 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

A fim de complementar e aprofundar o presente estudo, deixa-se como sugestão:

1. a realização de uma análise espectral para os valores de pico;
2. a análise de forças aerodinâmicas;
3. a análise de efeitos dinâmicos nos elementos;

4. a avaliação dos efeitos de vizinhança;
5. a consideração da permeabilidade característica dos elementos;
6. a avaliação de outras configurações de modelo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABUNDIZ-CISNEROS, N.; SANGINÉS, R.; RODRÍGUEZ-LÓPEZ, R.; PERALTA-ARRIOLA, M.; CRUZ, J.; MACHORRO, R. Novel Low-E filter for architectural glass pane. **Energy and Buildings**, v. 206, 2020.
- ALAN G. DAVENPORT WIND ENGINEERING GROUP. **Wind tunnel testing: A general outline**. Ontario: University of Western Ontario, 2007.
- ALBERNAZ, M. P.; LIMA, C. M. **Dicionário Ilustrado de Arquitetura: Volume I – A a I**. 1. ed. São Paulo: Pro Editores, 2000.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6123: Forças devidas ao vento em edificações**. Rio de Janeiro: ABNT, 1988.
- _____. **NBR 7199: Vidros na construção civil - Projeto, execução e aplicações**. Rio de Janeiro: ABNT, 2016.
- _____. **NBR 10821: Esquadrias para edificações**. Rio de Janeiro: ABNT, 2017.
- AYNSLEY, R. M. Shape and flow: The essence of architectural aerodynamics. **Architectural Science Review**, London, v. 42, n. 2, p. 69–74, 1999.
- BEARMAN, P. W.; MOREL, T. Effect of free stream turbulence on the flow around bluff bodies. **Aerospace Sciences**, v. 20, p. 97–123, 1983.
- BEARMAN, P. W. Vortex shedding from oscillating bluff bodies. **Annual Review of Fluids Mechanics**, v. 16, p. 195–222, 1984.
- BEDON, C.; HONFI, D.; MACHALICKÁ, K. V.; ELIÁŠOVÁ, M.; VOKÁČ, M.; KOZŁOWSKI, M.; WÜEST, T.; SANTOS, F.; PORTAL, N. W. Structural characterization of adaptive facades in Europe – Part I: Insight on classification rules, performance metrics and design methods. **Journal of Building Engineering**, v. 25, 2019.
- BELLIA, L.; MARINO, C.; MINICHELLO, F.; PEDACE, A. An overview on solar shading systems for buildings. **Energy Procedia**, v. 62, p. 309–317, 2014.
- BERGMAN, T. L.; LAVINE, A. S.; INCROPERA, F. P.; DEWITT, D. P. **Fundamentals of heat and mass transfer**. 7th ed. Hoboken: John Wiley & Sons, 2011.
- BLESSMANN, J. The boundary layer tv-2 wind tunnel of the UFRGS. **Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics**, Amsterdam, v. 10, n. 2, p. 231–248, 1982.

_____. **O vento na engenharia estrutural**. 1. ed. Porto Alegre: Editora da UFRGS, 1995.

_____. **Aerodinâmica das construções**. 3. ed. Porto Alegre: Editora da UFRGS, 2011.

BLOCKEN, B. 50 years of Computational Wind Engineering: Past, present and future. **Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics**, v. 129, p. 69–102, 2014.

BOURGEOIS, J. A.; SATTARI, P.; MARTINUZZI, R. J. Alternating half-loop shedding in the turbulent wake of a finite surface-mounted square cylinder with a thin boundary layer. **Physics of Fluids**, v. 23, n. 9, 2011.

CASAS, A. **Edifício Teená Três Figueiras - Projetos - Arthur Casas**. 2020. Disponível em: <https://www.arthurcasas.com/pt/projetos/edificio-teena-tres-figueiras/>. Acesso em: 30 ago. 2020.

COCHRAN, L. S. Ten questions concerning wind effects on supertall residential buildings. **Building and Environment**, v. 169, 2020.

COSTA, A. F. G. M.; LOURENÇO, S. R.; OLIVEIRA, S. P. G. Projeto de dispositivo bloqueador de radiação solar, tipo brise, para edifícios em São Paulo (SP). **Exacta**, v. 4, p. 119–122, 2006.

DAVENPORT, A. G.; ISYUMOV, N. The application of the boundary layer wind tunnel to the prediction of wind loading. *In*: INTERNATIONAL RESEARCH SEMINAR: EFFECTS ON BUILDINGS AND STRUCTURES, 1., 1967, Ottawa. **Proceedings** [...] Ottawa: 1967. P. 201–230.

DENIZ, S.; STAUBLI, T. Oscillating rectangular and octogonal profiles: Interaction of leading and trailing-edge vortex formation. **Journal of Fluids and Structures**, v. 11, p. 3–31, 1997.

FONTENELLE, M. R.; BASTOS, L. E. G. The multicriteria approach in the architecture conception: Defining windows for an office building in Rio de Janeiro. **Building and Environment**, v. 74, p. 96–105, 2014.

FRACALOSSO, I. **Clássicos da arquitetura: Ministério de Educação e Saúde / Lucio Costa e equipe**. 2013. Disponível em: <https://www.archdaily.com.br/br/01-134992/classicos-da-arquitetura-ministerio-de-educacao-e-saude-slash-lucio-costa-e-equipe>. Acesso em: 29 ago. 2020.

GARCIA, M. S.; VILELA, J. A.; MAIRINK, A. J. M.; VELOSO, A. C. O.; SOUZA, R. V. G. Simulação paramétrica de brise-soleil para redução de consumo energético em edificação comercial. **Revista Tecnologia e Sociedade**, v. 16, n. 40, p. 1–27, 2020.

GERHARDT, H.J.; KRAMER, C. Wind loads on wind-permeable building façades. **Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics**, v. 11, p. 1–20, 1983.

GERHARDT, H.J; JANSER, F. Wind loads on wind permeable façades. **Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics**, v. 53, p. 37-48, 1994.

GEURTS, C. P. W. **Wind-induced pressure fluctuations on building facades**. Eindhoven: Technische Universiteit Eindhoven, 1997.

GEURTS, C. P. W.; STAALDUINEN, P. C.; WIT, M. S. Towards a reliable design of façade and roof elements against wind loading. **HERON**, v. 49, n. 2, p. 171–187, 2004.

GIACHETTI, A. **Wind effects on permeable building envelopes: A two dimensional exploratory study**. 2018. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Department of Civil and Environmental Engineering, University of Florence, Florença, 2018.

GIACHETTI, A.; BARTOLI, G.; MANNINI, C. Wind effects on permeable tall building envelopes: Issues and potentialities. **CTBUH**, n. 3, p. 20–27, 2019.

GLOBAL ALLIANCE FOR BUILDINGS AND CONSTRUCTION. **2019 Global status report for buildings and construction towards a zero-emissions, efficient and resilient buildings and construction sector**. International Agency and The United Nations Environmental Programme, 2019.

GONÇALVES, J. C. S.; DOLCE, M.; MULFARTH, R. C. K.; LIMA, E. G.; FERREIRA, A. Revealing the thermal environmental quality of the high-density residential tall building from the Brazilian bioclimatic modernism: The case-study of Copan building. **Energy and Buildings**, v. 175, p. 17–29, 2018.

GUTIERREZ, G. C. R. **Avaliação do desempenho térmico de três tipologias de brise-soleil fixo**. 2004. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo da Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2004.

HAWA SLIDING SOLUTIONS AG. **Sliding Shutters**. Catálogo Comercial. 2017. Disponível em: http://www.hawa.ch/fileadmin/user_upload/pdf/broschueren_flyer/BPF_EN_Fold_Slide_Laeden_20202.pdf. Acesso em: 10 set. 2020.

HOLLAND, G.; GINGER, J. Wind loads on sun-shade attachments and parent building. *In*: AUSTRALASIAN WIND ENGINEERING SOCIETY WORKSHOP, 10., 2003, Sydney. **Proceedings** [...]. Sydney: 2003.

HOLMES, J. D. **Wind loading of structures**. 3rd ed. Boca Raton: CRC Press, Taylor & Francis Group, 2015.

HUI, Y.; YUAN, K.; CHEN, Z.; YANG, Q. Characteristics of aerodynamic forces on high-rise buildings with various façade appurtenances. **Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics**, v. 191, p. 76–90, 2019.

HUNTER DOUGLAS. **Folding & sliding shutters**. Catálogo Comercial. 2017. Disponível em: <https://www.hunterdouglas.com.br/ap/linha/controle-solar-hunter-douglas/fachadas-dinamicas>. Acesso em: 9 set. 2020.

HUNTER DOUGLAS. **Informações Técnicas - Controle Solar**. 2020. Disponível em: <https://www.hunterdouglas.com.br/ap/linha/controle-solar-hunter-douglas>. Acesso em: 30 ago. 2020.

IRWIN, P.; DENOON, R.; SCOTT. **Wind tunnel testing of high-rise buildings: An output of the CTBUH Wind Engineering Working Group**. Chicago: Council on Tall Buildings and Urban Habitat, 2013.

JIANG, F.; LI, Z.; ZHAO, Q.; TAO, Q.; YUAN, Y.; LU, S. Flow field around a surface-mounted cubic building with louver blinds. **Building Simulation**, v. 12, n. 1, p. 141–151, 2019.

JOHNSEN, K.; WINTHER, F.V. Dynamic facades, the smart way of meeting the energy requirements. **Energy Procedia**, v. 78, p. 1568–1573, 2015.

JOUBERT, E. C.; HARMS, T. M.; VENTER, G. Computational simulation of the turbulent flow around a surface mounted rectangular prism. **Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics**, v. 142, p. 173–187, 2015.

KAHSAY, M. T.; BITSUAMLAK, G. T.; TARIKU, F. CFD simulation of external CHTC on a high-rise building with and without façade appurtenances. **Building and Environment**, v. 165, 2019.

KO, N. H.; YOU, K. P.; KIM, Y. M. The effect of non-Gaussian local wind pressures on a side face of a square building. **Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics**, v. 93, n. 5, p. 383–397, 2005.

KUMAR, K. S. Guidelines for improving wind resistance of building facades. *In: ASIA-PACIFIC CONFERENCE ON WIND ENGINEERING*, 9., 2017, Auckland. **Proceedings** [...]. Auckland: 2017.

LEE, D. S.; KIM, S. J.; CHO, Y. H.; JO, J. H. Experimental study for wind pressure loss rate through exterior venetian blind in cross ventilation. **Energy and Buildings**, v. 107, p. 123–130, 2015.

LEUTHEUSSER, H. J. Influence of architectural features on the static wind loading of building. *In: TECHNICAL MEETING CONCERNING WIND LOADS ON BUILDINGS AND STRUCTURES*, Building Science Series 30., 1970, **Proceedings** [...] Gaithersburg: National Bureau of Standards, 1970.

LI, Y.; TIAN, X.; TEE, K. F.; LI, Q. S.; LI, Y. G. Aerodynamic treatments for reduction of wind loads on high-rise buildings. **Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics**, v. 172, p. 107–115, 2018.

LIGNAROLO, L.; LELIEVELD, C.; TEUFFEL, P. Shape morphing wind-responsive façade systems realized with smart materials. *In: ADAPTIVE ARCHITECTURE CONFERENCE 2011, London. **Proceedings** [...]. London: 2011.*

LIMA, K. M.; CARAM, R. M. Avaliação de sistemas de janela para suporte a decisões de projeto quanto ao equilíbrio de ganhos de luz e calor. **Ambiente Construído**, v. 15, n. 3, p. 117–133, 2015.

LIMA, K. M.; BRUGNERA, R. R.; CARAM, R. M. O potencial de brises dinâmicos em escritórios quanto ao uso de energia em climas tropicais. *In: XIII ENCONTRO NACIONAL E IX ENCONTRO LATINO-AMERICANO DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 2015, Campinas. **Anais** [...]. Campinas: 2005.*

LIU, J.; HUI, Y.; YANG, Q.; TAMURA, Y. Flow field investigation for aerodynamic effects of surface mounted ribs on square-sectioned high-rise buildings. **Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics**, v. 211, 2021.

LOONEN, R. C. G. M.; TRČKA, M.; CÓSTOLA, D.; HENSEN, J. L. M. Climate adaptive building shells: State-of-the-art and future challenges. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 25, p. 483-493, 2013.

LOREDO-SOUZA, A. M.; SCHETTINI, E. B. C.; PALUCH, M. J. Simulação da camada limite atmosférica em túnel de vento. *In: ESCOLA DE PRIMAVERA DE TRANSIÇÃO E TURBULÊNCIA, 4., 2004, Porto Alegre. **Anais** [...]. Porto Alegre: 2004.*

MANS, C.; KOPP, G. A.; SURRY, D. The prediction of wind loads on building attachments. *In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON BUILDING ENVELOPES SYSTEMS AND TECHNOLOGIES, 2001, Ottawa. **Proceedings** [...]. Ottawa: 2001.*

MARAGNO, G. V. **Eficiência e forma do brise-soleil na arquitetura de Campo Grande – MS**. 2000. Dissertação (Mestrado em Arquitetura) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), Porto Alegre, 2000.

MARUTA, E.; KANDA, M.; SATO, J. Effects on surface roughness for wind pressure on glass and cladding of buildings. **Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics**, v. 74–76, p. 651–663, 1998.

MARYSSE, C. **Structural Adaptive Façades**. 2016. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Department of Structural Engineering, Ghent University, Ghent, 2016.

MCCLEAN, J. F.; SUMNER, D. An experimental investigation of aspect ratio and incidence angle effects for the flow around surface-mounted finite-height square prisms. **Journal of Fluids Engineering, Transactions of the ASME**, v. 136, n. 8, 2014.

MEDEIROS, I. D. **O brise-soleil na zona bioclimática 3 sob avaliação dos requisitos técnicos da qualidade para o nível de eficiência energética de edifícios comerciais, de**

serviços e públicos (RTQ-C). 2012. Dissertação (Mestrado em Arquitetura) – Programa de Pós-graduação em Arquitetura e Urbanismo, UFPel, Pelotas, 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**, v. 6, n. 1–2, p. 73–88, 1980.

MELO, L. P. C. **Influência de detalhes arquitetônicos e efeitos de vizinhança sobre a caracterização aerodinâmica de um edifício alto**. 2020. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), Porto Alegre, 2020.

MIANA, A. C. **Avaliação do desempenho térmico de brises transparentes, ensaios em células-teste**. 2005. Dissertação (Mestrado em Arquitetura) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2005.

MOGHTADERNEJAD, S.; CHOUINARD, L. E.; MIRZA, M.S. Design strategies using multi-criteria decision-making tools to enhance the performance of building façades. **Journal of Building Engineering**, v. 30, 2020.

NÚÑEZ, G. J. Z.; LOREDO-SOUZA, A. M.; ROCHA, M. M. Uso do túnel de vento como ferramenta de projeto no design aerodinâmico. **Design & Tecnologia**, v. 4, p. 10–23, 2012.

ONO, A.; KIKUCHI, H.; TAMURA, Y. Characteristics of peak wind forces acting on cladding fins attached to a high-rise building. *In*: NATIONAL SYMPOSIUM ON WIND ENGINEERING, 23. 2014, Japan. **Proceedings** [...] Japan, 2014.

OUKAWA, C. S. **Clássicos da arquitetura: Edifício Copan / Oscar Niemeyer**. 2020. Disponível em: <https://www.archdaily.com.br/br/876920/classicos-da-arquitetura-edificio-copan-oscar-niemeyer>. Acesso em: 29 ago. 2020.

OVEREND, M.; ZAMMIT, K. Wind loading on cladding and glazed façades. *In*: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON THE APPLICATION OF ARCHITECTURAL GLASS, ISAAG, 2006, Munchen. **Proceedings** [...] Munchen: 2006. p. 1–10.

POIRAZIS, H. **Double skin facades: A literature review**. Lund: Department of Architecture and Built Environment, Division of Energy and Building Design, Lund University, 2006.

ROCCHI, D.; ARGENTINI, T.; ALLSOP, A.; AMERIO, L.; BERNINI, L.; RACCO, S. Multi-scale methodology to assess wind loads on building louvers. *In*: INTERNATIONAL COLLOQUIUM ON BLUFF BODY AERODYNAMICS AND APPLICATIONS, 8. 2016, Boston. **Proceedings** [...] Boston: 2016.

ROFAIL, A. W.; KWOK, K. C. S. The effect of sunshading elements on cladding pressures. *In*: INTERNATIONAL CONFERENCE ON WIND ENGINEERING, 10., 1999, Copenhagen. **Proceedings** [...] Copenhagen: 1999.

SAKAMOTO, H.; ARIE, M. Vortex shedding from a rectangular prism and a circular cylinder placed vertically in a turbulent boundary layer. **Journal of Fluid Mechanics**, v. 126, p. 147–165, 1983.

SARTORI, F. C. **Uma comparação de métodos para avaliar a resposta dinâmica de edifícios altos em túnel de vento**. 2010. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), Porto Alegre, 2010.

SCANIVALVE. **ZOC 33/64Px and ZOC 33/64PxX2 Electronic Pressure Scanning Module**, 2016. Disponível em: <http://scanivalve.com/products/pressure-measurement/miniature-analog-pressure-scanners/zoc33-miniature-pressure-scanner/>. Acesso em: 10 set. 2020.

SCHULTZ, M. P.; FLACK, K. A. Turbulent boundary layers on a systematically varied rough wall. **Physics of Fluids**, v. 21, n. 1, 2009.

SECRETARIA DE ESTADO DOS NEGÓCIOS DA SEGURANÇA PÚBLICA. **Instrução Técnica Nº 09/19**: Compartimentação horizontal e compartimentação vertical. São Paulo, Polícia Militar do Estado de São Paulo, 2019.

SILVA, J. S. **A eficiência do brise-soleil em edifícios de escritórios públicos: Estudo de casos no Plano Piloto de Brasília**. 2007. Dissertação (Mestrado em Arquitetura) – Curso de Pós-graduação em Arquitetura, Universidade de Brasília, Brasília, 2007.

SIMI, E.; YEO, D. **Wind effects on structures**. 4th ed. Chichester: John Wiley & Sons Ltd., 2019.

SNYDER, W. H.; CASTRO, I. P. The critical Reynolds number for rough-wall boundary layers. **Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics**, v. 90, n. 1, p. 41–54, 2002.

SOCKEL, H. Fundamentals of wind engineering. *In*: SOCKEL, H. **Wind excited vibration of structures**. CISM Lectures no. 355. Viena: Springer-Verlag Wien, 1994. cap. 3, p. 85–160.

STATHOPOULOS, T.; ZHU, X. Wind pressures on building with appurtenances. **Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics**, v. 31, n. 2–3, p. 265–281, 1988.

STATHOPOULOS, T.; ZHU, X. Wind pressure on buildings with mullions. **Journal of Structural Engineering**, v. 116, n. 8, p. 2272–2291, 1990.

TAYLOR, J. B.; CARRANO, A. L.; KANDLIKAR, S. G. Characterization of the effect of surface roughness and texture on fluid flow - Past, present, and future. **International Journal of Thermal Sciences**, v. 45, p. 962-968, 2006.

UFFINGER, T.; ALI, I.; BECKER, S. Experimental and numerical investigations of the flow around three different wall-mounted cylinder geometries of finite length. **Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics**, v. 119, p. 13–27, 2013.

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL (UFRGS). **Laboratório de Aerodinâmica das construções (LAC)**. Túnel de Vento. 2020. Disponível em: <http://www.ufrgs.br/lac/tunel.htm>. Acesso em: 10 set. 2020.

VANNUCCHI, P. **Vitacon Edifício Itaim / Studio MK27 – Marcio Kogan + Carolina Castroviejo**. 2014. Disponível em: https://www.archdaily.com.br/br/758843/vitacon-edificio-itaim-studio-mk27-marcio-kogan-plus-carolina-castroviejo?ad_medium=gallery. Acesso em: 30 ago. 2020.

WANG, H.; CHAN, C.; WONG, W. O.; WANG, H. F.; ZHOU, Y.; CHAN, C. K.; LAM, K. S. Flow structure around a finite-length square prism. *In: AUSTRALASIAN FLUID MECHANICS CONFERENCE*, 15., 2004, Sydney. **Proceedings** [...] Sydney: 2004.

WANG, H. F.; ZHOU, Y. The finite-length square cylinder near wake. **Journal of Fluid Mechanics**, v. 638, p. 453–490, 2009.

WILLIAMS, T.; KAREEM, A. Performance of building cladding in urban environments under extreme winds. *In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON WIND ENGINEERING*, 11., 2003, Amsterdam. **Proceedings** [...] Amsterdam: 2003.

YANG, Q.; LIU, Z.; HUI, Y.; LI, Z. Modification of aerodynamic force characteristics on high-rise buildings with arrangement of vertical plates. **Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics**, v. 200, 2020.

YOSHIKAWA, M.; TAMURA, T. Wind load estimation of vertical fins on walls of high-rise building: Formulation of LES using unstructured grid system for wind-resistant design of buildings (Part 3). **Journal of Structural and Construction Engineering**, v. 81, n. 722, p. 665–674, 2016.

YUAN, K.; HUI, Y.; CHEN, Z. Effects of façade appurtenances on the local pressure of high-rise building. **Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics**, v. 178, p. 26–37, 2018.

ZAMMIT, K.; OVEREND, M. Transient wind loads on complex façades. *In: UK CONFERENCE ON WIND ENGINEERING*, 10., 2012, Southampton. **Proceedings** [...] Southampton: 2012.

ZHENG, J.; TAO, Q.; LI, L. Wind Pressure Coefficient on a Multi-Storey Building with External Shading Louvers. **Applied Sciences**, v. 10, 2020.

**APÊNDICE I – COEFICIÊNTES CARACTERÍSTICOS POR REGIÃO
DAS FACES DOS MODELOS I, II E III**

Ângulo de Incidência	Modelo	Cp med	Região								
			Canto superior esquerdo	Topo	Canto superior direito	Lateral esquerda	Centro	Lateral direita	Canto inferior esquerdo	Base	Canto inferior direito
0°	I	mín	-0,89	-0,94	-0,53	-0,84	-0,89	-0,68	-0,80	-0,79	-0,34
		máx	-0,87	-0,70	-0,43	-0,76	-0,55	-0,43	-0,77	-0,43	-0,31
	II	mín	-0,85	-0,83	-0,63	-0,71	-0,76	-0,78	-0,71	-0,75	-0,46
		máx	-0,77	-0,75	-0,61	-0,63	-0,69	-0,58	-0,71	-0,60	-0,45
	III	mín	-0,85	-0,80	-0,66	-0,79	-0,72	-0,72	-0,72	-0,69	-0,52
		máx	-0,71	-0,65	-0,44	-0,66	-0,55	-0,50	-0,68	-0,43	-0,38
15°	I	mín	-1,07	-0,54	-0,49	-0,89	-0,76	-0,44	-0,64	-0,36	-0,41
		máx	-1,00	-0,21	-0,36	-0,73	-0,24	-0,31	-0,59	-0,25	-0,35
	II	mín	-1,22	-0,77	-0,36	-0,87	-0,86	-0,39	-0,62	-0,54	-0,38
		máx	-0,95	-0,28	-0,31	-0,69	-0,29	-0,31	-0,61	-0,27	-0,30
	III	mín	-1,09	-0,76	-0,61	-0,90	-0,73	-0,57	-0,63	-0,55	-0,55
		máx	-0,64	-0,36	-0,28	-0,55	-0,29	-0,35	-0,51	-0,27	-0,35
30°	I	mín	-0,39	-0,19	-0,20	-0,15	-0,10	-0,33	-0,07	-0,11	-0,25
		máx	-0,02	0,08	-0,14	0,05	0,18	-0,20	-0,01	0,02	-0,25
	II	mín	-0,53	-0,15	-0,29	-0,21	-0,12	-0,37	-0,13	-0,14	-0,39
		máx	-0,01	0,05	-0,20	-0,07	0,15	-0,20	-0,06	0,02	-0,25
	III	mín	-0,52	-0,25	-0,70	-0,16	-0,24	-0,66	-0,11	-0,43	-0,62
		máx	-0,05	-0,16	-0,17	0,04	0,32	-0,19	-0,03	0,07	-0,30
45°	I	mín	0,25	0,01	-0,07	0,41	0,09	-0,24	0,29	0,05	-0,17
		máx	0,68	0,39	0,00	0,77	0,54	-0,03	0,30	0,23	-0,13
	II	mín	0,52	0,06	-0,16	0,39	0,07	-0,29	0,31	0,01	-0,32
		máx	0,71	0,41	0,00	0,74	0,51	-0,04	0,33	0,22	-0,15
	III	mín	0,29	-0,04	-0,68	0,29	-0,07	-0,76	0,23	-0,30	-0,68
		máx	0,81	0,18	0,03	0,73	0,61	-0,02	0,34	0,29	-0,19
60°	I	mín	0,53	0,18	-0,23	0,37	0,23	-0,19	0,24	0,16	-0,22
		máx	0,74	0,62	0,10	0,80	0,75	0,14	0,31	0,31	-0,06
	II	mín	0,79	0,32	0,02	0,41	0,22	-0,19	0,33	0,14	-0,22
		máx	0,84	0,67	0,17	0,82	0,75	0,16	0,35	0,31	-0,03
	III	mín	0,52	0,17	-0,51	0,39	0,06	-0,82	0,23	-0,14	-0,75
		máx	0,80	0,49	0,24	0,82	0,76	0,17	0,39	0,39	-0,08
75°	I	mín	0,44	0,34	0,21	0,19	0,37	0,03	0,08	0,27	-0,01
		máx	0,65	0,69	0,38	0,67	0,79	0,38	0,21	0,34	0,08
	II	mín	0,63	0,49	0,23	0,20	0,35	-0,07	0,13	0,24	-0,13
		máx	0,76	0,76	0,39	0,71	0,82	0,37	0,23	0,32	0,08
	III	mín	0,32	0,38	-0,25	0,01	0,19	-0,96	0,06	0,02	-0,85
		máx	0,80	0,59	0,45	0,80	0,81	0,35	0,36	0,40	0,01
90°	I	mín	0,31	0,40	0,35	0,09	0,42	0,10	0,01	0,31	0,03
		máx	0,53	0,67	0,54	0,55	0,81	0,55	0,15	0,36	0,13
	II	mín	0,44	0,55	0,42	0,07	0,40	0,00	0,01	0,29	-0,07
		máx	0,60	0,74	0,57	0,57	0,81	0,54	0,14	0,33	0,14
	III	mín	-0,02	0,52	0,02	-0,26	0,28	-1,01	-0,03	0,12	-0,93
		máx	0,74	0,54	0,61	0,74	0,80	0,50	0,27	0,39	0,05
105°	I	mín	0,05	0,34	0,37	-0,01	0,36	0,13	-0,11	0,26	0,02
		máx	0,34	0,70	0,65	0,35	0,81	0,67	0,07	0,33	0,19
	II	mín	0,23	0,47	0,59	-0,03	0,35	0,14	-0,08	0,24	0,03
		máx	0,41	0,75	0,74	0,40	0,81	0,68	0,06	0,31	0,22
	III	mín	-0,28	0,41	0,29	-0,40	0,35	-1,32	-0,08	0,20	-0,89
		máx	0,68	0,60	0,74	0,62	0,80	0,66	0,18	0,38	0,13

Coefficientes adimensionais de pressão média, externos, para a face 1 dos modelos I, II e III.

Ângulo de Incidência	Modelo	Cp med	Região								
			Canto superior esquerdo	Topo	Canto superior direito	Lateral esquerda	Centro	Lateral direita	Canto inferior esquerdo	Base	Canto inferior direito
120°	I	mín	0,02	0,20	0,52	-0,10	0,24	0,38	-0,12	0,18	0,28
		máx	0,18	0,60	0,74	0,18	0,75	0,81	-0,01	0,32	0,31
	II	mín	0,04	0,33	0,79	-0,12	0,25	0,38	-0,16	0,15	0,26
		máx	0,21	0,70	0,84	0,21	0,77	0,81	-0,03	0,31	0,34
	III	mín	-0,51	0,22	0,69	-0,53	0,23	-0,57	-0,17	0,14	-0,51
		máx	0,62	0,56	0,82	0,42	0,81	0,81	0,06	0,38	0,33
135°	I	mín	-0,12	-0,01	0,22	-0,24	0,07	0,38	-0,23	0,03	0,27
		máx	-0,02	0,33	0,64	-0,05	0,50	0,74	-0,14	0,21	0,29
	II	mín	-0,15	0,14	0,59	-0,23	0,09	0,43	-0,26	0,01	0,34
		máx	-0,01	0,47	0,77	-0,02	0,55	0,79	-0,15	0,23	0,36
	III	mín	-0,70	0,00	0,51	-0,62	0,06	0,24	-0,38	-0,03	0,13
		máx	0,40	0,26	0,81	0,20	0,69	0,80	-0,04	0,37	0,39
150°	I	mín	-0,23	-0,18	-0,40	-0,35	-0,11	-0,18	-0,31	-0,12	-0,05
		máx	-0,17	0,06	-0,06	-0,22	0,19	0,03	-0,25	0,02	0,01
	II	mín	-0,29	-0,10	-0,11	-0,31	-0,09	0,00	-0,33	-0,13	0,02
		máx	-0,18	0,13	0,13	-0,19	0,22	0,16	-0,25	0,06	0,08
	III	mín	-0,70	-0,23	-0,27	-0,61	-0,12	-0,12	-0,49	-0,17	-0,02
		máx	0,02	-0,08	0,43	0,00	0,43	0,62	-0,15	0,20	0,29
165°	I	mín	-0,41	-0,64	-1,20	-0,42	-0,87	-0,98	-0,38	-0,40	-0,65
		máx	-0,34	-0,25	-1,09	-0,31	-0,26	-0,76	-0,32	-0,26	-0,63
	II	mín	-0,34	-0,53	-1,19	-0,36	-0,73	-0,82	-0,36	-0,39	-0,54
		máx	-0,29	-0,22	-0,99	-0,28	-0,23	-0,61	-0,31	-0,25	-0,52
	III	mín	-0,61	-0,71	-1,03	-0,53	-0,72	-0,91	-0,41	-0,47	-0,70
		máx	-0,18	-0,36	-0,75	-0,19	-0,16	0,04	-0,25	-0,10	-0,10
180°	I	mín	-0,56	-0,90	-0,84	-0,70	-0,85	-0,82	-0,34	-0,78	-0,81
		máx	-0,49	-0,73	-0,82	-0,44	-0,55	-0,73	-0,33	-0,43	-0,78
	II	mín	-0,56	-0,90	-0,92	-0,75	-0,82	-0,75	-0,38	-0,76	-0,71
		máx	-0,51	-0,70	-0,84	-0,49	-0,65	-0,70	-0,38	-0,51	-0,71
	III	mín	-0,71	-0,82	-0,89	-0,70	-0,76	-0,95	-0,45	-0,73	-0,84
		máx	-0,52	-0,66	-0,73	-0,45	-0,55	-0,29	-0,32	-0,40	-0,43
195°	I	mín	-0,68	-0,67	-0,63	-0,72	-0,64	-0,60	-0,64	-0,66	-0,63
		máx	-0,65	-0,64	-0,61	-0,67	-0,56	-0,54	-0,64	-0,65	-0,61
	II	mín	-0,65	-0,63	-0,65	-0,65	-0,61	-0,58	-0,60	-0,59	-0,57
		máx	-0,63	-0,61	-0,61	-0,60	-0,52	-0,51	-0,58	-0,57	-0,56
	III	mín	-0,64	-0,64	-0,68	-0,63	-0,61	-0,74	-0,60	-0,59	-0,59
		máx	-0,61	-0,61	-0,53	-0,58	-0,51	-0,34	-0,55	-0,56	-0,46
210°	I	mín	-0,65	-0,63	-0,60	-0,69	-0,65	-0,58	-0,63	-0,62	-0,56
		máx	-0,63	-0,61	-0,59	-0,60	-0,53	-0,51	-0,63	-0,59	-0,55
	II	mín	-0,63	-0,62	-0,63	-0,65	-0,64	-0,60	-0,60	-0,57	-0,56
		máx	-0,63	-0,61	-0,61	-0,59	-0,53	-0,51	-0,58	-0,56	-0,55
	III	mín	-0,63	-0,60	-0,61	-0,63	-0,62	-0,77	-0,60	-0,58	-0,67
		máx	-0,60	-0,59	-0,49	-0,58	-0,52	-0,50	-0,57	-0,54	-0,53
225°	I	mín	-0,62	-0,60	-0,57	-0,66	-0,63	-0,58	-0,62	-0,61	-0,55
		máx	-0,60	-0,56	-0,55	-0,55	-0,53	-0,51	-0,62	-0,57	-0,54
	II	mín	-0,63	-0,61	-0,59	-0,66	-0,64	-0,61	-0,61	-0,59	-0,56
		máx	-0,61	-0,58	-0,59	-0,55	-0,54	-0,52	-0,60	-0,57	-0,56
	III	mín	-0,62	-0,58	-0,59	-0,62	-0,62	-0,78	-0,60	-0,58	-0,68
		máx	-0,59	-0,57	-0,45	-0,55	-0,52	-0,51	-0,57	-0,53	-0,52

Coeficientes adimensionais de pressão média, externos, para a face 1 dos modelos I, II e III.

Ângulo de Incidência	Modelo	Cp med	Região								
			Canto superior esquerdo	Topo	Canto superior direito	Lateral esquerda	Centro	Lateral direita	Canto inferior esquerdo	Base	Canto inferior direito
240°	I	mín	-0,62	-0,58	-0,53	-0,62	-0,60	-0,56	-0,62	-0,60	-0,55
		máx	-0,61	-0,52	-0,52	-0,52	-0,51	-0,49	-0,61	-0,57	-0,54
	II	mín	-0,62	-0,58	-0,55	-0,63	-0,60	-0,57	-0,59	-0,57	-0,55
		máx	-0,61	-0,54	-0,54	-0,50	-0,51	-0,50	-0,58	-0,56	-0,55
	III	mín	-0,62	-0,56	-0,56	-0,61	-0,59	-0,67	-0,58	-0,57	-0,62
		máx	-0,57	-0,54	-0,41	-0,51	-0,51	-0,50	-0,56	-0,52	-0,52
255°	I	mín	-0,70	-0,69	-0,60	-0,64	-0,65	-0,61	-0,65	-0,64	-0,60
		máx	-0,68	-0,62	-0,57	-0,55	-0,53	-0,55	-0,64	-0,63	-0,59
	II	mín	-0,68	-0,67	-0,62	-0,65	-0,65	-0,62	-0,63	-0,61	-0,60
		máx	-0,67	-0,61	-0,60	-0,51	-0,53	-0,55	-0,61	-0,61	-0,59
	III	mín	-0,66	-0,65	-0,61	-0,63	-0,63	-0,64	-0,61	-0,60	-0,62
		máx	-0,62	-0,58	-0,45	-0,52	-0,53	-0,54	-0,59	-0,57	-0,57
270°	I	mín	-0,74	-0,76	-0,74	-0,76	-0,71	-0,75	-0,70	-0,72	-0,70
		máx	-0,73	-0,75	-0,73	-0,67	-0,59	-0,67	-0,70	-0,71	-0,69
	II	mín	-0,74	-0,75	-0,74	-0,75	-0,72	-0,74	-0,71	-0,72	-0,71
		máx	-0,72	-0,73	-0,72	-0,64	-0,59	-0,64	-0,70	-0,71	-0,70
	III	mín	-0,71	-0,72	-0,74	-0,69	-0,69	-0,81	-0,67	-0,68	-0,73
		máx	-0,69	-0,71	-0,55	-0,57	-0,55	-0,63	-0,65	-0,64	-0,65
285°	I	mín	-0,60	-0,69	-0,70	-0,62	-0,65	-0,64	-0,61	-0,64	-0,63
		máx	-0,58	-0,61	-0,69	-0,55	-0,56	-0,55	-0,60	-0,63	-0,63
	II	mín	-0,63	-0,69	-0,70	-0,65	-0,66	-0,66	-0,62	-0,64	-0,65
		máx	-0,62	-0,64	-0,69	-0,58	-0,55	-0,54	-0,61	-0,63	-0,63
	III	mín	-0,64	-0,67	-0,68	-0,62	-0,63	-0,70	-0,60	-0,63	-0,68
		máx	-0,59	-0,60	-0,53	-0,55	-0,54	-0,54	-0,59	-0,59	-0,61
300°	I	mín	-0,55	-0,60	-0,64	-0,57	-0,63	-0,64	-0,56	-0,60	-0,61
		máx	-0,54	-0,54	-0,63	-0,51	-0,53	-0,53	-0,55	-0,57	-0,60
	II	mín	-0,55	-0,59	-0,63	-0,58	-0,60	-0,62	-0,55	-0,57	-0,59
		máx	-0,54	-0,54	-0,61	-0,49	-0,51	-0,51	-0,55	-0,55	-0,57
	III	mín	-0,58	-0,58	-0,63	-0,56	-0,59	-0,65	-0,54	-0,57	-0,60
		máx	-0,53	-0,53	-0,47	-0,50	-0,50	-0,50	-0,53	-0,54	-0,57
315°	I	mín	-0,59	-0,63	-0,65	-0,60	-0,67	-0,69	-0,57	-0,63	-0,64
		máx	-0,59	-0,59	-0,62	-0,51	-0,54	-0,57	-0,56	-0,59	-0,64
	II	mín	-0,59	-0,61	-0,63	-0,61	-0,64	-0,65	-0,57	-0,60	-0,62
		máx	-0,58	-0,58	-0,61	-0,52	-0,53	-0,56	-0,57	-0,57	-0,60
	III	mín	-0,61	-0,61	-0,64	-0,59	-0,63	-0,65	-0,55	-0,58	-0,60
		máx	-0,57	-0,58	-0,47	-0,50	-0,52	-0,52	-0,53	-0,54	-0,57
330°	I	mín	-0,62	-0,64	-0,65	-0,59	-0,66	-0,69	-0,58	-0,63	-0,63
		máx	-0,60	-0,62	-0,63	-0,52	-0,54	-0,61	-0,57	-0,59	-0,62
	II	mín	-0,63	-0,64	-0,65	-0,62	-0,65	-0,66	-0,57	-0,58	-0,61
		máx	-0,61	-0,62	-0,64	-0,51	-0,53	-0,59	-0,56	-0,57	-0,59
	III	mín	-0,62	-0,61	-0,64	-0,59	-0,63	-0,64	-0,55	-0,58	-0,60
		máx	-0,60	-0,60	-0,47	-0,50	-0,53	-0,54	-0,53	-0,53	-0,56
345°	I	mín	-0,65	-0,68	-0,67	-0,59	-0,65	-0,71	-0,63	-0,65	-0,61
		máx	-0,62	-0,65	-0,65	-0,53	-0,55	-0,65	-0,62	-0,65	-0,60
	II	mín	-0,67	-0,64	-0,66	-0,60	-0,62	-0,66	-0,58	-0,59	-0,62
		máx	-0,62	-0,62	-0,64	-0,49	-0,53	-0,62	-0,57	-0,57	-0,60
	III	mín	-0,65	-0,63	-0,64	-0,58	-0,62	-0,64	-0,56	-0,58	-0,60
		máx	-0,60	-0,62	-0,48	-0,51	-0,52	-0,52	-0,54	-0,55	-0,54

Coeficientes adimensionais de pressão média, externos, para a face 1 dos modelos I, II e III.

Ângulo de Incidência	Modelo	Região								
		Canto superior esquerdo	Topo	Canto superior direito	Lateral esquerda	Centro	Lateral direita	Canto inferior esquerdo	Base	Canto inferior direito
0°	I	0,16	0,20	0,17	0,24	0,30	0,33	0,25	0,28	0,14
	II	0,13	0,18	0,17	0,17	0,23	0,28	0,17	0,24	0,18
	III	0,16	0,15	0,16	0,18	0,19	0,23	0,17	0,19	0,16
15°	I	0,15	0,22	0,06	0,23	0,30	0,08	0,21	0,21	0,08
	II	0,18	0,15	0,06	0,15	0,26	0,10	0,16	0,23	0,08
	III	0,12	0,11	0,09	0,16	0,22	0,11	0,15	0,18	0,11
30°	I	0,24	0,06	0,07	0,25	0,08	0,07	0,22	0,08	0,07
	II	0,22	0,06	0,05	0,23	0,09	0,06	0,21	0,09	0,06
	III	0,19	0,07	0,08	0,22	0,13	0,12	0,17	0,12	0,10
45°	I	0,11	0,09	0,06	0,15	0,11	0,07	0,12	0,10	0,07
	II	0,11	0,11	0,07	0,15	0,11	0,06	0,14	0,10	0,06
	III	0,11	0,08	0,08	0,15	0,14	0,12	0,13	0,11	0,11
60°	I	0,12	0,11	0,08	0,15	0,13	0,08	0,13	0,11	0,08
	II	0,12	0,11	0,08	0,18	0,13	0,08	0,15	0,11	0,08
	III	0,12	0,10	0,08	0,16	0,14	0,11	0,12	0,12	0,11
75°	I	0,11	0,11	0,10	0,15	0,15	0,11	0,13	0,13	0,10
	II	0,13	0,11	0,10	0,18	0,14	0,11	0,16	0,13	0,11
	III	0,13	0,11	0,10	0,18	0,14	0,15	0,14	0,13	0,16
90°	I	0,11	0,12	0,11	0,15	0,14	0,15	0,14	0,12	0,13
	II	0,12	0,12	0,12	0,16	0,14	0,16	0,15	0,13	0,15
	III	0,12	0,11	0,12	0,18	0,15	0,25	0,13	0,13	0,27
105°	I	0,10	0,12	0,12	0,12	0,15	0,15	0,11	0,12	0,13
	II	0,10	0,12	0,13	0,12	0,15	0,18	0,12	0,13	0,16
	III	0,11	0,11	0,13	0,15	0,16	0,20	0,11	0,13	0,23
120°	I	0,08	0,10	0,12	0,08	0,13	0,15	0,08	0,12	0,13
	II	0,08	0,12	0,12	0,09	0,14	0,19	0,08	0,12	0,17
	III	0,10	0,10	0,12	0,13	0,16	0,27	0,11	0,12	0,24
135°	I	0,06	0,09	0,13	0,07	0,11	0,14	0,07	0,10	0,13
	II	0,07	0,11	0,11	0,07	0,11	0,15	0,07	0,10	0,14
	III	0,09	0,08	0,12	0,10	0,17	0,21	0,09	0,13	0,21
150°	I	0,06	0,06	0,25	0,06	0,08	0,28	0,07	0,08	0,19
	II	0,05	0,07	0,19	0,06	0,08	0,23	0,06	0,07	0,20
	III	0,08	0,06	0,19	0,10	0,15	0,28	0,08	0,14	0,26
165°	I	0,06	0,23	0,24	0,08	0,30	0,24	0,09	0,23	0,24
	II	0,05	0,16	0,15	0,07	0,24	0,17	0,07	0,21	0,16
	III	0,09	0,11	0,13	0,11	0,19	0,23	0,08	0,16	0,18

Coefficientes adimensionais de pressão r.m.s., externos, para a face 1 dos modelos I, II e III.

Ângulo de Incidência	Modelo	Região								
		Canto superior esquerdo	Topo	Canto superior direito	Lateral esquerda	Centro	Lateral direita	Canto inferior esquerdo	Base	Canto inferior direito
180°	I	0,187	0,207	0,160	0,299	0,287	0,246	0,136	0,268	0,235
	II	0,141	0,170	0,158	0,277	0,220	0,172	0,157	0,235	0,162
	III	0,158	0,146	0,148	0,207	0,203	0,228	0,147	0,221	0,206
195°	I	0,123	0,098	0,084	0,252	0,137	0,109	0,172	0,164	0,142
	II	0,114	0,083	0,071	0,187	0,107	0,089	0,162	0,125	0,100
	III	0,098	0,086	0,076	0,154	0,121	0,131	0,124	0,128	0,124
210°	I	0,094	0,083	0,077	0,145	0,094	0,085	0,127	0,101	0,094
	II	0,082	0,074	0,073	0,116	0,084	0,085	0,116	0,089	0,084
	III	0,073	0,067	0,074	0,100	0,082	0,111	0,092	0,087	0,095
225°	I	0,085	0,080	0,067	0,126	0,090	0,081	0,108	0,093	0,086
	II	0,080	0,076	0,070	0,115	0,085	0,085	0,109	0,088	0,083
	III	0,074	0,068	0,066	0,094	0,077	0,096	0,083	0,081	0,086
240°	I	0,079	0,082	0,072	0,108	0,087	0,081	0,095	0,088	0,089
	II	0,070	0,069	0,064	0,091	0,077	0,078	0,089	0,077	0,075
	III	0,073	0,069	0,063	0,082	0,072	0,090	0,075	0,074	0,083
255°	I	0,106	0,101	0,104	0,139	0,152	0,144	0,145	0,168	0,149
	II	0,104	0,098	0,097	0,126	0,123	0,125	0,138	0,127	0,124
	III	0,091	0,093	0,085	0,108	0,099	0,134	0,107	0,110	0,114
270°	I	0,157	0,149	0,158	0,232	0,217	0,245	0,219	0,220	0,218
	II	0,135	0,127	0,133	0,211	0,203	0,222	0,207	0,232	0,212
	III	0,123	0,116	0,127	0,177	0,156	0,209	0,160	0,171	0,185
285°	I	0,109	0,112	0,119	0,147	0,155	0,149	0,150	0,169	0,157
	II	0,104	0,109	0,116	0,143	0,140	0,151	0,146	0,156	0,159
	III	0,091	0,095	0,102	0,120	0,110	0,156	0,118	0,129	0,164
300°	I	0,073	0,086	0,085	0,084	0,086	0,095	0,085	0,090	0,098
	II	0,067	0,072	0,072	0,079	0,082	0,093	0,078	0,080	0,089
	III	0,067	0,072	0,073	0,076	0,079	0,092	0,073	0,079	0,094
315°	I	0,073	0,089	0,091	0,090	0,097	0,134	0,091	0,103	0,122
	II	0,068	0,076	0,078	0,086	0,087	0,111	0,083	0,088	0,108
	III	0,065	0,071	0,072	0,076	0,083	0,108	0,075	0,088	0,111
330°	I	0,080	0,087	0,098	0,088	0,098	0,153	0,092	0,106	0,127
	II	0,069	0,074	0,081	0,085	0,091	0,122	0,087	0,092	0,118
	III	0,066	0,069	0,071	0,075	0,085	0,104	0,076	0,088	0,102
345°	I	0,079	0,103	0,129	0,113	0,144	0,246	0,143	0,169	0,168
	II	0,074	0,087	0,110	0,092	0,116	0,173	0,103	0,128	0,159
	III	0,074	0,082	0,091	0,091	0,118	0,163	0,100	0,130	0,153

Coeficientes adimensionais de pressão r.m.s., externos, para a face 1 dos modelos I, II e III.

			Região								
Ângulo de Incidência	Modelo	Cp pico	Canto superior esquerdo	Topo	Canto superior direito	Lateral esquerda	Centro	Lateral direita	Canto inferior esquerdo	Base	Canto inferior direito
0°	I	mín	-1,61	-1,88	-1,30	-2,69	-2,14	-2,32	-2,64	-2,43	-1,04
		máx	-0,31	0,11	0,26	-0,20	0,18	0,35	-0,13	0,22	0,10
	II	mín	-1,61	-1,68	-1,46	-1,34	-2,32	-1,90	-1,42	-2,07	-1,55
		máx	-0,36	-0,03	0,13	-0,22	0,03	0,21	-0,27	0,12	0,16
	III	mín	-1,48	-1,36	-1,28	-1,50	-1,71	-1,77	-1,39	-1,82	-1,51
		máx	-0,24	-0,09	0,03	-0,22	0,01	0,11	-0,26	0,21	0,00
15°	I	mín	-2,15	-1,29	-0,59	-2,14	-1,74	-0,77	-1,58	-1,49	-0,74
		máx	-0,38	0,18	0,04	0,19	0,20	0,03	0,14	0,10	-0,03
	II	mín	-1,86	-1,33	-0,58	-1,41	-1,51	-1,09	-1,25	-1,30	-0,74
		máx	-0,37	-0,04	-0,11	-0,13	0,11	0,01	0,06	0,08	0,11
	III	mín	-1,60	-1,21	-1,07	-1,61	-1,36	-1,10	-1,23	-1,17	-1,20
		máx	-0,30	-0,19	-0,12	-0,08	0,36	-0,03	-0,06	0,23	-0,08
30°	I	mín	-1,09	-0,42	-0,43	-1,02	-0,50	-0,59	-0,87	-0,50	-0,55
		máx	0,55	0,27	-0,07	0,73	0,43	-0,05	0,67	0,39	-0,09
	II	mín	-1,40	-0,36	-0,51	-0,87	-0,61	-0,67	-0,77	-0,57	-0,69
		máx	0,37	0,24	-0,01	0,58	0,35	-0,03	0,53	0,31	-0,02
	III	mín	-1,01	-0,51	-1,01	-0,84	-0,54	-1,25	-0,64	-0,72	-1,17
		máx	0,41	0,06	-0,04	0,67	0,76	-0,01	0,45	0,54	-0,11
45°	I	mín	-0,32	-0,31	-0,35	-0,05	-0,14	-0,51	-0,14	-0,19	-0,48
		máx	0,98	0,69	0,09	1,12	0,82	0,15	0,78	0,59	0,05
	II	mín	-0,08	-0,28	-0,40	-0,08	-0,17	-0,55	-0,13	-0,25	-0,61
		máx	1,01	0,66	0,23	1,04	0,78	0,19	0,80	0,57	0,10
	III	mín	-0,18	-0,30	-0,93	-0,01	-0,27	-1,44	-0,05	-0,59	-1,49
		máx	1,06	0,48	0,24	1,09	1,03	0,18	0,80	0,74	0,00
60°	I	mín	-0,22	-0,26	-0,39	-0,08	-0,05	-0,46	-0,15	-0,06	-0,36
		máx	1,10	0,99	0,38	1,17	1,08	0,43	0,81	0,81	0,27
	II	mín	0,09	-0,09	-0,25	-0,16	-0,10	-0,60	-0,15	-0,12	-0,58
		máx	1,13	0,94	0,49	1,17	1,02	0,39	0,94	0,74	0,38
	III	mín	0,11	-0,15	-0,81	-0,07	-0,19	-1,27	-0,10	-0,49	-1,31
		máx	1,08	0,74	0,46	1,14	1,16	0,41	0,86	0,87	0,20
75°	I	mín	-0,01	-0,07	-0,18	-0,28	-0,05	-0,43	-0,29	-0,05	-0,49
		máx	0,98	1,00	0,71	1,05	1,16	0,74	0,78	0,80	0,46
	II	mín	0,06	-0,01	-0,14	-0,45	-0,02	-0,58	-0,44	-0,09	-0,62
		máx	1,10	1,06	0,72	1,04	1,15	0,64	0,83	0,84	0,53
	III	mín	-0,28	-0,05	-0,69	-0,65	-0,14	-1,75	-0,28	-0,33	-1,80
		máx	1,08	0,86	0,70	1,18	1,13	0,66	0,84	0,91	0,38
90°	I	mín	-0,25	-0,16	-0,33	-0,55	0,00	-0,55	-0,59	-0,02	-0,54
		máx	0,84	1,07	0,85	0,90	1,24	0,91	0,63	0,78	0,62
	II	mín	-0,07	-0,01	-0,03	-0,54	-0,08	-0,66	-0,63	-0,11	-0,65
		máx	0,95	1,07	0,91	0,93	1,17	0,87	0,66	0,78	0,70
	III	mín	-0,56	-0,03	-0,55	-0,96	-0,10	-1,93	-0,48	-0,24	-2,05
		máx	1,04	0,93	0,86	1,12	1,22	0,90	0,87	0,90	0,47
105°	I	mín	-0,21	-0,11	0,01	-0,52	-0,05	-0,33	-0,53	-0,06	-0,27
		máx	0,67	1,03	1,03	0,70	1,14	1,05	0,50	0,89	0,66
	II	mín	-0,19	-0,04	-0,09	-0,60	-0,02	-0,59	-0,53	-0,09	-0,49
		máx	0,69	1,08	1,10	0,76	1,14	1,04	0,47	0,81	0,77
	III	mín	-0,61	-0,02	-0,22	-1,02	-0,04	-1,95	-0,43	-0,14	-1,70
		máx	0,96	0,97	1,01	1,08	1,13	1,03	0,64	0,82	0,64

Coefficientes adimensionais de pressão de pico, externos, para a face 1 dos modelos I, II e III.

Ângulo de Incidência	Modelo	Cp pico	Região								
			Canto superior esquerdo	Topo	Canto superior direito	Lateral esquerda	Centro	Lateral direita	Canto inferior esquerdo	Base	Canto inferior direito
120°	I	mín	-0,30	-0,19	0,04	-0,46	-0,03	-0,06	-0,41	-0,10	-0,10
		máx	0,45	0,84	1,08	0,43	1,05	1,14	0,35	0,79	0,80
	II	mín	-0,30	-0,06	0,18	-0,42	-0,04	-0,41	-0,46	-0,10	-0,32
		máx	0,45	0,98	1,13	0,47	1,08	1,12	0,39	0,76	0,87
	III	mín	-0,76	-0,13	0,17	-0,96	-0,12	-1,34	-0,53	-0,13	-1,11
		máx	0,87	0,82	1,07	0,89	1,18	1,16	0,45	0,91	0,88
135°	I	mín	-0,54	-0,34	-0,18	-0,61	-0,16	-0,09	-0,77	-0,19	-0,12
		máx	0,18	0,63	1,05	0,19	0,81	1,19	0,13	0,60	0,81
	II	mín	-0,40	-0,25	-0,01	-0,55	-0,16	-0,06	-0,53	-0,18	-0,01
		máx	0,21	0,72	1,03	0,22	0,80	1,08	0,12	0,64	0,84
	III	mín	-0,97	-0,29	-0,09	-0,99	-0,18	-0,44	-0,79	-0,28	-0,62
		máx	0,65	0,49	1,11	0,62	1,02	1,12	0,20	0,87	0,93
150°	I	mín	-0,43	-0,42	-1,16	-0,65	-0,53	-1,14	-0,59	-0,44	-0,79
		máx	0,01	0,21	0,43	-0,04	0,45	0,72	-0,05	0,35	0,60
	II	mín	-0,45	-0,37	-0,92	-0,59	-0,28	-0,68	-0,66	-0,32	-0,56
		máx	0,00	0,35	0,58	0,01	0,44	0,67	-0,09	0,30	0,59
	III	mín	-0,99	-0,42	-0,86	-1,10	-0,50	-1,09	-0,87	-0,52	-0,86
		máx	0,29	0,12	0,83	0,34	0,82	1,05	0,01	0,66	0,90
165°	I	mín	-0,63	-1,39	-2,37	-0,81	-1,78	-2,11	-0,68	-1,28	-1,97
		máx	-0,11	0,19	-0,15	0,05	0,41	0,12	-0,04	0,08	0,14
	II	mín	-0,56	-1,13	-1,66	-0,74	-1,27	-1,40	-0,72	-1,26	-1,15
		máx	-0,11	0,01	-0,14	0,03	0,11	0,14	-0,03	0,06	0,07
	III	mín	-1,03	-1,03	-1,46	-0,97	-1,16	-1,63	-0,81	-1,07	-1,38
		máx	0,16	-0,15	-0,11	0,25	0,41	0,65	0,00	0,37	0,46
180°	I	mín	-1,55	-1,88	-1,79	-2,14	-2,24	-2,65	-1,32	-2,31	-2,05
		máx	0,28	0,23	-0,32	0,23	0,22	-0,21	0,09	0,13	-0,25
	II	mín	-1,28	-1,64	-1,69	-1,88	-1,86	-1,41	-1,39	-1,82	-1,40
		máx	0,02	-0,08	-0,43	0,17	-0,01	-0,18	0,09	0,09	-0,27
	III	mín	-1,50	-1,36	-1,53	-1,87	-1,68	-1,81	-1,05	-1,67	-1,85
		máx	-0,09	0,01	-0,36	0,22	0,18	0,21	0,06	0,29	0,10
195°	I	mín	-1,48	-1,17	-0,95	-2,68	-1,72	-1,42	-1,75	-1,98	-1,62
		máx	-0,12	-0,12	-0,28	0,00	-0,16	-0,25	-0,14	-0,15	-0,26
	II	mín	-1,18	-1,11	-0,92	-2,01	-1,71	-0,95	-1,69	-1,62	-1,16
		máx	-0,21	-0,25	-0,36	-0,15	-0,22	-0,26	-0,15	-0,20	-0,28
	III	mín	-1,28	-1,18	-0,95	-1,59	-1,34	-1,22	-1,23	-1,59	-1,20
		máx	-0,25	-0,21	-0,28	-0,12	-0,21	0,01	-0,16	-0,22	-0,09
210°	I	mín	-1,24	-1,09	-0,98	-2,49	-1,52	-1,06	-2,40	-1,59	-1,07
		máx	-0,32	-0,32	-0,30	-0,14	-0,28	-0,21	-0,27	-0,33	-0,30
	II	mín	-1,01	-0,98	-0,99	-1,84	-1,11	-0,96	-1,88	-1,30	-1,02
		máx	-0,35	-0,35	-0,33	-0,21	-0,30	-0,24	-0,23	-0,31	-0,26
	III	mín	-1,01	-0,85	-0,90	-1,31	-1,03	-1,16	-1,47	-1,42	-1,06
		máx	-0,35	-0,26	-0,29	-0,26	-0,22	-0,19	-0,30	-0,30	-0,29
225°	I	mín	-1,23	-1,08	-0,93	-1,72	-1,39	-1,02	-2,36	-1,34	-1,05
		máx	-0,24	-0,26	-0,31	-0,11	-0,29	-0,21	-0,21	-0,33	-0,30
	II	mín	-0,91	-0,88	-0,83	-1,44	-1,00	-0,94	-1,67	-1,26	-0,93
		máx	-0,29	-0,31	-0,34	-0,08	-0,30	-0,24	-0,24	-0,29	-0,26
	III	mín	-0,97	-0,87	-0,80	-1,22	-1,11	-1,12	-1,24	-1,09	-1,07
		máx	-0,31	-0,36	-0,25	-0,23	-0,22	-0,24	-0,19	-0,25	-0,26

Coefficientes adimensionais de pressão de pico, externos, para a face 1 dos modelos I, II e III.

Ângulo de Incidência	Modelo	Cp pico	Região								
			Canto superior esquerdo	Topo	Canto superior direito	Lateral esquerda	Centro	Lateral direita	Canto inferior esquerdo	Base	Canto inferior direito
240°	I	mín	-1,11	-1,43	-0,85	-1,59	-1,23	-1,06	-1,79	-1,61	-1,18
		máx	-0,27	-0,22	-0,25	-0,12	-0,22	-0,16	-0,32	-0,30	-0,29
	II	mín	-0,86	-0,82	-0,81	-1,40	-1,04	-1,03	-1,42	-1,05	-0,97
		máx	-0,27	-0,26	-0,32	-0,13	-0,26	-0,24	-0,23	-0,30	-0,26
	III	mín	-0,84	-0,80	-0,80	-1,14	-1,02	-1,12	-1,12	-1,31	-1,05
		máx	-0,31	-0,29	-0,23	-0,18	-0,26	-0,20	-0,25	-0,23	-0,27
255°	I	mín	-1,56	-1,69	-1,23	-1,82	-2,20	-2,00	-1,77	-2,43	-1,95
		máx	-0,28	-0,26	-0,23	-0,09	-0,07	-0,03	0,04	-0,16	-0,09
	II	mín	-1,27	-1,12	-1,01	-1,46	-1,45	-1,20	-1,49	-1,58	-1,29
		máx	-0,27	-0,22	-0,23	-0,08	-0,13	-0,15	-0,23	-0,23	-0,17
	III	mín	-1,12	-0,99	-0,92	-1,25	-1,34	-1,43	-1,34	-1,50	-1,45
		máx	-0,26	-0,26	-0,22	-0,13	-0,17	-0,10	-0,20	0,00	-0,24
270°	I	mín	-1,69	-1,78	-1,75	-2,39	-2,58	-2,43	-2,11	-2,70	-2,69
		máx	-0,17	-0,17	-0,21	0,10	-0,03	-0,03	-0,15	-0,15	-0,12
	II	mín	-1,33	-1,40	-1,47	-2,19	-2,47	-2,13	-1,98	-3,04	-2,05
		máx	-0,23	-0,29	-0,27	-0,06	-0,03	-0,11	-0,17	-0,09	-0,16
	III	mín	-1,40	-1,23	-1,36	-1,91	-1,81	-2,26	-1,67	-2,25	-1,86
		máx	-0,29	-0,22	-0,22	-0,13	-0,05	-0,13	-0,14	-0,07	-0,11
285°	I	mín	-1,16	-1,53	-1,29	-1,83	-1,87	-1,70	-1,56	-2,18	-1,76
		máx	-0,24	-0,26	-0,26	-0,08	-0,12	-0,06	-0,10	-0,09	-0,11
	II	mín	-1,11	-1,18	-1,29	-1,34	-1,87	-1,89	-1,32	-2,19	-1,68
		máx	-0,22	-0,22	-0,25	-0,09	-0,11	-0,05	-0,22	-0,21	-0,11
	III	mín	-1,07	-1,15	-1,19	-1,17	-1,29	-1,95	-1,37	-1,72	-1,79
		máx	-0,22	-0,19	-0,22	-0,12	-0,03	-0,11	-0,25	-0,21	-0,14
300°	I	mín	-0,85	-1,13	-1,05	-0,93	-1,13	-1,19	-0,99	-1,16	-1,37
		máx	-0,27	-0,26	-0,31	-0,21	-0,12	-0,10	-0,25	-0,27	-0,29
	II	mín	-0,89	-0,90	-1,02	-1,05	-1,36	-1,21	-0,97	-1,28	-1,29
		máx	-0,28	-0,29	-0,30	-0,23	-0,26	-0,12	-0,24	-0,25	-0,27
	III	mín	-0,85	-0,90	-0,90	-0,89	-1,01	-1,44	-0,88	-1,18	-1,48
		máx	-0,30	-0,27	-0,22	-0,22	-0,13	-0,14	-0,32	-0,25	-0,29
315°	I	mín	-0,90	-1,07	-1,14	-1,03	-1,30	-1,90	-1,27	-1,59	-1,81
		máx	-0,37	-0,28	-0,29	-0,21	-0,29	-0,07	-0,27	-0,33	-0,25
	II	mín	-0,90	-0,91	-0,96	-0,94	-1,15	-1,93	-0,94	-1,32	-2,00
		máx	-0,32	-0,32	-0,23	-0,23	-0,31	-0,11	-0,31	-0,24	-0,25
	III	mín	-0,87	-0,89	-0,95	-0,92	-1,39	-1,65	-0,89	-1,31	-1,92
		máx	-0,37	-0,33	-0,18	-0,24	-0,23	-0,11	-0,29	-0,27	-0,20
330°	I	mín	-0,91	-1,05	-1,11	-1,02	-1,26	-2,19	-1,11	-1,37	-1,95
		máx	-0,36	-0,35	-0,30	-0,17	-0,26	-0,15	-0,33	-0,33	-0,29
	II	mín	-0,91	-1,05	-1,22	-0,95	-1,10	-1,56	-0,95	-1,05	-1,60
		máx	-0,32	-0,36	-0,29	-0,22	-0,29	-0,19	-0,31	-0,31	-0,25
	III	mín	-0,88	-0,89	-0,95	-0,92	-1,18	-1,36	-0,98	-1,33	-1,56
		máx	-0,39	-0,37	-0,25	-0,25	-0,27	-0,11	-0,30	-0,24	-0,25
345°	I	mín	-0,96	-1,54	-1,45	-1,31	-1,90	-3,07	-1,51	-1,92	-1,66
		máx	-0,30	-0,28	-0,17	-0,22	0,02	-0,09	-0,28	-0,13	-0,07
	II	mín	-0,92	-1,30	-1,19	-1,02	-1,67	-2,34	-1,09	-1,95	-2,04
		máx	-0,34	-0,31	-0,15	-0,22	-0,15	-0,20	-0,25	-0,24	-0,19
	III	mín	-1,03	-1,14	-1,38	-1,01	-1,47	-1,86	-1,05	-1,51	-1,62
		máx	-0,36	-0,21	-0,15	-0,23	-0,22	-0,14	-0,26	-0,15	-0,16

Coeficientes adimensionais de pressão de pico, externos, para a face 1 dos modelos I, II e III.

Ângulo de Incidência	Modelo	Cp med	Região								
			Canto superior esquerdo	Topo	Canto superior direito	Lateral esquerda	Centro	Lateral direita	Canto inferior esquerdo	Base	Canto inferior direito
0°	I	mín	-0,51	-0,49	-0,51	-0,53	-0,48	-0,54	-0,37	-0,39	-0,38
		máx	-0,49	-0,46	-0,49	-0,31	-0,39	-0,42	-0,37	-0,36	-0,37
	II	mín	-0,55	-0,53	-0,53	-0,54	-0,51	-0,54	-0,45	-0,45	-0,46
		máx	-0,52	-0,50	-0,52	-0,45	-0,38	-0,46	-0,41	-0,41	-0,40
	III (face)	mín	-0,55	-0,53	-0,56	-0,55	-0,51	-0,62	-0,46	-0,46	-0,47
		máx	-0,51	-0,49	-0,51	-0,45	-0,39	-0,45	-0,42	-0,41	-0,41
III (brises)	mín	-0,54	-0,52	-0,53	-0,57	-0,52	-0,55	-0,50	-0,49	-0,49	
	máx	-0,52	-0,51	-0,53	-0,46	-0,44	-0,49	-0,47	-0,44	-0,45	
15°	I	mín	-0,50	-0,54	-0,59	-0,54	-0,55	-0,60	-0,49	-0,53	-0,56
		máx	-0,48	-0,48	-0,56	-0,42	-0,43	-0,47	-0,49	-0,52	-0,54
	II	mín	-0,52	-0,55	-0,57	-0,52	-0,53	-0,55	-0,46	-0,49	-0,51
		máx	-0,47	-0,48	-0,54	-0,38	-0,35	-0,42	-0,45	-0,47	-0,49
	III (face)	mín	-0,53	-0,55	-0,59	-0,52	-0,53	-0,60	-0,50	-0,53	-0,56
		máx	-0,48	-0,48	-0,56	-0,39	-0,37	-0,44	-0,48	-0,49	-0,52
III (brises)	mín	-0,52	-0,53	-0,56	-0,52	-0,53	-0,54	-0,49	-0,50	-0,52	
	máx	-0,50	-0,50	-0,55	-0,43	-0,43	-0,44	-0,48	-0,49	-0,52	
30°	I	mín	-0,56	-0,59	-0,63	-0,61	-0,64	-0,67	-0,55	-0,60	-0,63
		máx	-0,53	-0,54	-0,60	-0,48	-0,49	-0,52	-0,55	-0,58	-0,61
	II	mín	-0,58	-0,60	-0,61	-0,59	-0,61	-0,62	-0,54	-0,56	-0,57
		máx	-0,53	-0,55	-0,57	-0,45	-0,42	-0,48	-0,52	-0,53	-0,56
	III (face)	mín	-0,58	-0,59	-0,61	-0,58	-0,60	-0,62	-0,57	-0,57	-0,59
		máx	-0,54	-0,54	-0,58	-0,44	-0,42	-0,49	-0,53	-0,54	-0,58
III (brises)	mín	-0,56	-0,57	-0,59	-0,57	-0,58	-0,60	-0,54	-0,56	-0,58	
	máx	-0,54	-0,54	-0,57	-0,48	-0,48	-0,50	-0,53	-0,53	-0,56	
45°	I	mín	-0,62	-0,65	-0,66	-0,64	-0,67	-0,70	-0,58	-0,63	-0,65
		máx	-0,61	-0,60	-0,64	-0,52	-0,54	-0,59	-0,58	-0,61	-0,64
	II	mín	-0,63	-0,65	-0,65	-0,63	-0,65	-0,65	-0,57	-0,60	-0,61
		máx	-0,59	-0,61	-0,63	-0,50	-0,48	-0,54	-0,55	-0,56	-0,59
	III (face)	mín	-0,63	-0,63	-0,64	-0,61	-0,63	-0,64	-0,60	-0,60	-0,61
		máx	-0,59	-0,60	-0,62	-0,49	-0,47	-0,54	-0,56	-0,57	-0,60
III (brises)	mín	-0,61	-0,61	-0,62	-0,61	-0,62	-0,63	-0,56	-0,58	-0,59	
	máx	-0,60	-0,60	-0,61	-0,51	-0,52	-0,53	-0,55	-0,55	-0,58	
60°	I	mín	-0,66	-0,66	-0,67	-0,63	-0,66	-0,70	-0,58	-0,62	-0,64
		máx	-0,64	-0,65	-0,66	-0,54	-0,55	-0,62	-0,58	-0,60	-0,62
	II	mín	-0,67	-0,66	-0,67	-0,62	-0,65	-0,65	-0,58	-0,59	-0,60
		máx	-0,63	-0,64	-0,66	-0,51	-0,50	-0,57	-0,56	-0,57	-0,59
	III (face)	mín	-0,67	-0,67	-0,66	-0,63	-0,65	-0,65	-0,60	-0,60	-0,61
		máx	-0,63	-0,63	-0,65	-0,51	-0,50	-0,57	-0,57	-0,57	-0,59
III (brises)	mín	-0,69	-0,65	-0,65	-0,62	-0,63	-0,65	-0,57	-0,58	-0,59	
	máx	-0,64	-0,64	-0,64	-0,53	-0,54	-0,57	-0,56	-0,56	-0,58	
75°	I	mín	-0,73	-0,75	-0,78	-0,69	-0,74	-0,79	-0,68	-0,71	-0,75
		máx	-0,71	-0,72	-0,77	-0,62	-0,64	-0,75	-0,68	-0,70	-0,72
	II	mín	-0,72	-0,71	-0,74	-0,65	-0,69	-0,70	-0,63	-0,65	-0,68
		máx	-0,67	-0,68	-0,72	-0,55	-0,56	-0,65	-0,62	-0,63	-0,65
	III (face)	mín	-0,71	-0,71	-0,71	-0,67	-0,68	-0,70	-0,64	-0,65	-0,67
		máx	-0,67	-0,67	-0,70	-0,56	-0,56	-0,61	-0,63	-0,62	-0,65
III (brises)	mín	-0,78	-0,70	-0,70	-0,65	-0,67	-0,68	-0,62	-0,62	-0,64	
	máx	-0,68	-0,68	-0,68	-0,59	-0,59	-0,62	-0,62	-0,60	-0,63	

Coeficientes adimensionais de pressão média, externos, para a face 2 dos modelos I, II e III.

Ângulo de Incidência	Modelo	Cp med	Região								
			Canto superior esquerdo	Topo	Canto superior direito	Lateral esquerda	Centro	Lateral direita	Canto inferior esquerdo	Base	Canto inferior direito
90°	I	mín	-0,85	-0,87	-0,87	-0,87	-0,92	-0,97	-0,87	-0,90	-0,78
		máx	-0,83	-0,85	-0,83	-0,81	-0,83	-0,85	-0,86	-0,82	-0,76
	II	mín	-0,81	-0,82	-0,84	-0,77	-0,80	-0,85	-0,77	-0,79	-0,79
		máx	-0,78	-0,78	-0,81	-0,69	-0,69	-0,78	-0,76	-0,75	-0,71
	III (face)	mín	-0,79	-0,82	-0,82	-0,79	-0,81	-0,83	-0,76	-0,77	-0,76
		máx	-0,78	-0,78	-0,80	-0,68	-0,67	-0,71	-0,75	-0,72	-0,72
III (brises)	mín	-0,98	-0,76	-0,75	-0,80	-0,75	-0,77	-0,76	-0,72	-0,72	
	máx	-0,78	-0,74	-0,75	-0,71	-0,70	-0,73	-0,73	-0,70	-0,67	
105°	I	mín	-1,82	-1,16	-0,44	-1,14	-1,18	-0,68	-0,95	-0,89	-0,54
		máx	-1,47	-0,39	-0,38	-1,02	-0,66	-0,55	-0,94	-0,61	-0,54
	II	mín	-1,25	-1,08	-0,66	-0,93	-0,98	-0,79	-0,86	-0,87	-0,62
		máx	-1,00	-0,67	-0,55	-0,83	-0,77	-0,62	-0,82	-0,65	-0,54
	III (face)	mín	-1,11	-1,07	-0,67	-1,11	-1,07	-0,82	-0,90	-0,88	-0,67
		máx	-0,96	-0,63	-0,52	-0,83	-0,70	-0,57	-0,85	-0,61	-0,57
III (brises)	mín	-1,20	-0,85	-0,67	-1,07	-0,92	-0,70	-0,88	-0,79	-0,66	
	máx	-0,99	-0,70	-0,63	-0,83	-0,67	-0,63	-0,86	-0,68	-0,57	
120°	I	mín	-0,77	-0,20	-0,33	-0,52	-0,24	-0,39	-0,46	-0,27	-0,40
		máx	-0,57	0,02	-0,26	-0,48	0,02	-0,26	-0,42	-0,21	-0,34
	II	mín	-0,86	-0,28	-0,39	-0,58	-0,39	-0,43	-0,52	-0,38	-0,42
		máx	-0,50	-0,03	-0,20	-0,48	-0,09	-0,22	-0,47	-0,23	-0,31
	III (face)	mín	-0,45	-0,30	-0,53	-0,45	-0,39	-0,53	-0,43	-0,39	-0,57
		máx	-0,27	-0,06	-0,27	-0,18	0,01	-0,24	-0,35	-0,21	-0,42
III (brises)	mín	-0,70	-0,32	-0,48	-0,73	-0,37	-0,54	-0,53	-0,34	-0,45	
	máx	-0,34	-0,18	-0,46	-0,29	-0,17	-0,40	-0,46	-0,27	-0,41	
135°	I	mín	0,29	0,00	-0,22	0,25	0,01	-0,28	0,14	-0,05	-0,31
		máx	0,60	0,38	-0,07	0,66	0,47	-0,08	0,17	0,12	-0,21
	II	mín	0,46	0,01	-0,30	0,22	-0,01	-0,37	0,10	-0,09	-0,38
		máx	0,62	0,47	-0,01	0,59	0,46	-0,02	0,20	0,15	-0,18
	III (face)	mín	0,10	-0,08	-0,58	0,18	-0,18	-0,54	0,08	-0,22	-0,57
		máx	0,62	0,46	-0,07	0,59	0,48	-0,03	0,23	0,11	-0,31
III (brises)	mín	0,33	-0,03	-0,34	0,18	-0,14	-0,47	0,06	-0,09	-0,33	
	máx	0,54	0,25	-0,27	0,57	0,36	-0,20	0,13	0,11	-0,32	
150°	I	mín	0,60	0,23	-0,02	0,42	0,21	-0,12	0,30	0,12	-0,17
		máx	0,77	0,66	0,17	0,81	0,75	0,17	0,31	0,28	-0,06
	II	mín	0,82	0,29	-0,15	0,45	0,18	-0,24	0,30	0,06	-0,28
		máx	0,86	0,75	0,21	0,83	0,74	0,21	0,39	0,32	-0,05
	III (face)	mín	0,42	0,18	-0,60	0,31	0,01	-0,49	0,19	-0,08	-0,56
		máx	0,85	0,74	0,16	0,79	0,73	0,17	0,41	0,29	-0,18
III (brises)	mín	0,68	0,28	-0,14	0,40	0,07	-0,31	0,26	0,10	-0,21	
	máx	0,82	0,58	0,02	0,81	0,70	0,10	0,35	0,29	-0,14	
165°	I	mín	0,43	0,40	0,17	0,24	0,35	0,02	0,15	0,24	-0,05
		máx	0,68	0,74	0,40	0,69	0,81	0,41	0,24	0,32	0,07
	II	mín	0,60	0,54	0,07	0,32	0,31	-0,07	0,19	0,17	-0,16
		máx	0,80	0,84	0,44	0,72	0,82	0,42	0,32	0,37	0,09
	III (face)	mín	0,04	0,45	-0,47	-0,11	0,20	-0,45	0,00	0,05	-0,51
		máx	0,79	0,85	0,39	0,72	0,82	0,36	0,29	0,34	-0,02
III (brises)	mín	0,64	0,55	0,14	0,34	0,24	-0,12	0,16	0,26	-0,07	
	máx	0,78	0,77	0,33	0,79	0,78	0,39	0,30	0,33	0,05	

Coeficientes adimensionais de pressão média, externos, para a face 2 dos modelos I, II e III.

Ângulo de Incidência	Modelo	Cp med	Região								
			Canto superior esquerdo	Topo	Canto superior direito	Lateral esquerda	Centro	Lateral direita	Canto inferior esquerdo	Base	Canto inferior direito
180°	I	mín	0,27	0,46	0,30	0,10	0,40	0,09	0,01	0,28	0,02
		máx	0,55	0,72	0,55	0,56	0,82	0,54	0,14	0,31	0,14
	II	mín	0,42	0,64	0,37	0,12	0,39	0,06	0,04	0,24	-0,06
		máx	0,66	0,85	0,63	0,57	0,84	0,58	0,21	0,37	0,21
	III (face)	mín	-0,13	0,57	-0,34	-0,39	0,31	-0,50	-0,19	0,12	-0,55
		máx	0,60	0,82	0,57	0,59	0,79	0,47	0,13	0,36	0,08
	III (brises)	mín	0,48	0,57	0,35	0,20	0,35	0,03	0,02	0,29	0,02
		máx	0,71	0,81	0,54	0,70	0,82	0,57	0,18	0,35	0,17
195°	I	mín	0,13	0,38	0,48	0,03	0,34	0,25	-0,05	0,24	0,17
		máx	0,39	0,74	0,70	0,40	0,80	0,69	0,06	0,31	0,25
	II	mín	0,21	0,56	0,63	0,01	0,31	0,23	-0,04	0,21	0,10
		máx	0,46	0,85	0,78	0,42	0,84	0,70	0,12	0,36	0,31
	III (face)	mín	-0,19	0,50	-0,16	-0,33	0,30	-0,37	-0,21	0,06	-0,37
		máx	0,43	0,85	0,74	0,47	0,84	0,60	0,05	0,35	0,23
	III (brises)	mín	0,28	0,55	0,57	0,08	0,42	0,22	-0,04	0,21	0,14
		máx	0,56	0,78	0,72	0,54	0,80	0,72	0,06	0,38	0,28
210°	I	mín	-0,07	0,21	0,57	-0,11	0,22	0,43	-0,17	0,13	0,31
		máx	0,15	0,63	0,76	0,16	0,74	0,81	-0,06	0,30	0,33
	II	mín	-0,03	0,34	0,83	-0,12	0,20	0,45	-0,16	0,12	0,29
		máx	0,20	0,77	0,84	0,24	0,77	0,82	0,01	0,34	0,41
	III (face)	mín	-0,32	0,31	0,32	-0,33	0,15	0,11	-0,29	-0,10	0,05
		máx	0,20	0,81	0,86	0,26	0,79	0,77	-0,09	0,29	0,39
	III (brises)	mín	0,02	0,40	0,65	-0,13	0,27	0,38	-0,17	0,06	0,26
		máx	0,30	0,73	0,82	0,27	0,78	0,82	-0,13	0,34	0,34
225°	I	mín	-0,21	0,00	0,23	-0,24	0,03	0,29	-0,28	-0,03	0,17
		máx	-0,07	0,34	0,57	-0,07	0,45	0,62	-0,19	0,15	0,20
	II	mín	-0,19	0,05	0,57	-0,24	0,02	0,29	-0,28	-0,03	0,15
		máx	-0,03	0,49	0,72	0,05	0,52	0,69	-0,14	0,16	0,27
	III (face)	mín	-0,40	0,04	0,25	-0,42	-0,03	0,20	-0,36	-0,26	0,12
		máx	-0,06	0,48	0,71	0,02	0,52	0,65	-0,23	0,14	0,29
	III (brises)	mín	-0,25	0,09	0,27	-0,40	-0,02	0,19	-0,35	-0,18	0,12
		máx	-0,04	0,38	0,58	-0,05	0,46	0,59	-0,32	0,12	0,15
240°	I	mín	-0,34	-0,20	-0,81	-0,36	-0,25	-0,53	-0,39	-0,25	-0,47
		máx	-0,25	-0,03	-0,59	-0,25	0,01	-0,50	-0,33	-0,20	-0,41
	II	mín	-0,31	-0,13	-0,67	-0,33	-0,22	-0,43	-0,36	-0,26	-0,43
		máx	-0,21	0,05	-0,40	-0,12	0,03	-0,33	-0,26	-0,18	-0,36
	III (face)	mín	-0,48	-0,21	-0,45	-0,54	-0,31	-0,47	-0,43	-0,40	-0,35
		máx	-0,28	-0,02	-0,11	-0,17	0,05	-0,05	-0,37	-0,14	-0,25
	III (brises)	mín	-0,40	-0,23	-0,50	-0,51	-0,24	-0,50	-0,46	-0,34	-0,37
		máx	-0,28	-0,07	-0,25	-0,26	-0,07	-0,28	-0,41	-0,20	-0,32
255°	I	mín	-0,48	-1,19	-1,69	-0,68	-1,17	-1,12	-0,54	-0,88	-0,95
		máx	-0,44	-0,48	-1,40	-0,52	-0,65	-1,03	-0,53	-0,60	-0,95
	II	mín	-0,53	-1,14	-1,33	-0,74	-1,04	-1,00	-0,58	-0,89	-0,89
		máx	-0,46	-0,52	-1,08	-0,58	-0,72	-0,89	-0,51	-0,60	-0,83
	III (face)	mín	-0,64	-1,10	-1,39	-0,75	-1,01	-1,77	-0,62	-0,84	-0,95
		máx	-0,54	-0,57	-0,97	-0,57	-0,66	-0,87	-0,56	-0,59	-0,79
	III (brises)	mín	-0,59	-1,00	-1,31	-0,69	-0,95	-1,04	-0,58	-0,80	-0,93
		máx	-0,54	-0,73	-0,99	-0,53	-0,67	-0,88	-0,52	-0,59	-0,86

Coeficientes adimensionais de pressão média, externos, para a face 2 dos modelos I, II e III.

Ângulo de Incidência	Modelo	Cp med	Região								
			Canto superior esquerdo	Topo	Canto superior direito	Lateral esquerda	Centro	Lateral direita	Canto inferior esquerdo	Base	Canto inferior direito
270°	I	mín	-0,85	-0,83	-0,81	-0,93	-0,88	-0,84	-0,75	-0,87	-0,84
		máx	-0,81	-0,81	-0,80	-0,81	-0,80	-0,78	-0,74	-0,81	-0,84
	II	mín	-0,89	-0,86	-0,85	-0,88	-0,82	-0,79	-0,79	-0,81	-0,79
		máx	-0,83	-0,82	-0,81	-0,80	-0,68	-0,73	-0,70	-0,75	-0,78
	III (face)	mín	-0,82	-0,80	-0,80	-0,81	-0,80	-1,13	-0,75	-0,78	-0,84
		máx	-0,78	-0,77	-0,77	-0,69	-0,68	-0,72	-0,72	-0,72	-0,77
	III (brises)	mín	-0,81	-0,82	-0,89	-0,81	-0,80	-0,83	-0,73	-0,79	-0,81
		máx	-0,80	-0,79	-0,79	-0,73	-0,74	-0,74	-0,66	-0,74	-0,80
285°	I	mín	-0,75	-0,72	-0,70	-0,76	-0,71	-0,66	-0,73	-0,71	-0,67
		máx	-0,74	-0,69	-0,68	-0,71	-0,62	-0,59	-0,72	-0,69	-0,67
	II	mín	-0,77	-0,75	-0,76	-0,76	-0,73	-0,68	-0,71	-0,68	-0,67
		máx	-0,76	-0,72	-0,72	-0,67	-0,55	-0,59	-0,68	-0,67	-0,66
	III (face)	mín	-0,71	-0,71	-0,71	-0,69	-0,68	-0,83	-0,66	-0,65	-0,65
		máx	-0,70	-0,68	-0,67	-0,57	-0,54	-0,57	-0,65	-0,63	-0,64
	III (brises)	mín	-0,73	-0,71	-0,77	-0,70	-0,68	-0,66	-0,66	-0,65	-0,65
		máx	-0,70	-0,68	-0,66	-0,64	-0,60	-0,60	-0,64	-0,63	-0,64
300°	I	mín	-0,68	-0,67	-0,66	-0,71	-0,67	-0,63	-0,63	-0,63	-0,59
		máx	-0,66	-0,65	-0,64	-0,55	-0,56	-0,54	-0,63	-0,60	-0,58
	II	mín	-0,67	-0,66	-0,68	-0,66	-0,65	-0,61	-0,59	-0,58	-0,57
		máx	-0,65	-0,64	-0,64	-0,56	-0,48	-0,52	-0,58	-0,57	-0,56
	III (face)	mín	-0,64	-0,65	-0,66	-0,63	-0,62	-0,69	-0,59	-0,58	-0,58
		máx	-0,64	-0,63	-0,62	-0,51	-0,48	-0,52	-0,58	-0,57	-0,56
	III (brises)	mín	-0,66	-0,65	-0,71	-0,64	-0,62	-0,60	-0,60	-0,59	-0,59
		máx	-0,64	-0,63	-0,60	-0,57	-0,54	-0,53	-0,59	-0,57	-0,57
315°	I	mín	-0,66	-0,64	-0,60	-0,70	-0,67	-0,64	-0,65	-0,64	-0,58
		máx	-0,63	-0,59	-0,58	-0,48	-0,53	-0,51	-0,64	-0,60	-0,58
	II	mín	-0,66	-0,65	-0,63	-0,67	-0,64	-0,62	-0,59	-0,58	-0,57
		máx	-0,62	-0,62	-0,62	-0,53	-0,46	-0,50	-0,58	-0,56	-0,55
	III (face)	mín	-0,65	-0,64	-0,63	-0,65	-0,64	-0,63	-0,60	-0,59	-0,57
		máx	-0,63	-0,61	-0,61	-0,52	-0,47	-0,52	-0,58	-0,56	-0,55
	III (brises)	mín	-0,66	-0,64	-0,64	-0,66	-0,65	-0,63	-0,61	-0,60	-0,59
		máx	-0,65	-0,63	-0,62	-0,56	-0,54	-0,53	-0,60	-0,57	-0,56
330°	I	mín	-0,62	-0,57	-0,54	-0,65	-0,62	-0,59	-0,61	-0,60	-0,55
		máx	-0,59	-0,53	-0,51	-0,43	-0,49	-0,47	-0,60	-0,57	-0,55
	II	mín	-0,62	-0,61	-0,59	-0,63	-0,61	-0,59	-0,57	-0,56	-0,54
		máx	-0,57	-0,55	-0,56	-0,47	-0,42	-0,46	-0,56	-0,53	-0,52
	III (face)	mín	-0,61	-0,59	-0,57	-0,61	-0,60	-0,58	-0,57	-0,56	-0,54
		máx	-0,58	-0,54	-0,54	-0,47	-0,42	-0,47	-0,55	-0,53	-0,52
	III (brises)	mín	-0,60	-0,58	-0,56	-0,62	-0,60	-0,58	-0,57	-0,56	-0,56
		máx	-0,58	-0,55	-0,55	-0,50	-0,49	-0,49	-0,57	-0,54	-0,52
345°	I	mín	-0,60	-0,54	-0,50	-0,59	-0,55	-0,53	-0,54	-0,52	-0,47
		máx	-0,57	-0,48	-0,47	-0,35	-0,43	-0,42	-0,53	-0,50	-0,47
	II	mín	-0,56	-0,55	-0,52	-0,55	-0,53	-0,52	-0,52	-0,50	-0,48
		máx	-0,54	-0,49	-0,49	-0,42	-0,36	-0,40	-0,51	-0,49	-0,47
	III (face)	mín	-0,58	-0,54	-0,52	-0,56	-0,53	-0,52	-0,53	-0,53	-0,49
		máx	-0,56	-0,49	-0,49	-0,44	-0,37	-0,42	-0,52	-0,49	-0,48
	III (brises)	mín	-0,56	-0,53	-0,51	-0,57	-0,54	-0,53	-0,53	-0,51	-0,51
		máx	-0,54	-0,50	-0,50	-0,44	-0,43	-0,43	-0,52	-0,50	-0,48

Coeficientes adimensionais de pressão média, externos, para a face 2 dos modelos I, II e III.

Ângulo de Incidência	Modelo	Região								
		Canto superior esquerdo	Topo	Canto superior direito	Lateral esquerda	Centro	Lateral direita	Canto inferior esquerdo	Base	Canto inferior direito
0°	I	0,155	0,131	0,139	0,166	0,128	0,173	0,123	0,117	0,123
	II	0,123	0,118	0,123	0,143	0,149	0,157	0,141	0,169	0,145
	III (face)	0,115	0,109	0,118	0,131	0,129	0,171	0,132	0,147	0,141
	II (brise)	0,118	0,107	0,117	0,161	0,142	0,154	0,141	0,141	0,153
15°	I	0,089	0,088	0,093	0,103	0,109	0,113	0,122	0,142	0,119
	II	0,077	0,079	0,083	0,092	0,095	0,099	0,112	0,127	0,117
	III (face)	0,082	0,080	0,088	0,097	0,098	0,114	0,110	0,123	0,128
	II (brise)	0,080	0,082	0,082	0,099	0,094	0,096	0,099	0,117	0,112
30°	I	0,089	0,094	0,095	0,099	0,111	0,142	0,105	0,121	0,143
	II	0,083	0,084	0,084	0,093	0,099	0,113	0,093	0,101	0,116
	III (face)	0,084	0,080	0,078	0,091	0,099	0,115	0,097	0,104	0,118
	II (brise)	0,077	0,078	0,077	0,085	0,087	0,091	0,083	0,089	0,094
45°	I	0,077	0,083	0,087	0,094	0,110	0,145	0,103	0,118	0,139
	II	0,080	0,078	0,078	0,089	0,096	0,116	0,089	0,097	0,115
	III (face)	0,079	0,072	0,072	0,087	0,091	0,100	0,094	0,093	0,100
	II (brise)	0,070	0,069	0,072	0,082	0,087	0,094	0,079	0,085	0,091
60°	I	0,084	0,079	0,084	0,088	0,101	0,139	0,096	0,107	0,124
	II	0,073	0,070	0,072	0,082	0,085	0,103	0,084	0,089	0,099
	III (face)	0,079	0,073	0,072	0,086	0,087	0,101	0,090	0,091	0,098
	II (brise)	0,078	0,066	0,067	0,072	0,076	0,084	0,071	0,076	0,082
75°	I	0,115	0,124	0,153	0,179	0,211	0,294	0,208	0,234	0,267
	II	0,102	0,101	0,124	0,138	0,152	0,183	0,149	0,163	0,191
	III (face)	0,094	0,095	0,107	0,127	0,134	0,160	0,133	0,146	0,161
	II (brise)	0,115	0,088	0,098	0,116	0,128	0,141	0,115	0,128	0,136
90°	I	0,192	0,211	0,214	0,338	0,359	0,365	0,359	0,372	0,283
	II	0,141	0,160	0,183	0,236	0,251	0,267	0,246	0,276	0,245
	III (face)	0,138	0,151	0,171	0,200	0,210	0,226	0,202	0,212	0,198
	II (brise)	0,250	0,123	0,130	0,186	0,182	0,192	0,192	0,201	0,171
105°	I	0,494	0,278	0,084	0,269	0,322	0,241	0,268	0,267	0,168
	II	0,207	0,190	0,134	0,223	0,248	0,250	0,188	0,234	0,179
	III (face)	0,145	0,154	0,105	0,201	0,230	0,237	0,189	0,216	0,152
	II (brise)	0,218	0,144	0,103	0,218	0,194	0,152	0,181	0,188	0,129
120°	I	0,279	0,114	0,055	0,241	0,278	0,062	0,215	0,197	0,063
	II	0,222	0,208	0,054	0,209	0,260	0,065	0,187	0,240	0,065
	III (face)	0,150	0,124	0,066	0,217	0,195	0,076	0,235	0,199	0,078
	II (brise)	0,299	0,073	0,052	0,223	0,184	0,070	0,186	0,171	0,060
135°	I	0,133	0,093	0,060	0,210	0,115	0,069	0,194	0,097	0,067
	II	0,160	0,102	0,063	0,214	0,114	0,073	0,209	0,106	0,069
	III (face)	0,130	0,092	0,066	0,191	0,111	0,074	0,183	0,097	0,076
	II (brise)	0,128	0,084	0,053	0,205	0,112	0,068	0,159	0,099	0,064
150°	I	0,118	0,105	0,073	0,145	0,135	0,087	0,123	0,110	0,077
	II	0,114	0,126	0,075	0,155	0,141	0,090	0,138	0,119	0,084
	III (face)	0,118	0,121	0,069	0,160	0,140	0,079	0,146	0,115	0,083
	II (brise)	0,116	0,097	0,065	0,148	0,132	0,081	0,126	0,116	0,079
165°	I	0,119	0,115	0,090	0,143	0,148	0,115	0,117	0,119	0,101
	II	0,116	0,127	0,097	0,156	0,154	0,123	0,145	0,137	0,115
	III (face)	0,117	0,122	0,080	0,157	0,162	0,103	0,143	0,150	0,095
	II (brise)	0,116	0,112	0,087	0,142	0,135	0,110	0,123	0,124	0,104

Coefficientes adimensionais de pressão r.m.s., externos, para a face 2 dos modelos I, II e III.

Ângulo de Incidência	Modelo	Região								
		Canto superior esquerdo	Topo	Canto superior direito	Lateral esquerda	Centro	Lateral direita	Canto inferior esquerdo	Base	Canto inferior direito
180°	I	0,110	0,115	0,105	0,140	0,152	0,139	0,116	0,127	0,114
	II	0,118	0,121	0,121	0,143	0,151	0,147	0,131	0,139	0,139
	III (face)	0,096	0,128	0,099	0,140	0,161	0,210	0,139	0,151	0,148
	II (brise)	0,107	0,113	0,101	0,139	0,143	0,138	0,117	0,123	0,120
195°	I	0,096	0,113	0,113	0,115	0,144	0,142	0,106	0,122	0,117
	II	0,102	0,126	0,116	0,130	0,163	0,163	0,117	0,144	0,148
	III (face)	0,082	0,122	0,109	0,115	0,167	0,168	0,112	0,156	0,138
	II (brise)	0,094	0,108	0,109	0,119	0,141	0,148	0,103	0,125	0,127
210°	I	0,083	0,109	0,119	0,087	0,138	0,148	0,083	0,122	0,128
	II	0,081	0,128	0,119	0,094	0,144	0,152	0,090	0,133	0,140
	III (face)	0,064	0,112	0,108	0,086	0,154	0,149	0,076	0,128	0,143
	II (brise)	0,080	0,102	0,111	0,098	0,138	0,144	0,087	0,122	0,126
225°	I	0,061	0,086	0,154	0,067	0,111	0,233	0,064	0,096	0,211
	II	0,067	0,106	0,137	0,075	0,122	0,204	0,069	0,113	0,205
	III (face)	0,053	0,093	0,144	0,071	0,121	0,192	0,062	0,094	0,182
	II (brise)	0,061	0,087	0,107	0,072	0,119	0,186	0,067	0,100	0,144
240°	I	0,056	0,136	0,252	0,059	0,280	0,242	0,063	0,204	0,218
	II	0,049	0,165	0,231	0,062	0,244	0,211	0,059	0,223	0,203
	III (face)	0,054	0,147	0,142	0,070	0,208	0,268	0,065	0,179	0,229
	II (brise)	0,050	0,093	0,229	0,062	0,170	0,220	0,060	0,149	0,199
255°	I	0,092	0,265	0,561	0,240	0,308	0,257	0,159	0,262	0,248
	II	0,123	0,189	0,175	0,249	0,250	0,201	0,198	0,245	0,180
	III (face)	0,108	0,167	0,181	0,216	0,197	0,273	0,129	0,188	0,221
	II (brise)	0,103	0,146	0,154	0,172	0,198	0,188	0,106	0,169	0,214
270°	I	0,209	0,197	0,167	0,350	0,317	0,295	0,253	0,329	0,305
	II	0,194	0,168	0,149	0,282	0,267	0,250	0,253	0,294	0,262
	III (face)	0,169	0,150	0,188	0,248	0,219	0,279	0,206	0,236	0,276
	II (brise)	0,154	0,146	0,168	0,224	0,231	0,232	0,193	0,239	0,284
285°	I	0,142	0,112	0,103	0,294	0,216	0,190	0,276	0,233	0,212
	II	0,141	0,123	0,118	0,210	0,169	0,157	0,210	0,182	0,173
	III (face)	0,112	0,101	0,100	0,164	0,146	0,176	0,165	0,160	0,174
	II (brise)	0,115	0,098	0,117	0,157	0,128	0,133	0,141	0,143	0,143
300°	I	0,089	0,081	0,080	0,127	0,096	0,086	0,122	0,107	0,093
	II	0,075	0,074	0,074	0,091	0,079	0,078	0,091	0,083	0,081
	III (face)	0,072	0,074	0,076	0,085	0,079	0,137	0,087	0,081	0,081
	II (brise)	0,072	0,067	0,085	0,092	0,078	0,083	0,089	0,084	0,083
315°	I	0,095	0,088	0,076	0,140	0,107	0,096	0,133	0,116	0,100
	II	0,075	0,075	0,073	0,109	0,094	0,089	0,108	0,095	0,090
	III (face)	0,073	0,071	0,070	0,096	0,089	0,113	0,098	0,091	0,088
	II (brise)	0,078	0,072	0,072	0,114	0,092	0,088	0,107	0,097	0,091
330°	I	0,093	0,088	0,083	0,113	0,101	0,093	0,119	0,105	0,094
	II	0,075	0,076	0,073	0,108	0,095	0,091	0,106	0,098	0,093
	III (face)	0,071	0,073	0,071	0,089	0,087	0,086	0,090	0,085	0,084
	II (brise)	0,071	0,070	0,064	0,097	0,089	0,087	0,096	0,091	0,089
345°	I	0,106	0,092	0,089	0,112	0,113	0,106	0,123	0,144	0,122
	II	0,083	0,081	0,079	0,091	0,090	0,087	0,103	0,109	0,098
	III (face)	0,081	0,082	0,082	0,089	0,091	0,211	0,108	0,114	0,102
	II (brise)	0,078	0,077	0,072	0,093	0,090	0,087	0,098	0,111	0,100

Coefficientes adimensionais de pressão r.m.s., externos, para a face 2 dos modelos I, II e III.

Ângulo de Incidência	Modelo	Cp pico	Região								
			Canto superior esquerdo	Topo	Canto superior direito	Lateral esquerda	Centro	Lateral direita	Canto inferior esquerdo	Base	Canto inferior direito
0°	I	mín	-1,23	-1,22	-1,18	-1,63	-1,46	-1,55	-1,36	-1,72	-1,06
		máx	0,02	0,01	-0,02	0,05	0,00	0,05	-0,05	-0,01	-0,03
	II	mín	-1,16	-1,09	-1,03	-1,31	-1,52	-1,52	-1,26	-1,77	-1,39
		máx	-0,17	-0,14	-0,11	-0,05	-0,07	0,05	-0,05	-0,01	-0,06
	III (face)	mín	-1,09	-1,17	-1,09	-1,20	-1,24	-1,27	-1,11	-1,31	-1,19
		máx	-0,13	-0,16	-0,11	-0,03	-0,08	-0,06	-0,06	-0,06	-0,06
III (brises)	mín	-1,03	-1,10	-1,02	-1,52	-1,46	-1,30	-1,22	-1,31	-1,24	
	máx	-0,13	-0,14	-0,14	-0,02	-0,12	-0,10	-0,14	-0,10	-0,11	
15°	I	mín	-0,86	-0,89	-1,17	-1,11	-1,58	-1,24	-1,46	-2,07	-1,43
		máx	-0,19	-0,19	-0,19	-0,10	-0,11	-0,08	-0,10	-0,18	-0,21
	II	mín	-0,82	-0,87	-0,91	-0,87	-0,99	-1,06	-1,05	-1,35	-1,43
		máx	-0,16	-0,18	-0,25	-0,12	-0,12	-0,08	-0,12	-0,12	-0,16
	III (face)	mín	-0,91	-0,93	-1,15	-1,10	-1,06	-1,18	-1,06	-1,32	-1,30
		máx	-0,22	-0,19	-0,21	-0,12	-0,11	-0,16	-0,20	-0,07	-0,12
III (brises)	mín	-0,88	-0,88	-0,96	-1,16	-1,08	-1,04	-1,21	-1,32	-1,27	
	máx	-0,25	-0,23	-0,25	-0,10	-0,14	-0,15	-0,24	-0,19	-0,21	
30°	I	mín	-0,95	-1,09	-1,07	-1,05	-1,51	-2,20	-1,33	-2,00	-2,49
		máx	-0,22	-0,21	-0,22	-0,13	-0,15	-0,05	-0,22	-0,25	-0,15
	II	mín	-0,94	-0,94	-0,99	-1,06	-1,46	-1,82	-1,34	-1,76	-1,95
		máx	-0,28	-0,24	-0,22	-0,17	-0,13	-0,05	-0,24	-0,26	-0,21
	III (face)	mín	-1,00	-0,94	-0,91	-1,18	-1,56	-1,88	-1,31	-1,70	-1,65
		máx	-0,29	-0,28	-0,31	-0,20	-0,14	-0,16	-0,24	-0,28	-0,25
III (brises)	mín	-0,85	-0,84	-0,92	-1,01	-1,08	-1,09	-1,06	-1,23	-1,26	
	máx	-0,27	-0,30	-0,30	-0,16	-0,21	-0,16	-0,28	-0,29	-0,27	
45°	I	mín	-1,01	-1,32	-1,16	-1,02	-1,35	-2,32	-1,15	-1,60	-2,23
		máx	-0,30	-0,29	-0,29	-0,13	-0,22	-0,04	-0,28	-0,30	-0,25
	II	mín	-0,96	-0,94	-0,99	-0,98	-1,28	-1,96	-1,05	-1,33	-2,42
		máx	-0,33	-0,35	-0,33	-0,24	-0,24	-0,12	-0,28	-0,31	-0,27
	III (face)	mín	-0,94	-0,91	-0,89	-1,15	-1,35	-1,64	-1,27	-1,70	-1,91
		máx	-0,33	-0,35	-0,32	-0,23	-0,23	-0,14	-0,25	-0,30	-0,19
III (brises)	mín	-0,86	-0,87	-0,91	-1,06	-1,38	-1,57	-1,04	-1,27	-1,31	
	máx	-0,38	-0,36	-0,31	-0,25	-0,27	-0,19	-0,27	-0,25	-0,24	
60°	I	mín	-1,11	-1,18	-1,37	-1,21	-1,48	-2,44	-1,21	-1,54	-1,84
		máx	-0,35	-0,36	-0,24	-0,22	-0,27	-0,30	-0,32	-0,35	-0,36
	II	mín	-0,89	-0,90	-0,95	-1,15	-1,27	-1,74	-1,17	-1,34	-1,86
		máx	-0,35	-0,40	-0,38	-0,23	-0,25	-0,28	-0,30	-0,32	-0,24
	III (face)	mín	-0,92	-0,96	-1,01	-1,05	-1,11	-1,46	-1,13	-1,31	-1,60
		máx	-0,36	-0,36	-0,38	-0,27	-0,25	-0,28	-0,29	-0,30	-0,28
III (brises)	mín	-1,01	-0,86	-0,87	-0,88	-1,04	-1,24	-0,89	-1,03	-1,12	
	máx	-0,39	-0,40	-0,40	-0,28	-0,32	-0,31	-0,32	-0,28	-0,29	
75°	I	mín	-1,27	-1,49	-1,96	-1,70	-2,16	-3,40	-1,99	-2,36	-2,89
		máx	-0,34	-0,34	-0,37	-0,21	-0,24	-0,19	-0,21	-0,23	0,04
	II	mín	-1,11	-1,22	-1,48	-1,65	-1,69	-2,59	-1,60	-1,91	-2,46
		máx	-0,37	-0,37	-0,38	-0,21	-0,26	-0,21	-0,29	-0,26	-0,21
	III (face)	mín	-1,06	-1,17	-1,30	-1,48	-1,50	-1,89	-1,55	-1,62	-1,90
		máx	-0,36	-0,30	-0,31	-0,27	-0,28	-0,30	-0,25	-0,24	-0,25
III (brises)	mín	-1,45	-1,15	-1,29	-1,30	-1,44	-1,69	-1,26	-1,52	-2,05	
	máx	-0,39	-0,40	-0,36	-0,28	-0,32	-0,32	-0,32	-0,31	-0,20	

Coeficientes adimensionais de pressão de pico, externos, para a face 2 dos modelos I, II e III.

Ângulo de Incidência	Modelo	Cp pico	Região								
			Canto superior esquerdo	Topo	Canto superior direito	Lateral esquerda	Centro	Lateral direita	Canto inferior esquerdo	Base	Canto inferior direito
90°	I	mín	-3,27	-2,09	-2,20	-2,59	-3,34	-3,60	-3,18	-2,98	-2,93
		máx	-0,35	-0,16	0,01	-0,15	-0,09	0,22	-0,10	-0,02	0,06
	II	mín	-1,62	-1,73	-1,82	-1,94	-2,26	-2,58	-2,01	-2,34	-2,10
		máx	-0,38	-0,28	-0,25	-0,21	-0,18	-0,12	-0,21	-0,17	-0,09
	III (face)	mín	-1,65	-1,82	-1,68	-2,30	-2,11	-2,17	-1,96	-2,02	-1,85
		máx	-0,41	-0,39	-0,30	-0,28	-0,21	-0,19	-0,24	-0,18	-0,16
III (brises)	mín	-2,27	-1,43	-1,37	-2,08	-1,94	-2,48	-1,71	-2,00	-1,63	
	máx	-0,38	-0,36	-0,31	-0,28	-0,25	-0,19	-0,28	-0,23	-0,25	
105°	I	mín	-3,45	-1,89	-1,07	-2,43	-2,45	-1,70	-2,53	-2,08	-1,66
		máx	0,02	0,01	-0,13	-0,20	0,14	0,19	-0,21	0,02	-0,07
	II	mín	-1,95	-1,81	-1,15	-1,81	-2,00	-2,07	-1,58	-1,93	-1,55
		máx	-0,45	-0,21	-0,07	-0,20	-0,10	-0,01	-0,25	-0,07	-0,05
	III (face)	mín	-1,66	-1,62	-1,19	-1,74	-1,79	-1,74	-1,85	-1,64	-1,44
		máx	-0,36	-0,12	-0,13	-0,26	-0,02	-0,05	-0,36	-0,14	-0,11
III (brises)	mín	-2,22	-1,45	-1,15	-1,89	-1,67	-1,45	-1,79	-1,68	-1,26	
	máx	-0,27	-0,17	-0,20	-0,21	-0,18	-0,18	-0,30	-0,23	-0,18	
120°	I	mín	-1,52	-0,91	-0,55	-1,55	-1,28	-0,64	-1,23	-1,11	-0,70
		máx	0,37	0,22	-0,04	0,45	0,42	-0,04	0,37	0,22	-0,13
	II	mín	-1,46	-1,19	-0,63	-1,17	-1,23	-0,82	-1,10	-1,24	-0,80
		máx	0,19	0,23	-0,01	0,36	0,25	-0,03	0,30	0,18	-0,09
	III (face)	mín	-0,86	-0,80	-0,77	-1,02	-1,04	-0,85	-1,09	-0,99	-0,95
		máx	0,26	0,21	-0,11	0,34	0,37	-0,08	0,37	0,20	-0,21
III (brises)	mín	-1,88	-0,62	-0,68	-1,42	-0,98	-0,82	-1,15	-0,97	-0,70	
	máx	0,20	0,06	-0,29	0,39	0,18	-0,22	0,14	0,11	-0,22	
135°	I	mín	-0,74	-0,33	-0,50	-0,52	-0,25	-0,57	-0,62	-0,25	-0,62
		máx	0,94	0,64	0,12	1,05	0,79	0,19	0,76	0,59	0,08
	II	mín	-0,25	-0,29	-0,57	-0,55	-0,24	-0,68	-0,57	-0,27	-0,67
		máx	0,95	0,71	0,19	0,98	0,74	0,21	0,85	0,60	0,19
	III (face)	mín	-0,30	-0,35	-0,80	-0,35	-0,45	-0,84	-0,43	-0,48	-0,93
		máx	0,96	0,70	0,10	0,99	0,75	0,15	0,76	0,45	-0,09
III (brises)	mín	-0,42	-0,31	-0,54	-0,50	-0,38	-0,74	-0,58	-0,31	-0,58	
	máx	0,93	0,54	-0,09	0,98	0,66	0,01	0,57	0,43	-0,09	
150°	I	mín	0,03	-0,15	-0,40	0,04	-0,13	-0,44	-0,05	-0,21	-0,51
		máx	1,08	0,97	0,42	1,20	1,08	0,47	0,79	0,73	0,25
	II	mín	0,21	-0,05	-0,45	-0,01	-0,15	-0,57	-0,08	-0,18	-0,60
		máx	1,19	1,01	0,42	1,15	1,01	0,43	0,87	0,83	0,27
	III (face)	mín	-0,06	-0,13	-0,84	-0,07	-0,21	-0,82	-0,08	-0,31	-0,95
		máx	1,12	1,00	0,35	1,12	1,06	0,38	0,93	0,72	0,13
III (brises)	mín	0,06	-0,20	-0,43	0,01	-0,21	-0,56	-0,12	-0,14	-0,45	
	máx	1,12	0,82	0,27	1,09	1,00	0,35	0,84	0,73	0,19	
165°	I	mín	-0,06	-0,05	-0,25	-0,17	-0,06	-0,35	-0,19	-0,05	-0,42
		máx	1,03	1,05	0,65	1,03	1,18	0,80	0,86	0,92	0,50
	II	mín	0,11	0,03	-0,34	-0,28	-0,10	-0,52	-0,21	-0,12	-0,54
		máx	1,12	1,12	0,74	1,06	1,13	0,67	0,91	0,92	0,54
	III (face)	mín	-0,35	-0,03	-0,71	-0,47	-0,14	-0,85	-0,32	-0,27	-0,94
		máx	1,10	1,13	0,63	1,01	1,17	0,69	0,93	0,92	0,39
III (brises)	mín	0,11	0,09	-0,24	-0,08	-0,13	-0,43	-0,09	-0,02	-0,36	
	máx	1,08	1,11	0,56	1,09	1,10	0,71	0,80	0,77	0,49	

Coefficientes adimensionais de pressão de pico, externos, para a face 2 dos modelos I, II e III.

Ângulo de Incidência	Modelo	Cp pico	Região								
			Canto superior esquerdo	Topo	Canto superior direito	Lateral esquerda	Centro	Lateral direita	Canto inferior esquerdo	Base	Canto inferior direito
180°	I	mín	-0,21	-0,11	-0,27	-0,36	-0,01	-0,35	-0,34	-0,05	-0,35
		máx	0,80	1,06	0,83	0,89	1,20	0,85	0,69	0,83	0,63
	II	mín	-0,17	-0,03	-0,17	-0,40	-0,08	-0,53	-0,36	-0,09	-0,56
		máx	0,96	1,10	0,95	0,92	1,14	0,89	0,65	0,89	0,69
	III (face)	mín	-0,43	0,08	-0,85	-0,88	-0,13	-1,00	-0,59	-0,24	-1,11
		máx	0,98	1,13	0,84	0,86	1,15	0,83	0,69	0,96	0,66
III (brises)	mín	0,00	0,11	-0,06	-0,25	-0,12	-0,40	-0,25	-0,14	-0,31	
	máx	1,00	1,12	0,84	1,03	1,17	0,86	0,63	0,85	0,61	
195°	I	mín	-0,22	-0,04	-0,04	-0,34	-0,01	-0,21	-0,49	-0,04	-0,22
		máx	0,67	1,08	1,02	0,73	1,21	1,11	0,57	0,93	0,86
	II	mín	-0,17	0,03	-0,14	-0,41	-0,10	-0,32	-0,47	-0,11	-0,42
		máx	0,77	1,14	1,06	0,87	1,18	1,06	0,56	0,88	0,80
	III (face)	mín	-0,42	0,06	-0,60	-0,68	-0,17	-0,75	-0,55	-0,22	-0,81
		máx	0,69	1,15	1,03	0,71	1,13	0,98	0,49	0,94	0,93
III (brises)	mín	-0,15	0,02	0,08	-0,31	-0,04	-0,21	-0,35	-0,12	-0,15	
	máx	0,78	1,07	1,01	0,84	1,13	1,07	0,47	0,94	0,85	
210°	I	mín	-0,39	-0,19	-0,05	-0,37	-0,12	-0,02	-0,53	-0,14	-0,03
		máx	0,41	0,91	1,07	0,46	1,07	1,16	0,28	0,76	0,77
	II	mín	-0,31	-0,05	0,20	-0,35	-0,11	-0,05	-0,47	-0,14	-0,13
		máx	0,48	1,04	1,14	0,53	1,05	1,12	0,41	0,87	0,94
	III (face)	mín	-0,50	-0,01	-0,28	-0,60	-0,10	-0,33	-0,61	-0,40	-0,33
		máx	0,40	1,07	1,11	0,46	1,10	1,11	0,21	0,77	0,92
III (brises)	mín	-0,27	-0,05	0,09	-0,50	-0,08	-0,02	-0,44	-0,20	0,01	
	máx	0,56	0,99	1,08	0,55	1,06	1,10	0,23	0,84	0,81	
225°	I	mín	-0,48	-0,33	-0,65	-0,52	-0,33	-0,77	-0,56	-0,37	-0,76
		máx	0,15	0,56	0,91	0,17	0,74	1,05	0,05	0,60	0,86
	II	mín	-0,42	-0,26	-0,27	-0,46	-0,22	-0,41	-0,53	-0,28	-0,44
		máx	0,27	0,83	1,00	0,33	0,83	1,10	0,14	0,59	0,82
	III (face)	mín	-0,56	-0,25	-0,21	-0,66	-0,29	-0,39	-0,58	-0,50	-0,38
		máx	0,10	0,71	1,01	0,26	0,85	1,10	0,01	0,57	0,85
III (brises)	mín	-0,49	-0,25	-0,26	-0,64	-0,28	-0,41	-0,62	-0,41	-0,42	
	máx	0,14	0,62	0,83	0,18	0,74	0,92	-0,11	0,50	0,60	
240°	I	mín	-0,50	-0,97	-1,54	-0,74	-1,54	-1,78	-0,69	-1,14	-1,42
		máx	-0,04	0,24	0,34	-0,01	0,34	0,54	-0,10	0,20	0,32
	II	mín	-0,52	-0,91	-1,40	-0,66	-1,05	-1,17	-0,65	-1,10	-0,96
		máx	-0,05	0,29	0,36	0,10	0,37	0,46	-0,08	0,22	0,34
	III (face)	mín	-0,67	-0,92	-1,02	-0,77	-0,96	-1,48	-0,79	-0,90	-1,12
		máx	-0,13	0,29	0,32	0,10	0,36	0,45	-0,16	0,23	0,50
III (brises)	mín	-0,58	-0,59	-1,32	-0,74	-0,79	-1,13	-0,74	-0,79	-1,04	
	máx	-0,11	0,18	0,37	-0,05	0,32	0,43	-0,24	0,22	0,29	
255°	I	mín	-0,94	-1,86	-3,63	-2,02	-2,64	-2,55	-1,57	-2,39	-2,58
		máx	-0,08	-0,06	-0,37	0,29	0,13	-0,22	-0,06	0,00	-0,25
	II	mín	-1,12	-1,83	-2,04	-1,75	-1,91	-1,63	-1,73	-1,89	-1,54
		máx	-0,10	-0,10	-0,48	0,01	-0,08	-0,25	-0,05	-0,08	-0,29
	III (face)	mín	-1,08	-1,57	-2,12	-1,62	-1,55	-2,42	-1,44	-1,50	-1,88
		máx	-0,14	-0,06	-0,24	-0,06	-0,11	-0,23	-0,18	-0,14	-0,30
III (brises)	mín	-1,08	-1,47	-2,10	-1,46	-1,60	-1,82	-1,13	-1,37	-1,72	
	máx	-0,23	-0,29	-0,47	-0,05	-0,17	-0,33	-0,25	-0,21	-0,39	

Coefficientes adimensionais de pressão de pico, externos, para a face 2 dos modelos I, II e III.

Ângulo de Incidência	Modelo	Cp pico	Região								
			Canto superior esquerdo	Topo	Canto superior direito	Lateral esquerda	Centro	Lateral direita	Canto inferior esquerdo	Base	Canto inferior direito
270°	I	mín	-2,21	-2,40	-1,90	-3,49	-3,03	-2,86	-2,23	-3,13	-2,33
		máx	0,03	-0,32	-0,32	0,09	-0,10	-0,18	0,06	0,08	-0,16
	II	mín	-2,04	-1,72	-1,70	-2,60	-2,50	-2,06	-2,42	-2,57	-2,21
		máx	-0,14	-0,37	-0,44	-0,03	-0,16	-0,15	-0,10	-0,14	-0,13
	III (face)	mín	-1,64	-1,75	-1,78	-2,02	-1,91	-2,47	-1,94	-1,92	-2,29
		máx	-0,14	-0,18	-0,29	-0,14	-0,21	-0,25	-0,22	-0,20	-0,28
III (brises)	mín	-1,64	-1,65	-1,98	-2,09	-1,96	-1,92	-1,53	-2,05	-2,34	
	máx	-0,27	-0,37	-0,42	-0,12	-0,16	-0,27	-0,25	-0,21	-0,24	
285°	I	mín	-1,85	-1,43	-1,20	-3,09	-2,32	-1,77	-3,11	-2,38	-2,13
		máx	-0,37	-0,33	-0,34	0,04	-0,21	-0,21	-0,22	-0,24	-0,26
	II	mín	-1,74	-1,39	-1,26	-2,75	-1,89	-1,53	-2,48	-1,93	-1,78
		máx	-0,37	-0,34	-0,34	-0,18	-0,26	-0,22	-0,24	-0,23	-0,22
	III (face)	mín	-1,41	-1,28	-1,25	-2,26	-2,04	-2,56	-2,01	-2,38	-2,37
		máx	-0,35	-0,29	-0,35	-0,27	-0,28	-0,24	-0,27	-0,25	-0,24
III (brises)	mín	-1,39	-1,15	-1,34	-1,95	-1,43	-1,42	-1,33	-1,48	-1,52	
	máx	-0,36	-0,38	-0,37	-0,20	-0,28	-0,23	-0,34	-0,29	-0,31	
300°	I	mín	-1,39	-1,02	-0,94	-2,12	-1,52	-1,13	-2,26	-1,62	-1,27
		máx	-0,35	-0,35	-0,30	-0,26	-0,27	-0,19	-0,31	-0,35	-0,33
	II	mín	-0,97	-0,94	-0,95	-1,44	-1,03	-0,96	-1,34	-1,14	-1,00
		máx	-0,37	-0,32	-0,33	-0,26	-0,24	-0,22	-0,30	-0,29	-0,27
	III (face)	mín	-1,02	-0,91	-0,91	-1,22	-1,07	-1,09	-1,31	-1,09	-1,03
		máx	-0,37	-0,35	-0,34	-0,29	-0,28	-0,27	-0,34	-0,34	-0,33
III (brises)	mín	-0,93	-0,89	-1,03	-1,39	-1,09	-1,18	-1,39	-1,15	-1,08	
	máx	-0,39	-0,38	-0,37	-0,31	-0,26	-0,24	-0,37	-0,32	-0,34	
315°	I	mín	-1,34	-1,07	-0,92	-2,35	-1,63	-1,35	-2,75	-1,53	-1,27
		máx	-0,27	-0,30	-0,28	-0,18	-0,26	-0,16	-0,25	-0,28	-0,28
	II	mín	-1,01	-0,95	-0,91	-1,56	-1,13	-0,99	-1,75	-1,16	-1,07
		máx	-0,26	-0,32	-0,30	-0,19	-0,23	-0,22	-0,25	-0,26	-0,23
	III (face)	mín	-0,98	-1,03	-0,99	-1,38	-1,13	-0,99	-1,39	-1,13	-0,95
		máx	-0,35	-0,35	-0,38	-0,26	-0,25	-0,25	-0,13	-0,29	-0,28
III (brises)	mín	-1,00	-0,94	-0,92	-1,51	-1,01	-1,14	-1,40	-1,25	-1,00	
	máx	-0,33	-0,31	-0,30	-0,18	-0,23	-0,23	-0,20	-0,31	-0,30	
330°	I	mín	-1,07	-0,97	-0,87	-1,78	-1,21	-1,05	-1,88	-1,59	-1,11
		máx	-0,24	-0,24	-0,18	-0,12	-0,18	-0,14	-0,22	-0,29	-0,25
	II	mín	-0,95	-0,86	-0,82	-1,58	-1,32	-0,94	-1,72	-1,56	-1,01
		máx	-0,27	-0,28	-0,29	-0,15	-0,20	-0,18	-0,20	-0,22	-0,22
	III (face)	mín	-0,85	-0,84	-0,83	-1,26	-1,11	-0,94	-1,29	-1,17	-0,97
		máx	-0,33	-0,30	-0,31	-0,16	-0,16	-0,20	-0,27	-0,25	-0,20
III (brises)	mín	-0,87	-0,85	-0,84	-1,66	-1,22	-1,04	-1,84	-1,42	-1,18	
	máx	-0,28	-0,32	-0,32	-0,16	-0,20	-0,20	-0,30	-0,25	-0,22	
345°	I	mín	-1,31	-0,97	-0,81	-1,12	-1,46	-1,06	-1,62	-1,59	-1,44
		máx	-0,18	-0,08	-0,12	-0,06	-0,10	-0,11	-0,11	-0,12	-0,13
	II	mín	-1,03	-0,92	-0,83	-1,03	-0,99	-0,90	-1,09	-1,23	-0,94
		máx	-0,25	-0,23	-0,25	-0,03	-0,10	-0,12	-0,18	-0,16	-0,19
	III (face)	mín	-1,00	-0,97	-0,93	-1,11	-1,15	-0,98	-1,31	-1,42	-1,09
		máx	-0,20	-0,21	-0,22	-0,14	-0,10	-0,17	-0,18	-0,16	-0,16
III (brises)	mín	-1,13	-1,02	-0,96	-1,21	-1,05	-0,99	-1,13	-1,53	-1,13	
	máx	-0,26	-0,23	-0,25	-0,14	-0,18	-0,16	-0,24	-0,24	-0,22	

Coefficientes adimensionais de pressão de pico, externos, para a face 2 dos modelos I, II e III.