

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
ESCOLA DE ENGENHARIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL**

Vinício Bergozza

**TÚNEL DE VENTO E NBR 6123/1988: ANÁLISE
COMPARATIVA DOS EFEITOS DO VENTO SOBRE UM
CONJUNTO DE EDIFICAÇÕES**

Porto Alegre
Dezembro 2017

VINÍCIO BERGOZZA

**TÚNEL DE VENTO E NBR 6123/1988: ANÁLISE
COMPARATIVA DOS EFEITOS DO VENTO SOBRE UM
CONJUNTO DE EDIFICAÇÕES**

Trabalho de Diplomação a ser apresentado ao Departamento de Engenharia Civil da Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como parte dos requisitos para obtenção do título de Engenheiro Civil

Orientador: Acir Mércio Loredou-Souza

Porto Alegre
Dezembro 2017

VINÍCIO BERGOZZA

**TÚNEL DE VENTO E NBR 6123/1988: ANÁLISE
COMPARATIVA DOS EFEITOS DO VENTO SOBRE UM
CONJUNTO DE EDIFICAÇÕES**

Este Trabalho de Diplomação foi julgado adequado como pré-requisito para a obtenção do título de ENGENHEIRO CIVIL e aprovado em sua forma final pelo Professor Orientador e pelo Professor Relator da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Porto Alegre, dezembro de 2017

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

BANCA EXAMINADORA

Acir Mércio Loredou-Souza
(Universidade Federal do Rio Grande do Sul)
Ph.D. pela University of Western Ontario, Canadá

Gustavo Javier Zani Núñez
(Universidade Federal do Rio Grande do Sul)
Dr. pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Mario Gustavo Klaus Oliveira
(Vento-S Consultoria em Engenharia do Vento)
Dr. pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a toda minha família pelo suporte ao longo dessa jornada, principalmente a meus pais e a meu irmão.

Agradeço também ao Professor Acir e ao Professor Gustavo pelo carinho e atenção no decorrer deste trabalho, sempre muito solícitos para dirimir todas as dúvidas que surgiram. Agradeço, também, aos demais professores que contribuíram para minha formação ao longo do curso.

Agradeço a todos meus colegas e amigos pelo companheirismo e momentos de alegria que contribuíram para que essa caminhada fosse prazerosa e recompensadora.

Por fim, agradeço a Universidade Federal do Rio Grande do Sul, pela oportunidade e pelo ensino oferecido que contribuíram de maneira imensurável à minha carreira profissional e pessoal.

Todas as grandes coisas são simples.
E muitas podem ser expressas numa só palavra:
Liberdade; justiça; honra; dever; piedade; esperança.

Winston Churchill

RESUMO

BERGOZZA, V. Túnel de vento e NBR 6123/1988: Análise comparativa dos efeitos do vento sobre um conjunto de edificações. 2017. 117 f. Trabalho de Diplomação (Graduação em Engenharia Civil) – Departamento de Engenharia Civil. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

A análise dos efeitos do vento sobre as edificações é extremamente importante para que sejam projetadas e construídas estruturas de forma segura para a sociedade. Desse modo, é fundamental que se avalie a acurácia e o nível de segurança da norma que está em vigor atualmente (NBR 6123/1988), e que é a metodologia majoritariamente empregada no Brasil para o estudo e projeto dos efeitos do vento sobre edificações. Este trabalho tem o objetivo de realizar uma comparação entre os resultados obtidos em túnel de vento e aqueles obtidos pela NBR 6123/1988. Neste estudo foi utilizado o Túnel de Vento *Prof. Joaquim Blessmann* localizado na Universidade Federal do Rio Grande do Sul em Porto Alegre/RS. Especificamente, neste trabalho, foram analisadas somente as pressões atuantes nas fachadas de 8 edificações distintas. As comparações efetuadas mostram que a NBR 6123/1988 apresentou um número significativo de pressões com valores menores daquelas obtidas em túnel de vento, principalmente quando analisadas as sucções atuantes nas fachadas. Contudo, devido ao elevado número de variáveis atuantes na análise do vento, não é esperado que a NBR 6123/1988 apresente resultados exatos e talvez por esta razão deva apresentar um coeficiente de segurança de maior valor. Assim, este trabalho pode contribuir para o consenso de que os coeficientes e/ou metodologias utilizados pela NBR 6123/1988 devem ser revisados para as formas arquitetônicas que ela se propõe. De toda forma, o túnel de vento continua sendo a melhor ferramenta para uma análise segura e otimizada dos efeitos do vento sobre edificações de qualquer forma.

Palavras-chave: NBR 6123/1988. Túnel de vento. Fachadas. Edifícios médios e altos. Efeitos do vento. Análise comparativa.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Diagrama das etapas do trabalho	14
Figura 2 - Isopletas da velocidade básica V_0	18
Figura 3 - Fator topográfico S_1	20
Figura 4 - Coeficientes de pressão e de forma, externos, para paredes de edificações de planta retangular.....	26
Figura 5 - Ilustração de sobrepressão, sucção, barlavento e sotavento	27
Figura 6 - Efeito Venturi	29
Figura 7 - Deflexão do vento na direção vertical	29
Figura 8 - Turbulência de esteira.....	30
Figura 9 - Arranjo típico dos dispositivos de simulação da CLA em túnel de vento.....	33
Figura 10 - Barreiras perfuradas utilizadas no túnel de vento <i>Prof. Joaquim Blessmann</i>	34
Figura 11 - Dispositivos de geração das diferentes camadas limites do túnel de vento Prof. Joaquim Blessmann. (a) grelha; (b) $p = 0,11$; (c) $p = 0,23$; (d) $p = 0,34$	34
Figura 12 - Dispositivo emissor de jatos do túnel de vento Prof. Joaquim Blessmann.....	35
Figura 13 - Perfil de velocidade média.....	36
Figura 14 - Vista externa Túnel de Vento Prof. Joaquim Blessmann	38
Figura 15 - Circuito aerodinâmico do Túnel de Vento Prof. Joaquim Blessmann.....	39
Figura 16 - Vista 1 de um modelo dentro do túnel de vento	39
Figura 17 - Vista 2 de um modelo dentro do túnel de vento	40
Figura 18 - Equipamentos utilizados para as medições das pressões em túnel de vento	41
Figura 19 – Regiões e zonas utilizadas.....	47
Figura 20 - Regiões utilizadas para as áreas de topo.....	48
Figura 21 - Fachada frontal e planta baixa da edificação A	50
Figura 22 - Ângulos de referência do vento da edificação A	50
Figura 23 - Sucções estimadas pela NBR e medidas em Túnel de Vento para fachada 1 da edificação A.....	51
Figura 24 - Sobrepressões estimadas pela NBR e medidas em Túnel de Vento para fachada 1 da edificação A.....	51
Figura 25 - Sucções estimadas pela NBR e medidas em Túnel de Vento para fachada 2 da edificação A.....	52
Figura 26 - Sobrepressões estimadas pela NBR e medidas em Túnel de Vento para fachada 2 da edificação A.....	52
Figura 27 - Sucções estimadas pela NBR e medidas em Túnel de Vento para fachada 3 da edificação A.....	53
Figura 28 - Sobrepressões estimadas pela NBR e medidas em Túnel de Vento para fachada 3 da edificação A.....	53

Figura 29 - Sucções estimadas pela NBR e medidas em Túnel de Vento para fachada 4 da edificação A.....	54
Figura 30 - Sobrepressões estimadas pela NBR e medidas em Túnel de Vento para fachada 4 da edificação A.....	54
Figura 31 - Gradiente de sucções obtido para a edificação A	55
Figura 32 - Representação em 3D do empreendimento B.....	57
Figura 33 - Ângulos de referência do vento do empreendimento B.....	58
Figura 34 - Fachada frontal e planta baixa da edificação B1	59
Figura 35 - Sucções estimadas pela NBR e medidas em Túnel de Vento para fachada 1 da edificação B1	60
Figura 36 - Sobrepressões estimadas pela NBR e medidas em Túnel de Vento para fachada 1 da edificação B1	60
Figura 37 - Sucções estimadas pela NBR e medidas em Túnel de Vento para fachada 2 da edificação B1	61
Figura 38 - Sobrepressões estimadas pela NBR e medidas em Túnel de Vento para fachada 2 da edificação B1	61
Figura 39 - Sucções estimadas pela NBR e medidas em Túnel de Vento para fachada 3 da edificação B1	62
Figura 40 - Sobrepressões estimadas pela NBR e medidas em Túnel de Vento para fachada 3 da edificação B1	62
Figura 41 - Sucções estimadas pela NBR e medidas em Túnel de Vento para fachada 4 da edificação B1	63
Figura 42 - Sobrepressões estimadas pela NBR e medidas em Túnel de Vento para fachada 4 da edificação B1	63
Figura 43 - Fachada frontal e planta baixa da edificação B2	66
Figura 44 - Sucções estimadas pela NBR e medidas em Túnel de Vento para fachada 1 da edificação B2.....	67
Figura 45 - Sobrepressões estimadas pela NBR e medidas em Túnel de Vento para fachada 1 da edificação B2	67
Figura 46 - Sucções estimadas pela NBR e medidas em Túnel de Vento para fachada 2 da edificação B2.....	68
Figura 47 - Sobrepressões estimadas pela NBR e medidas em Túnel de Vento para fachada 2 da edificação B2	68
Figura 48 - Sucções estimadas pela NBR e medidas em Túnel de Vento para fachada 3 da edificação B2.....	69
Figura 49 - Sobrepressões estimadas pela NBR e medidas em Túnel de Vento para fachada 3 da edificação B2	69
Figura 50 - Sucções estimadas pela NBR e medidas em Túnel de Vento para fachada 4 da edificação B2.....	70
Figura 51 - Sobrepressões estimadas pela NBR e medidas em Túnel de Vento para fachada 4 da edificação B2	70

Figura 52 - Fachada frontal e planta baixa da edificação B3	73
Figura 53 - Sucções estimadas pela NBR e medidas em Túnel de Vento para fachada 1 da edificação B3	74
Figura 54 - Sobrepressões estimadas pela NBR e medidas em Túnel de Vento para fachada 1 da edificação B3	74
Figura 55 - Sucções estimadas pela NBR e medidas em Túnel de Vento para fachada 2 da edificação B3	75
Figura 56 - Sobrepressões estimadas pela NBR e medidas em Túnel de Vento para fachada 2 da edificação B3	75
Figura 57 - Sucções estimadas pela NBR e medidas em Túnel de Vento para fachada 3 da edificação B3	76
Figura 58 - Sobrepressões estimadas pela NBR e medidas em Túnel de Vento para fachada 3 da edificação B3	76
Figura 59 - Sucções estimadas pela NBR e medidas em Túnel de Vento para fachada 4 da edificação B3	77
Figura 60 - Sobrepressões estimadas pela NBR e medidas em Túnel de Vento para fachada 4 da edificação B3	77
Figura 61 - Representação em 3D do empreendimento C.....	79
Figura 62 - Fachadas frontais das edificações C1 e C2.....	80
Figura 63 - Ângulos de referência do vento do empreendimento C.....	80
Figura 64 - Planta baixa da edificação C1	82
Figura 65 - Sucções estimadas pela NBR e medidas em Túnel de Vento para fachada 1 da edificação C1	83
Figura 66 - Sobrepressões estimadas pela NBR e medidas em Túnel de Vento para fachada 1 da edificação C1	83
Figura 67 - Sucções estimadas pela NBR e medidas em Túnel de Vento para fachada 2 da edificação C1	84
Figura 68 - Sobrepressões estimadas pela NBR e medidas em Túnel de Vento para fachada 2 da edificação C1	84
Figura 69 - Sucções estimadas pela NBR e medidas em Túnel de Vento para fachada 3 da edificação C1	85
Figura 70 - Sobrepressões estimadas pela NBR e medidas em Túnel de Vento para fachada 3 da edificação C1	85
Figura 71 - Sucções estimadas pela NBR e medidas em Túnel de Vento para fachada 4 da edificação C1	86
Figura 72 - Sobrepressões estimadas pela NBR e medidas em Túnel de Vento para fachada 4 da edificação C1	86
Figura 73 - Planta baixa da edificação C2.....	89
Figura 74 - Sucções estimadas pela NBR e medidas em Túnel de Vento para fachada 1 da edificação C2.....	90

Figura 75 - Sobrepressões estimadas pela NBR e medidas em Túnel de Vento para fachada 1 da edificação C2	90
Figura 76 - Sucções estimadas pela NBR e medidas em Túnel de Vento para fachada 2 da edificação C2	91
Figura 77 - Sobrepressões estimadas pela NBR e medidas em Túnel de Vento para fachada 2 da edificação C2	91
Figura 78 - Sucções estimadas pela NBR e medidas em Túnel de Vento para fachada 3 da edificação C2	92
Figura 79 - Sobrepressões estimadas pela NBR e medidas em Túnel de Vento para fachada 3 da edificação C2	92
Figura 80 - Sucções estimadas pela NBR e medidas em Túnel de Vento para fachada 4 da edificação C2	93
Figura 81 - Sobrepressões estimadas pela NBR e medidas em Túnel de Vento para fachada 4 da edificação C2	93
Figura 82 - Ângulos de referência do vento da edificação D	96
Figura 83 - Fachada frontal e planta baixa da edificação D	97
Figura 84 - Sucções estimadas pela NBR e medidas em Túnel de Vento para fachada 1 da edificação D	98
Figura 85 - Sobrepressões estimadas pela NBR e medidas em Túnel de Vento para fachada 1 da edificação D	98
Figura 86 - Sucções estimadas pela NBR e medidas em Túnel de Vento para fachada 2 da edificação D	99
Figura 87 - Sobrepressões estimadas pela NBR e medidas em Túnel de Vento para fachada 2 da edificação D	99
Figura 88 - Sucções estimadas pela NBR e medidas em Túnel de Vento para fachada 3 da edificação D	100
Figura 89 - Sobrepressões estimadas pela NBR e medidas em Túnel de Vento para fachada 3 da edificação D	100
Figura 90 - Sucções estimadas pela NBR e medidas em Túnel de Vento para fachada 4 da edificação D	101
Figura 91 - Sobrepressões estimadas pela NBR e medidas em Túnel de Vento para fachada 4 da edificação D	101
Figura 92 - Ângulos de referência do vento da edificação E	104
Figura 93 - Fachada frontal e planta baixa da edificação E	105
Figura 94 - Sucções estimadas pela NBR e medidas em Túnel de Vento para fachada 1 da edificação E	106
Figura 95 - Sobrepressões estimadas pela NBR e medidas em Túnel de Vento para fachada 1 da edificação E	106
Figura 96 - Sucções estimadas pela NBR e medidas em Túnel de Vento para fachada 2 da edificação E	107

Figura 97 - Sobrepressões estimadas pela NBR e medidas em Túnel de Vento para fachada 2 da edificação E	107
Figura 98 - Sucções estimadas pela NBR e medidas em Túnel de Vento para fachada 3 da edificação E	108
Figura 99 - Sobrepressões estimadas pela NBR e medidas em Túnel de Vento para fachada 3 da edificação E	108
Figura 100 - Sucções estimadas pela NBR e medidas em Túnel de Vento para fachada 4 da edificação E	109
Figura 101 - Sobrepressões estimadas pela NBR e medidas em Túnel de Vento para fachada 4 da edificação E	109
Figura 102 - Regiões consideradas para análise dos dados	111
Figura 103 - Distribuição das sucções por regiões e intervalos de NBR/Túnel	113
Figura 104 - Distribuição das sobrepressões em intervalos de NBR/Túnel	114

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Parâmetros meteorológicos	23
Quadro 2 - Fator S_2	24
Quadro 3 - Valores mínimos de S_3	25
Quadro 4 - Parâmetros da edificação A.....	48
Quadro 5 - Comparativo dos resultados entre NBR e Túnel de Vento para edificação A	56
Quadro 6 - Parâmetros da edificação B1	59
Quadro 7 - Comparativo dos resultados entre NBR e Túnel de Vento para edificação B1	64
Quadro 8 - Parâmetros da edificação B2	65
Quadro 9 - Comparativo dos resultados entre NBR e Túnel de Vento para edificação B2	71
Quadro 10 - Parâmetros da edificação B3	72
Quadro 11 - Comparativo dos resultados entre NBR e Túnel de Vento para edificação B3	78
Quadro 12 - Parâmetros da edificação C1	81
Quadro 13 - Comparativo dos resultados entre NBR e Túnel de Vento para edificação C1	87
Quadro 14 - Parâmetros da edificação C2	88
Quadro 15 - Comparativo dos resultados entre NBR e Túnel de Vento para edificação C2	94
Quadro 16 - Parâmetros da edificação D.....	96
Quadro 17 - Comparativo dos resultados entre NBR e Túnel de Vento para edificação D	102
Quadro 18 - Parâmetros da edificação E	104
Quadro 19 - Comparativo dos resultados entre NBR e Túnel de Vento para edificação E.....	110
Quadro 20 - Dados gerais da sucção por região	112
Quadro 21 - Diferenças entre Túnel e NBR em valores absolutos [kPa]	113
Quadro 22 - Dados gerais da sobrepressão e diferença entre Túnel e NBR em valores absolutos [kPa]	114

LISTA DE SÍMBOLOS

a = Maior dimensão da edificação em planta [m]

b = Menor dimensão da edificação em planta [m]

F = Força exercida pela ação do vento [N]

C_f = Coeficiente de força, especificado em cada caso [adim]

q = Pressão dinâmica [N/m²]

A = Área de referência, especificada em cada caso [m²]

ρ = Massa específica do ar [kg/m³]

V = Velocidade do vento [m/s]

F_a = Força de arrasto [N]

C_a = Coeficiente de arrasto [adim]

A_e = Área frontal efetiva: área da projeção ortogonal da edificação, estrutura ou elemento estrutural sobre um plano perpendicular à direção do vento (área de sombra) [m²]

V_k = Velocidade característica do vento [m/s]

V_0 = Velocidade básica do vento [m/s]

S_1 = Fator topográfico [adim]

S_2 = Fator de rugosidade do terreno, dimensões da edificação e altura sobre o terreno [adim]

S_3 = Fator estatístico [adim]

z = Altura média a partir da superfície do terreno no ponto considerado [m]

d = Diferença de nível entre a base e o topo do talude ou morro [m]

θ = Inclinação média do talude ou encosta do morro [graus]

b = Parâmetro meteorológico [adim]

F_r = Fator de rajada [adim]

p = Parâmetro meteorológico [adim]

C_e = Coeficiente de forma externo [adim]

c_{pe} = Coeficiente de pressão externo [adim]

FV = Fator de efeito de vizinhança [adim]

s = Afastamento entre os planos das faces confrontantes de duas edificações altas vizinhas [m]

$\bar{V}(z)$ = Velocidade de escoamento [m/s]

$\bar{V}(z_{ref})$ = Velocidade referente à altura de referência [m/s]

z_d = Deslocamento do plano-zero [m]

z_{ref} = Altura de referência [m]

p = Índice que varia conforme dispositivo [adim]

u_* = Velocidade de corte [m/s]

k = Constante de von Kàrmàn [adim]

z_0 = Rugosidade aerodinâmica [m]

\bar{c}_p = Coeficiente de pressão média [adim]

T = Período de amostragem [segundos]

$p(t)$ = Pressão instantânea, na superfície da edificação, medida em relação à pressão estática de referência [N/m²]

t = Tempo [segundos]

\tilde{c}_p = Coeficiente de pressão rms [adim]

\bar{p} = valor médio de $p(t)$ para o período de amostragem T [N/m²]

\hat{c}_p = Coeficiente de pressão máximo [adim]

$p_{m\acute{a}x}$ = Valor máximo de $p(t)$ para o período de amostragem T [N/m²]

\check{c}_p = Coeficiente de pressão mínimo [adim]

$p_{m\acute{i}n}$ = Valor mínimo de $p(t)$ para o período de amostragem T [N/m²]

p_0 = Pressão de projeto [N/m²]

\bar{p} = Carga causada pelo vento médio [N/m²]

g = Fator de pico equivalente [adim]

\tilde{p} = Média quadrática das flutuações em torno da pressão média [N/m²]

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	10
2 MÉTODO DA PESQUISA	12
2.1 QUESTÃO DE PESQUISA	12
2.2 OBJETIVOS DO TRABALHO	12
2.2.1 Objetivo Principal	12
2.2.2 Objetivo Secundário	12
2.3 PRESSUPOSTO	13
2.4 DELIMITAÇÕES	13
2.5 LIMITAÇÕES	13
2.6 DELINEAMENTO	13
3 NBR 6123/1988	15
3.1 DETERMINAÇÃO DAS FORÇAS DEVIDAS AO VENTO	16
3.1.1 Velocidade básica do vento	18
3.1.2 Velocidade característica do vento	19
3.1.3 Pressão dinâmica	25
3.1.4 Coeficientes aerodinâmicos	25
3.2 EFEITOS DE VIZINHANÇA	28
4 SIMULAÇÃO DO VENTO NATURAL	31
4.1 CONSIDERAÇÕES GERAIS	31
4.2 SIMULAÇÃO DAS CARACTERÍSTICAS DO VENTO NATURAL	32
4.2.1 Método passivo	32
4.2.2 Método ativo	35
4.2.3 Perfis de velocidades médias	36
4.3 O TÚNEL DE VENTO PROF. JOAQUIM BLESSMANN	37
4.4 METODOLOGIA EMPREGADA NO TÚNEL DE VENTO PARA OBTENÇÃO DAS PRESSÕES NAS FACHADAS	40
4.4.1 Coeficientes aerodinâmicos	41
4.4.2 Pressões nas fachadas	43
5 EDIFICAÇÕES ANALISADAS, RESULTADOS OBTIDOS E QUADROS COMPARATIVOS	46
5.1 CONSIDERAÇÕES GERAIS	46
5.2 EDIFICAÇÃO A	48
5.3 EDIFICAÇÕES B1, B2 e B3	57
5.3.1 Edificação B1	58
5.3.2 Edificação B2	65

5.3.3 Edificação B3	72
5.4 EDIFICAÇÕES C1 E C2	79
5.4.1 Edificação C1	81
5.4.2 Edificação C2	88
5.5 EDIFICAÇÃO D.....	95
5.6 EDIFICAÇÃO E	103
6 ANÁLISE DOS RESULTADOS	111
6.1 SUCCÕES EXTERNAS NAS FACHADAS.....	111
6.2 SOBREPRESSÕES EXTERNAS NAS FACHADAS.....	114
7 CONSIDERAÇÕES FINAIS	116
REFERÊNCIAS	117

1 INTRODUÇÃO

O estudo do vento e seus efeitos sobre diferentes edificações é de fundamental importância para a engenharia civil, mais precisamente para o correto dimensionamento estrutural da edificação e para seu desempenho ao longo de sua vida útil. Tal importância se deve à dois fatores, o primeiro é a característica própria do vento e o segundo diz respeito aos tipos de edificações que estão sendo demandadas pela sociedade.

Quando se depara com alguma edificação, o vento acaba gerando solicitações na estrutura como um todo, assim como solicitações mais localizadas, em elementos específicos como revestimentos, por exemplo. Ainda, por ser um elemento natural e imprevisível, o vento pode atuar em várias direções, em diferentes sentidos e com variadas intensidades, o que acaba aumentando a necessidade e complexidade do estudo dos seus impactos.

Adicionalmente, os tipos de edificações que são construídas atualmente também contribuem para que se atente cada vez mais para os carregamentos oriundos do vento. Com o surgimento de materiais construtivos mais leves, aumento da resistência dos materiais existentes, edificações cada vez mais altas e formas arquitetônicas das mais variadas, ocorre que edificações cada vez mais esbeltas e menos rígidas estão sendo construídas. Estas edificações, por sua vez, são mais afetadas pelos efeitos do vento, tanto na sua estrutura e estabilidade, como também na segurança das pessoas que a utilizam ou a circundam.

Atualmente, no Brasil, dois métodos de análise são mais difundidos para obtenção das solicitações causadas pelo vento nas edificações. O primeiro método é através da Norma Brasileira NBR 6123/1988 – Forças devidas ao vento em edificações, a qual apresenta uma série de recomendações para que seja feita a análise do vento, porém, conforme explicitado pela própria norma, tal metodologia só pode ser empregada para um número restrito de formas, dimensões e localizações de edificações. O segundo método é através da simulação em túnel de vento com o uso de modelos em escala reduzida.

O túnel de vento utilizado nesta análise encontra-se no LAC (Laboratório de Aerodinâmica das Construções) da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. Como a análise em túnel de vento leva em conta um número muito maior de variáveis presentes na situação real,

como uma reprodução mais fiel da forma arquitetônica da edificação analisada e da vizinhança, este certamente terá seus resultados mais próximos da realidade. Logo, este trabalho se propõe a fazer uma comparação entre os resultados obtidos entre as duas metodologias.

Ressalta-se que este trabalho está inserido dentro de uma linha de pesquisa do LAC/UFRGS, assim, visa contribuir para a construção de conhecimento a respeito da análise dos efeitos do vento sobre edifícios médios e altos para padrões brasileiros. Ainda, as conclusões obtidas a partir deste trabalho são válidas unicamente para as edificações estudadas.

2 MÉTODO DA PESQUISA

O método utilizado para elaboração do presente trabalho é exposto nos próximos itens.

2.1 QUESTÃO DE PESQUISA

A questão de pesquisa do trabalho é: Considerando a relevância cada vez maior do estudo do vento sobre as edificações construídas atualmente, o quão satisfatória são as estimativas da NBR 6123/1988 quando comparadas com os resultados obtidos através dos ensaios em túnel de vento?

2.2 OBJETIVOS DO TRABALHO

Os objetivos deste trabalho estão elencados entre principal e secundários e são apresentados nos itens a seguir.

2.2.1 Objetivo Principal

O objetivo principal deste trabalho é traçar um comparativo entre os resultados obtidos através dos ensaios realizados em túnel de vento e os resultados obtidos através da metodologia empregada na NBR 6123/1988 no que diz respeito aos efeitos do vento sobre edificações, especificamente com relação às pressões atuantes nas fachadas.

2.2.2 Objetivo Secundário

Os objetivos secundários deste trabalho são:

- a) Determinação das pressões exercidas pelo vento nas edificações analisadas, obtidas através dos ensaios em túnel de vento.

- b) Apresentação da metodologia de cálculo disposta na NBR 6123/1988.

2.3 PRESSUPOSTO

É tido como pressuposto neste trabalho que os resultados obtidos através dos ensaios em modelos de escala reduzida realizados em túnel de vento apresentam os valores que mais condizem com a realidade.

2.4 DELIMITAÇÕES

O trabalho delimita-se à análise de edifícios médios e altos para padrões brasileiros, assim como as conclusões e resultados obtidos são restritos aos edifícios selecionados como objeto de estudo. Ainda, serão analisadas somente as pressões exercidas nas fachadas das edificações, que atuam sobre os elementos de revestimento e vedação da mesma.

2.5 LIMITAÇÕES

As limitações do trabalho são descritas a seguir:

- a) Um número restrito de edificações foi analisado;
- b) Os efeitos dinâmicos do vento não foram considerados na análise, somente a ação estática do vento foi considerada;
- c) A escolha das edificações foi feita com base em modelos já ensaiados no túnel de vento, logo, não foram realizados novos ensaios para elaboração deste trabalho.

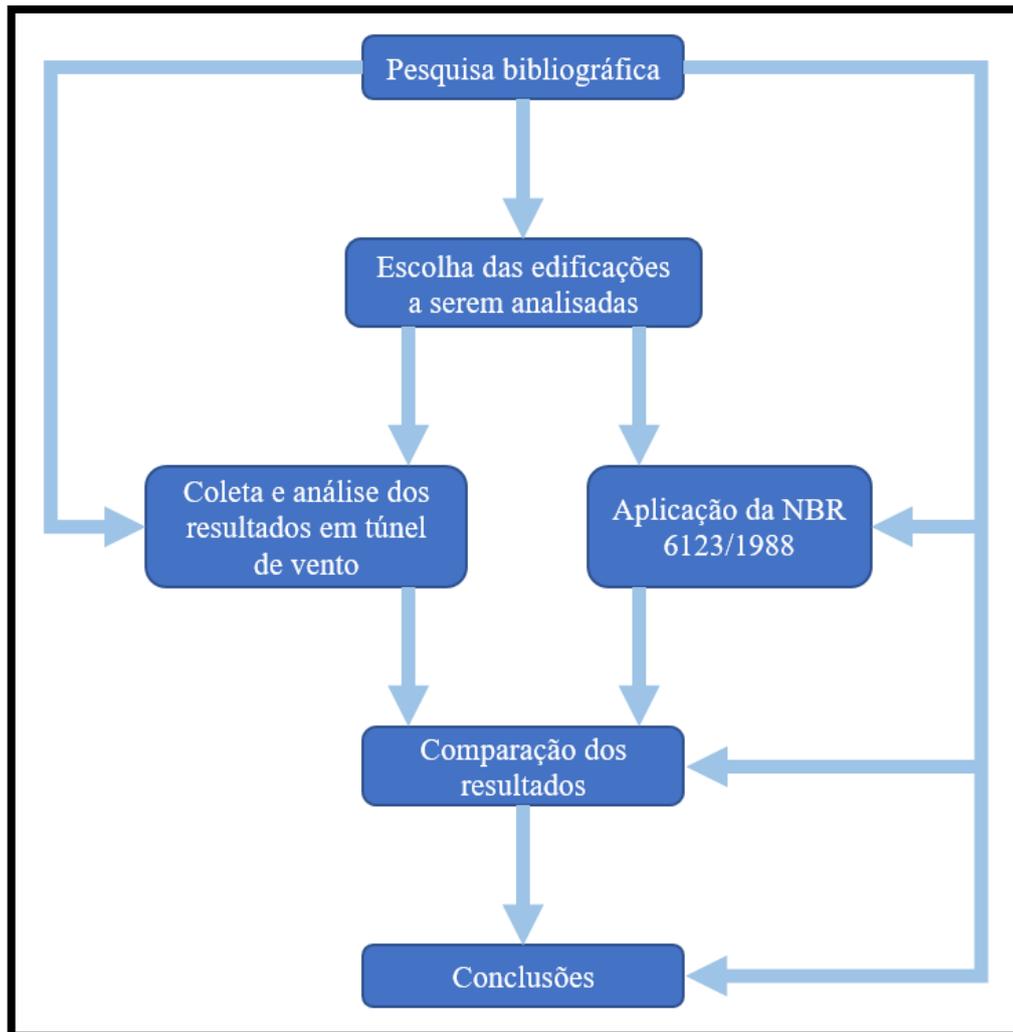
2.6 DELINEAMENTO

A elaboração do presente trabalho foi realizada de acordo com as etapas elencadas a seguir, também representadas pela Figura 1:

- a) Pesquisa bibliográfica;
- b) Escolha das edificações a serem analisadas;
- c) Aplicação da metodologia de cálculo da NBR 6123/1988;

- d) Análise e coleta dos dados obtidos através dos ensaios realizados em túnel de vento;
- e) Análise comparativa dos resultados;
- f) Conclusões;

Figura 1 - Diagrama das etapas do trabalho



(Fonte: elaborado pelo autor)

3 NBR 6123/1988

Atualmente, no Brasil, a norma que regulamenta a determinação dos efeitos do vento sobre as edificações é a NBR 6123/1988: Forças devidas ao vento em edificações. A correta análise dos efeitos do vento sobre uma edificação é fundamental para que se possa obter a melhor estimativa das solicitações que irão atuar na estrutura ao longo de sua vida útil.

Diferentemente dos outros tipos de carregamentos atuantes na edificação, como peso próprio ou cargas acidentais, o carregamento originado pela ação do vento possui certa imprevisibilidade, tanto no que se refere à intensidade quanto à temporalidade, pois, trata-se de um fator natural que não pode ser controlado, pelo menos até o momento. Logo, para que se possa reduzir a magnitude do seu carregamento deve-se implementar e/ou modificar parâmetros na própria edificação ou alterar seu local de implantação, fazendo com que as características da sua vizinhança, topografia e/ou velocidade básica do vento sejam modificadas.

O correto dimensionamento das cargas do vento é especialmente mais importante atualmente, pois, com o advento de novos materiais construtivos e edificações com alturas cada vez maiores, os efeitos do vento acabam também por ser potencializados, conforme explicita Blessmann (2001):

O vento não era problema em construções baixas e pesadas de grossas paredes, mas passou a ser, e em medida crescente, quando as construções foram-se tornando mais e mais esbeltas, e as estruturas usando cada vez menos quantidade de material.

Contribuem, também, para a potencialização dos efeitos do vento, os efeitos de interferência da vizinhança e o fato de que, em geral, as paredes de edificações altas nem mesmo possuem função estrutural, apenas função de vedação. Muitas dessas paredes são constituídas de leves painéis de revestimento e ancoragens que muitas vezes não foram projetados para suportar as forças de sucção que surgem próximas às quinas da edificação. (BLESSMANN, 2001).

Devido à grande quantidade de variáveis envolvidas em toda essa relação vento – estrutura, seria impossível a elaboração de uma Norma regulamentadora que conseguisse abranger todas as situações. Novas formas arquitetônicas são frequentemente criadas, assim como novos

materiais construtivos são desenvolvidos, contribuindo para o aumento dos possíveis cenários onde são analisados os efeitos do vento. Assim, a NBR 6123 é recomendada para um número finito de cenários e combinações, conforme apontado pela mesma. (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1988):

Esta Norma não se aplica a edificações de formas, dimensões ou localização fora do comum, casos estes em que estudos especiais devem ser feitos para determinar as forças atuantes do vento e seus efeitos. Resultados experimentais obtidos em túnel de vento, com simulação das principais características do vento natural podem ser usados em substituição do recurso aos coeficientes constantes nesta Norma.

Ainda, segundo a NBR 6123 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1988), as forças atuantes na edificação devem ser analisadas em três categorias distintas:

- a) Elementos de vedação e suas fixações (telhas, vidros, esquadrias, painéis de vedação, etc.);
- b) Partes da estrutura (telhados, paredes, etc.);
- c) A estrutura como um todo.

Nos itens descritos a seguir, ter-se-á um passo-a-passo do procedimento de cálculo recomendado pela NBR 6123/1988 para determinação das forças e momentos atuantes em uma edificação.

3.1 DETERMINAÇÃO DAS FORÇAS DEVIDAS AO VENTO

Segundo a NBR 6123/1988 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1988), a força global (F_g) que incide sobre uma edificação ou parte dela, é obtida pela soma vetorial das forças do vento que nela atuam. Porém, de maneira geral, uma componente (F) qualquer da força global que incide sobre a edificação pode ser determinada através da Equação 1 abaixo. NBR 6123 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1988).

$$F = C_f \cdot q \cdot A \quad (\text{Equação 1})$$

Onde:

F = Força exercida pela ação do vento [N]

C_f = Coeficiente de força, especificado em cada caso [adim]

q = Pressão dinâmica [N/m²]

A = Área de referência, especificada em cada caso [m²]

A pressão dinâmica (q) é determinada através da equação 2 abaixo.

$$q = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot V^2 \quad (\text{Equação 2})$$

Onde:

ρ = Massa específica do ar [kg/m³]

V = Velocidade do vento [m/s]

Para o cálculo da pressão dinâmica deste trabalho foi utilizada a equação simplificada apresentada no item 3.1.3, na qual considera a massa específica do ar (ρ) como sendo 1,226 kg/m³.

Ainda, a força global F_g , resultante das forças atuantes na edificação, é decomposta em uma componente vertical e uma componente horizontal. A componente vertical é conhecida como força de sustentação e é medida perpendicularmente à direção do vento, enquanto a componente horizontal recebe o nome de força de arrasto e é medida na direção do vento. BLESSMANN (2011). A força de arrasto pode ser obtida através da equação 3 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1988).

$$F_a = C_a \cdot q \cdot A_e \quad (\text{Equação 3})$$

Onde:

F_a = Força de arrasto [N]

C_a = Coeficiente de arrasto [adim]

q = Pressão dinâmica [N/m²]

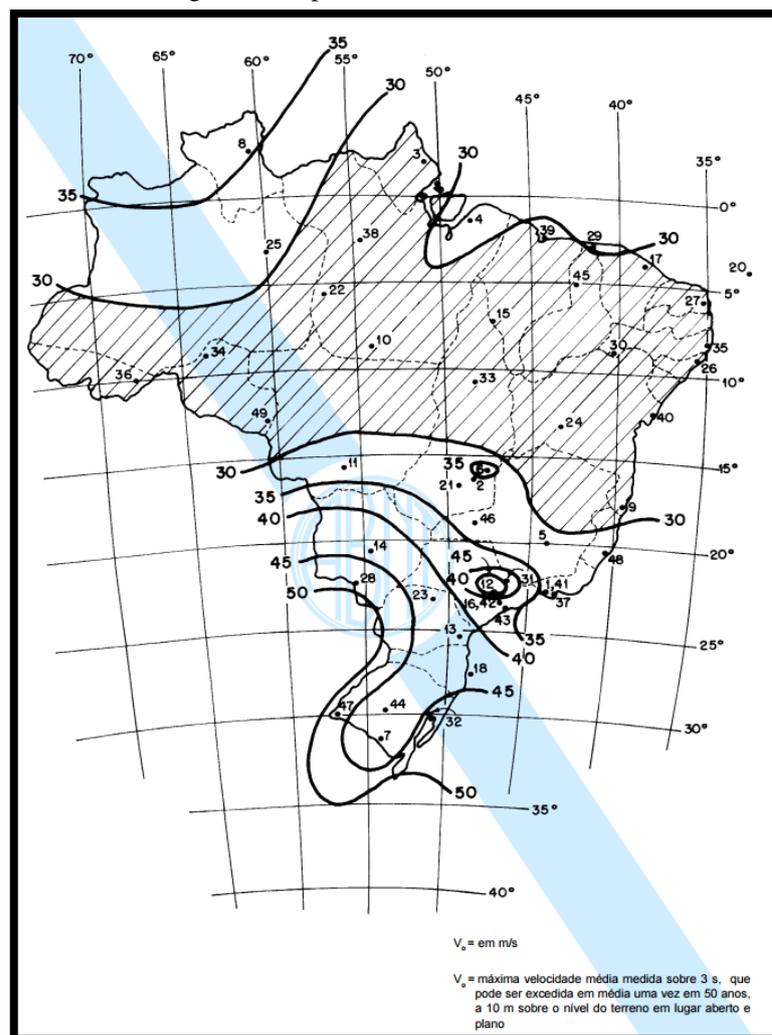
A_e = Área frontal efetiva: área da projeção ortogonal da edificação, estrutura ou elemento estrutural sobre um plano perpendicular à direção do vento (área de sombra) [m²]

3.1.1 Velocidade básica do vento

A velocidade básica do vento V_0 , dada em m/s, segundo definição da própria NBR 6123 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1988) é “[...] a velocidade de uma rajada de três segundos, excedida em média uma vez em 50 anos, a 10 metros acima do terreno, em campo aberto e plano.”

Como a velocidade básica do vento varia conforme a localidade de análise, sua determinação se dá através de um mapa que contém as distribuições dessas velocidades em todo Brasil, conhecido como mapa de isopletas (Figura 2), apresentado abaixo. Essas velocidades básicas são determinadas por séries históricas e definidas através de estudos passados.

Figura 2 - Isopletas da velocidade básica V_0



(Fonte: NBR 6123 - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1988, p. 6)

Conforme NBR 6123 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1988), admite-se que a velocidade básica do vento pode incidir na edificação sob qualquer ângulo horizontal e que, caso haja qualquer incerteza quanto à determinação da velocidade básica do vento, é recomendado que sejam feitos estudos específicos para determinação da mesma. Nessas situações não contempladas pela NBR 6123 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1988), pode-se, inclusive, determinar direções preferenciais para o vento básico, quando estiverem respaldadas pelas correspondentes justificativas.

3.1.2 Velocidade característica do vento

A velocidade característica V_k , também dada em m/s, caracteriza-se por ser a velocidade básica do vento multiplicada por alguns fatores que variam de acordo com o relevo da região onde será implantada a edificação e mais algumas características próprias da edificação em estudo. A equação que determina a velocidade característica do vento é apresentada abaixo (Equação 4) (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1988):

$$V_k = V_0 \cdot S_1 \cdot S_2 \cdot S_3 \quad (\text{Equação 4})$$

Onde:

V_k = Velocidade característica do vento [m/s]

V_0 = Velocidade básica do vento [m/s]

S_1 = Fator topográfico [adim]

S_2 = Fator de rugosidade do terreno, dimensões da edificação e altura sobre o terreno [adim]

S_3 = Fator estatístico [adim]

Nos itens a seguir é apresentado o processo para determinação de cada um destes fatores.

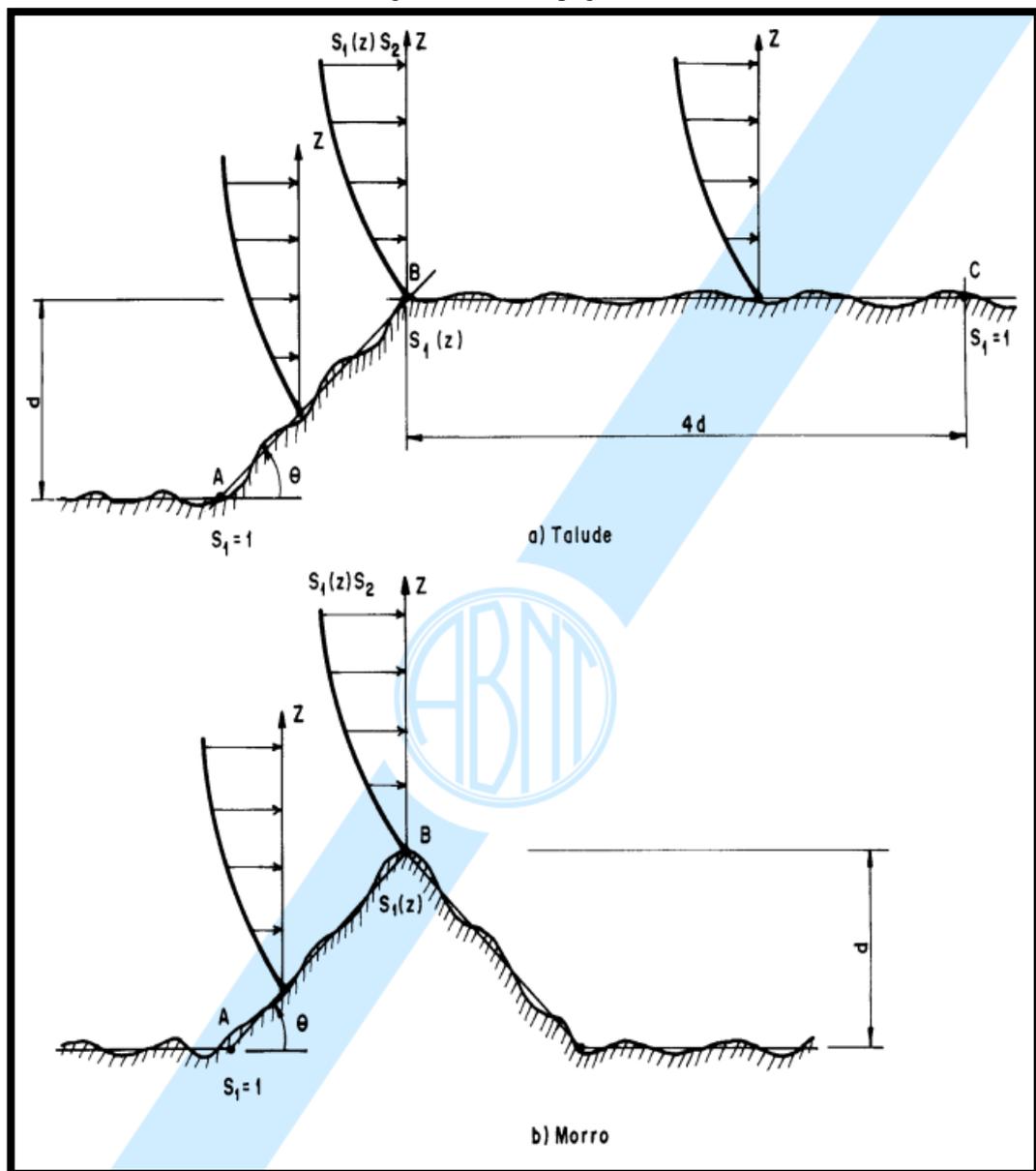
3.1.2.1 Fator topográfico S_1

Para determinação do fator S_1 (Figura 3) deve-se levar em consideração as condições do relevo no entorno da edificação, assim como a altura acima do terreno na qual pretende-se obter tal

fator. Assim, a NBR 6123 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1988) apresenta o fator S_1 da seguinte forma:

- a) Terreno plano ou fracamente acidentado: $S_1 = 1,0$
- b) Taludes e morros: Nos pontos A e C (taludes) e no ponto A (morros) apresentados na figura 3, o fator $S_1 = 1,0$. Já nos pontos B (talude e morro), o processo de cálculo é apresentado abaixo.

Figura 3 - Fator topográfico S_1



(Fonte: NBR 6123 - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1988, p. 7)

Para determinação do fator S_1 nos pontos B (equações 5, 6 e 7) são levados em consideração os ângulos formados pelo terreno e a altura (z) acima do terreno relativa ao ponto de estudo:

$$\theta \leq 3^\circ, \quad S_1(z) = 1,0 \quad (\text{Equação 5})$$

$$6^\circ \leq \theta \leq 17^\circ, \quad S_1(z) = 1,0 + \left(2,5 - \frac{z}{d}\right) \operatorname{tg}(\theta - 3^\circ) \geq 1 \quad (\text{Equação 6})$$

$$\theta \geq 45^\circ, \quad S_1(z) = 1,0 + \left(2,5 - \frac{z}{d}\right) 0,31 \geq 1 \quad (\text{Equação 7})$$

Onde:

z = Altura média a partir da superfície do terreno no ponto considerado [m]

d = Diferença de nível entre a base e o topo do talude ou morro [m]

θ = Inclinação média do talude ou encosta do morro [graus]

Caso os ângulos não estejam contemplados nas equações, como $3^\circ < \theta < 6^\circ$ e $17^\circ < \theta < 45^\circ$, deve ser realizada uma interpolação (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1988).

c) Vales profundos, protegidos de ventos de qualquer direção: $S_1 = 0,9$.

Novamente, salienta-se que para obtenção de valores mais precisos ou caso tenha-se um terreno demasiado complexo, é recomendada a realização de ensaios em túnel de vento (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1988).

3.1.2.2 Fator rugosidade do terreno, dimensões da edificação e altura sobre o terreno S_2

O fator S_2 , segundo definição da NBR 6123 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1988), é “[...] efeito combinado de rugosidade do terreno, da variação da velocidade do vento com a altura acima do terreno e das dimensões da edificação ou parte da edificação em consideração.”

A rugosidade é, então, classificada em cinco categorias NBR 6123 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1988), são elas:

- a) Categoria I: Superfícies lisas de grandes dimensões, com mais de 5km de extensão, medida na direção e sentido do vento incidente.
- b) Categoria II: Terrenos abertos em nível ou aproximadamente em nível, com poucos obstáculos isolados, tais como árvores e edificações baixas.
- c) Categoria III: Terrenos planos ou ondulados com obstáculos, tais como sebes e muros, poucos quebra-ventos de árvores, edificações baixas e esparsas.
- d) Categoria IV: Terrenos cobertos por obstáculos numerosos e pouco espaçados, em zona florestal, industrial ou urbanizada.
- e) Categoria V: Terrenos cobertos por obstáculos numerosos, grandes, altos e pouco espaçados.

Além desta diferenciação entre categorias, o fator S_2 também leva em consideração uma divisão entre três classes que abordam as dimensões da edificação (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1988):

- a) Classe A: Todas as unidades de vedação, seus elementos de fixação e peças individuais de estruturas sem vedação. Toda edificação na qual a maior dimensão horizontal ou vertical não exceda 20 metros.
- b) Classe B: Toda edificação ou parte de edificação para a qual a maior dimensão horizontal ou vertical da superfície frontal esteja entre 20 e 50 metros.
- c) Classe C: Toda edificação ou parte de edificação para a qual a maior dimensão horizontal ou vertical da superfície frontal exceda 50 metros.

Para edificações que a maior dimensão exceder 80 metros, deve-se seguir a metodologia empregada no Anexo A da NBR 6123 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1988).

É importante destacar que quando o objetivo é a obtenção dos esforços atuantes nos elementos de vedação, que é o caso deste trabalho, a NBR 6123 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1988) aponta que “[...] para o cálculo de elementos de vedação e de suas fixações a peças estruturais, deve ser usado o fator S_2 correspondente à classe A [...]”. Ainda, como recomendado pela NBR 6123 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1988), adotou-se o fator S_2 correspondente ao topo da edificação.

Definidas estas classes e categorias, pode-se obter o fator S_2 , tanto através da equação 8, como através do quadro 2. Previamente, porém, deve-se obter os parâmetros meteorológicos b , p e F_r através do quadro 1. (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1988).

$$S_2 = b \cdot F_r \cdot \left(\frac{z}{10}\right)^p \quad (\text{Equação 8})$$

Onde:

S_2 = Fator S_2 [adim]

b = Parâmetro meteorológico [adim]

F_r = Fator de rajada [adim]

z = Altura acima do terreno [m]

p = Parâmetro meteorológico [adim]

Quadro 1 - Parâmetros meteorológicos

Categoria	z_g (m)	Parâmetro	Classes		
			A	B	C
I	250	b	1,10	1,11	1,12
		p	0,06	0,065	0,07
II	300	b	1,00	1,00	1,00
		F_r	1,00	0,98	0,95
III	350	p	0,085	0,09	0,10
		b	0,94	0,94	0,93
IV	420	p	0,10	0,105	0,115
		b	0,86	0,85	0,84
V	500	p	0,12	0,125	0,135
		b	0,74	0,73	0,71
		p	0,15	0,16	0,175

(Fonte: NBR 6123 - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1988, p. 14)

Quadro 2 - Fator S_2

z (m)	Categoria														
	I			II			III			IV			V		
	Classe			Classe			Classe			Classe			Classe		
	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C
≤ 5	1,06	1,04	1,01	0,94	0,92	0,89	0,88	0,86	0,82	0,79	0,76	0,73	0,74	0,72	0,67
10	1,10	1,09	1,06	1,00	0,98	0,95	0,94	0,92	0,88	0,86	0,83	0,80	0,74	0,72	0,67
15	1,13	1,12	1,09	1,04	1,02	0,99	0,98	0,96	0,93	0,90	0,88	0,84	0,79	0,76	0,72
20	1,15	1,14	1,12	1,06	1,04	1,02	1,01	0,99	0,96	0,93	0,91	0,88	0,82	0,80	0,76
30	1,17	1,17	1,15	1,10	1,08	1,06	1,05	1,03	1,00	0,98	0,96	0,93	0,87	0,85	0,82
40	1,20	1,19	1,17	1,13	1,11	1,09	1,08	1,06	1,04	1,01	0,99	0,96	0,91	0,89	0,86
50	1,21	1,21	1,19	1,15	1,13	1,12	1,10	1,09	1,06	1,04	1,02	0,99	0,94	0,93	0,89
60	1,22	1,22	1,21	1,16	1,15	1,14	1,12	1,11	1,09	1,07	1,04	1,02	0,97	0,95	0,92
80	1,25	1,24	1,23	1,19	1,18	1,17	1,16	1,14	1,12	1,10	1,08	1,06	1,01	1,00	0,97
100	1,26	1,26	1,25	1,22	1,21	1,20	1,18	1,17	1,15	1,13	1,11	1,09	1,05	1,03	1,01
120	1,28	1,28	1,27	1,24	1,23	1,22	1,20	1,20	1,18	1,16	1,14	1,12	1,07	1,06	1,04
140	1,29	1,29	1,28	1,25	1,24	1,24	1,22	1,22	1,20	1,18	1,16	1,14	1,10	1,09	1,07
160	1,30	1,30	1,29	1,27	1,26	1,25	1,24	1,23	1,22	1,20	1,18	1,16	1,12	1,11	1,10
180	1,31	1,31	1,31	1,28	1,27	1,27	1,26	1,25	1,23	1,22	1,20	1,18	1,14	1,14	1,12
200	1,32	1,32	1,32	1,29	1,28	1,28	1,27	1,26	1,25	1,23	1,21	1,20	1,16	1,16	1,14
250	1,34	1,34	1,33	1,31	1,31	1,31	1,30	1,29	1,28	1,27	1,25	1,23	1,20	1,20	1,18
300	-	-	-	1,34	1,33	1,33	1,32	1,32	1,31	1,29	1,27	1,26	1,23	1,23	1,22
350	-	-	-	-	-	-	1,34	1,34	1,33	1,32	1,30	1,29	1,26	1,26	1,26
400	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,34	1,32	1,32	1,29	1,29	1,29
420	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,35	1,35	1,33	1,30	1,30	1,30
450	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,32	1,32	1,32
500	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,34	1,34	1,34

(Fonte: NBR 6123 - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1988, p. 10)

3.1.2.3 Fator estatístico S_3

Este fator é determinado através de conceitos estatísticos e leva em conta o grau de segurança desejado para determinada edificação, assim como sua vida útil NBR 6123 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1988). Os valores do fator S_3 são definidos através do quadro 3.

Quadro 3 - Valores mínimos de S_3

Grupo	Descrição	S_3
1	Edificações cuja ruína total ou parcial pode afetar a segurança ou possibilidade de socorro a pessoas após uma tempestade destrutiva (hospitais, quartéis de bombeiros e de forças de segurança, centrais de comunicação, etc.)	1,10
2	Edificações para hotéis e residências. Edificações para comércio e indústria com alto fator de ocupação	1,00
3	Edificações e instalações industriais com baixo fator de ocupação (depósitos, silos, construções rurais, etc.)	0,95
4	Vedações (telhas, vidros, painéis de vedação, etc.)	0,88
5	Edificações temporárias. Estruturas dos grupos 1 a 3 durante a construção	0,83

(Fonte: NBR 6123 - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1988, p. 10)

3.1.3 Pressão dinâmica

Determinada a velocidade característica do vento V_k , é necessário proceder ao cálculo da pressão dinâmica do vento (Equação 9). NBR 6123 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1988).

$$q = 0,613 \cdot V_k^2 \quad (\text{Equação 9})$$

Onde:

q = Pressão dinâmica do vento [N/m^2]

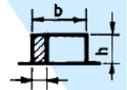
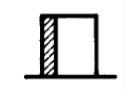
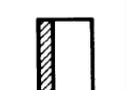
V_k = Velocidade característica do vento [m/s]

3.1.4 Coeficientes aerodinâmicos

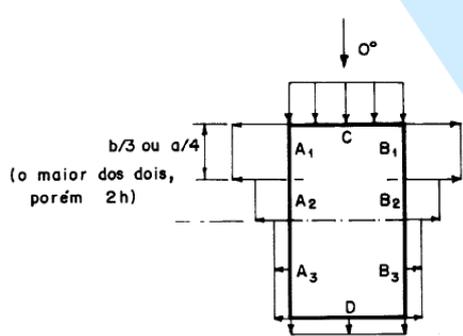
Nesta parte do trabalho será apresentado os procedimentos para o cálculo de edificações de planta retangular, que são as que mais se aproximam daquelas analisadas neste trabalho, como será visto posteriormente. De maneira similar, somente os coeficientes que são necessários para alcançar os objetivos deste trabalho serão elencados. A Norma, porém, contempla coeficientes que visam outros tipos de análises. Os coeficientes utilizados neste trabalho denominam-se coeficientes de pressão e de forma e estão elencados a seguir.

Os respectivos coeficientes têm seus valores e pontos de aplicação definidos pela figura 4, a qual apresenta uma série de diferentes coeficientes que variam de acordo com as dimensões da edificação. Assim, C_e é utilizado como coeficiente de forma externo e c_{pe} é utilizado como coeficiente de pressão externo.

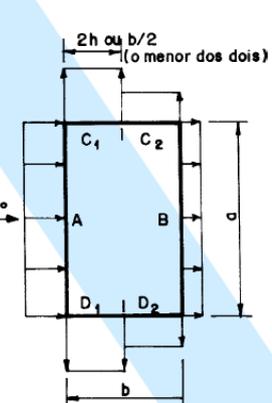
Figura 4 - Coeficientes de pressão e de forma, externos, para paredes de edificações de planta retangular

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
 $\frac{1}{2} < \frac{h}{b} \leq \frac{3}{2}$	$1 \leq \frac{a}{b} \leq \frac{3}{2}$	-0,9	-0,5	+0,7	-0,5	+0,7	-0,5	-0,9	-0,5	-1,1
		$2 \leq \frac{a}{b} \leq 4$	-0,9	-0,4	+0,7	-0,3	+0,7	-0,6	-0,9	-0,5
 $\frac{3}{2} < \frac{h}{b} \leq 6$	$1 \leq \frac{a}{b} \leq \frac{3}{2}$	-1,0	-0,6	+0,8	-0,6	+0,8	-0,6	-1,0	-0,6	-1,2
		$2 \leq \frac{a}{b} \leq 4$	-1,0	-0,5	+0,8	-0,3	+0,8	-0,6	-1,0	-0,6

0°



90°



(Fonte: NBR 6123 - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1988, p. 14)

Ainda, a NBR 6123 apresenta algumas observações que devem ser levadas em consideração nos cálculos quando necessárias. (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1988):

Notas: a) Para a/b entre $3/2$ e 2 , interpolar linearmente.

b) Para vento a 0° , nas partes A3 e B3 o coeficiente de forma C_e tem os seguintes valores:

- para $a/b = 1$: mesmo valor das partes A₂ e B₂;

- para $a/b \geq 2$: $C_e = -0,2$;

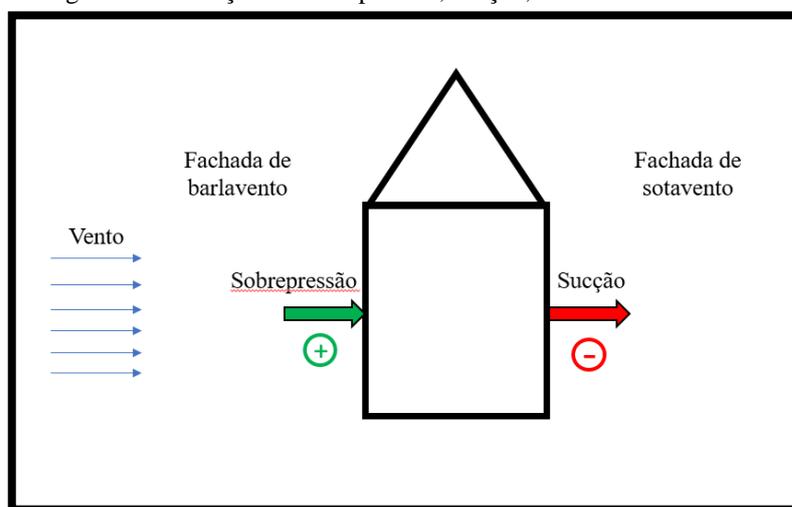
- para $1 < a/b < 2$: interpolar linearmente.

c) Para cada uma das duas incidências do vento (0° ou 90°), o coeficiente de pressão médio externo c_{pe} médio, é aplicado à parte de barlavento das paredes paralelas ao vento, em uma distância igual a $0,2b$ ou h , considerando-se o menor destes dois valores.

d) Para determinar o coeficiente de arrasto, C_a , deve ser usado o gráfico da Figura 4 (vento de baixa turbulência) ou da Figura 5 (vento de alta turbulência).

Ambos os coeficientes (C_e e c_{pe}) quando apresentam valores positivos correspondem à sobrepressões, quando apresentam valores negativos, contudo, correspondem a sucções. NBR 6123 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1988). A figura 5 exemplifica essa definição, assim como a definição de barlavento (a superfície que incide o vento) e sotavento (superfície oposta à incidência do vento).

Figura 5 - Ilustração de sobrepressão, sucção, barlavento e sotavento



(Fonte: Elaborado pelo autor)

De modo geral, os coeficientes de pressão (c_{pe}) são indicados para o cálculo de forças localizadas, como aponta a NBR 6123 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1988) “[...] Estes coeficientes devem ser usados somente para o cálculo das forças do vento nas respectivas zonas, aplicando-se ao dimensionamento, verificação e ancoragem de elementos de vedação e da estrutura secundária.” Já os coeficientes de forma (C_e) são utilizados para a verificação da estrutura como um todo, das peças estruturais principais ou dos elementos de vedação e suas fixações, como apontado pela NBR (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1988).

3.2 EFEITOS DE VIZINHANÇA

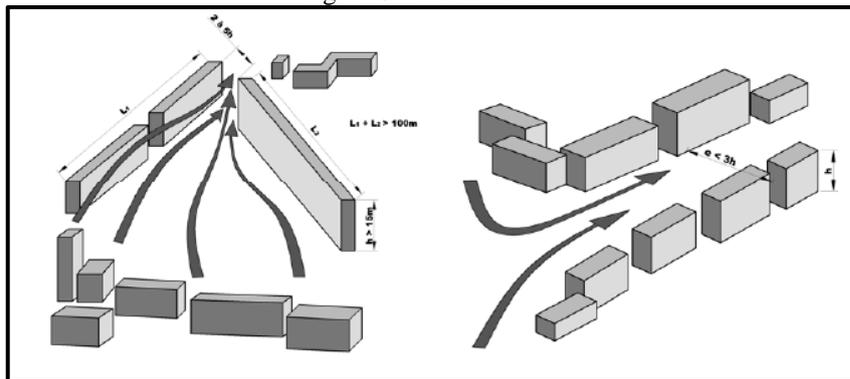
Um dos aspectos que mais impacta no estudo dos efeitos do vento, assim como o torna complexo e único para cada edificação analisada, é a influência das edificações vizinhas.

De acordo com a forma, a localização e a disposição das edificações vizinhas, estas podem ter influência sobre os efeitos do vento na edificação em estudo. Estas influências podem aparecer de três maneiras distintas que, eventualmente, podem se sobrepor NBR 6123 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1988).

a) Efeito Venturi:

O efeito Venturi pode ser caracterizado como o “afunilamento” do vento, ocasionando uma aceleração no fluxo de ar e uma alteração nas pressões. Este efeito ocorre, principalmente, em edificações bastante próximas e as regiões mais impactadas são as paredes confrontantes das duas edificações. Nas arestas de barlavento podem aparecer sucções significativas. O efeito Venturi é mostrado pela Figura 6.

Figura 6 - Efeito Venturi

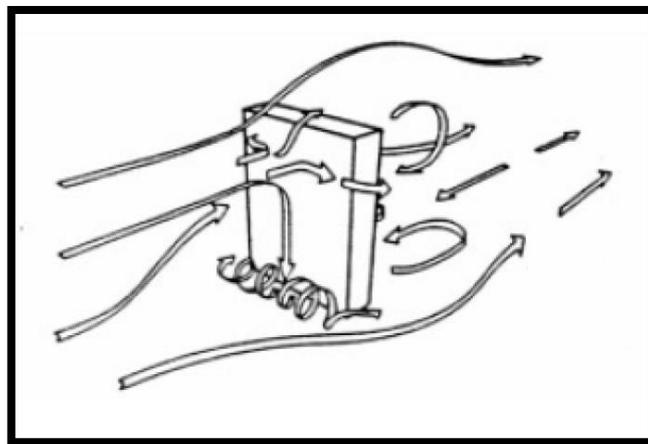


(Fonte: CARPEGGIANI, 2004, p.5)

b) Deflexão do vento na direção vertical:

Ocorre quando o vento incide sobre as fachadas de barlavento de edificações altas e estas defletem para baixo uma parcela do vento, possivelmente, aumentando as cargas do vento em edificações mais baixas. Tal efeito é ilustrado pela Figura 7.

Figura 7 - Deflexão do vento na direção vertical

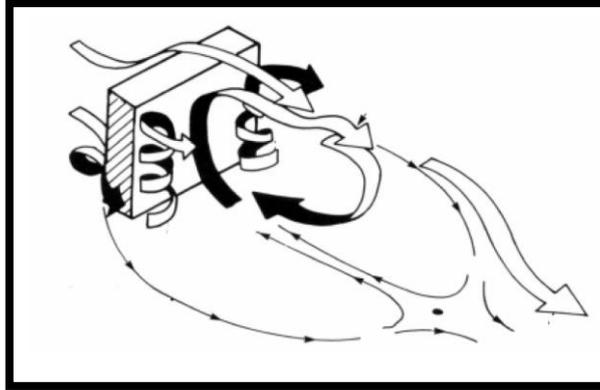


(Fonte: CARPEGGIANI, 2004, p.6)

c) Turbulência de esteira:

Acontece quando uma edificação está posicionada à sotavento de outra edificação, assim, ela pode ser impactada pelos “efeitos de golpe” gerados pela turbulência da esteira. Tal efeito é mostrado na Figura 8.

Figura 8 - Turbulência de esteira



(Fonte: CARPEGGIANI, 2004, p.6)

A Norma aponta um aumento de até 30% para os coeficientes aerodinâmicos obtidos anteriormente. Contudo, a NBR sugere apenas uma aproximação para se calcular a magnitude destes efeitos, conforme apresentado a seguir. Um valor mais exato só é possível de ser obtido através de ensaios em túnel de vento. Ainda assim esses valores podem ser alterados, pois, o formato da vizinhança pode ser modificado ao longo do tempo. NBR 6123 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1988).

As aproximações da NBR são as seguintes para coeficientes de arrasto C_a , coeficientes de forma C_e e para valor médio do coeficiente de pressão c_{pe} médio, em paredes confrontantes:

$$\text{Se } \frac{s}{d^*} \leq 1,0 \rightarrow FV = 1,3 \quad (\text{Equação 10})$$

$$\text{Se } \frac{s}{d^*} \geq 3,0 \rightarrow FV = 1,0 \quad (\text{Equação 11})$$

Onde:

FV = Fator de efeito de vizinhança [adim], definido pela equação abaixo.

$$FV = \frac{C \text{ na edificação com vizinhança}}{C \text{ na edificação isolada}}$$

C = Coeficiente aerodinâmico em estudo (C_a , C_e ou c_{pe} médio) [adim]

s = Afastamento entre os planos das faces confrontantes de duas edificações altas vizinhas, sendo $a \times b$ as dimensões em planta das edificações ($a \times b$ entre 1x1 e 4x1) [m]

d^* = A menor das duas dimensões: i) lado menor b ; ii) semi-diagonal $\frac{\sqrt{a^2+b^2}}{2}$ [m]

Para valores intermediários de s/d^* é necessário realizar uma interpolação.

Este efeito é considerado somente até o topo das edificações vizinhas NBR 6123 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1988).

4 SIMULAÇÃO DO VENTO NATURAL

4.1 CONSIDERAÇÕES GERAIS

O surgimento da utilização de modelos de escala reduzida em túneis de vento para análise de edificações remonta ao final do século XIX. Porém, durante um certo tempo, não foi possível reproduzir com a fidelidade desejada o vento natural, implicando resultados não tão confiáveis. Boa parte dos túneis utilizados foram criados com o intuito de atender à demanda do setor de aviação, onde o interesse de estudo está em uma atmosfera calma e sem turbulência. Vários estudos apontaram diferenças bastante significativas entre os resultados obtidos nestes túneis e os resultados reais das construções civis. Assim, para que se possa obter resultados mais precisos, é fundamental que se utilizem túneis de vento que reproduzam da melhor maneira possível a camada limite atmosférica. (BLESSMANN, 2011)

Vários fatores também contribuíram, ao longo do tempo, para a necessidade de obtenção de resultados mais fiéis (BLESSMANN, 2011):

- Novas formas e proporções arquitetônicas, com características aerodinâmicas diferentes das usuais;
- A densidade média das edificações tem diminuído nos últimos decênios de um modo acentuado. Conseqüentemente, os efeitos de vento tornaram-se proporcionalmente mais importantes;
- Certos sistemas estruturais, aliados à diminuição da densidade, apresentam um amortecimento muito pequeno, tornando a estrutura mais sensível aos efeitos dinâmicos;

- Os computadores permitiram o emprego de métodos de análise estrutural mais precisos, o que obriga, coerentemente, a um melhor conhecimento das forças atuantes na estrutura.

Um dos túneis construídos para suprir essa demanda foi Túnel de Vento *Prof. Joaquim Blessmann*, que entrou em operação na década de 70, na Universidade Federal do Rio Grande do Sul. O referido túnel de vento, que foi utilizado como base para elaboração deste trabalho, está localizado no Laboratório de Aerodinâmica das Construções (LAC) da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, Brasil.

4.2 SIMULAÇÃO DAS CARACTERÍSTICAS DO VENTO NATURAL

Para que se possa reproduzir da melhor maneira possível as condições reais da camada limite atmosférica (CLA) são utilizados, basicamente, dois tipos de métodos – ativo e passivo. As equações, que serão apresentadas em 4.2.3, representam o perfil de velocidades médias do escoamento. (LOREDO-SOUZA et al., 2004)

4.2.1 Método passivo

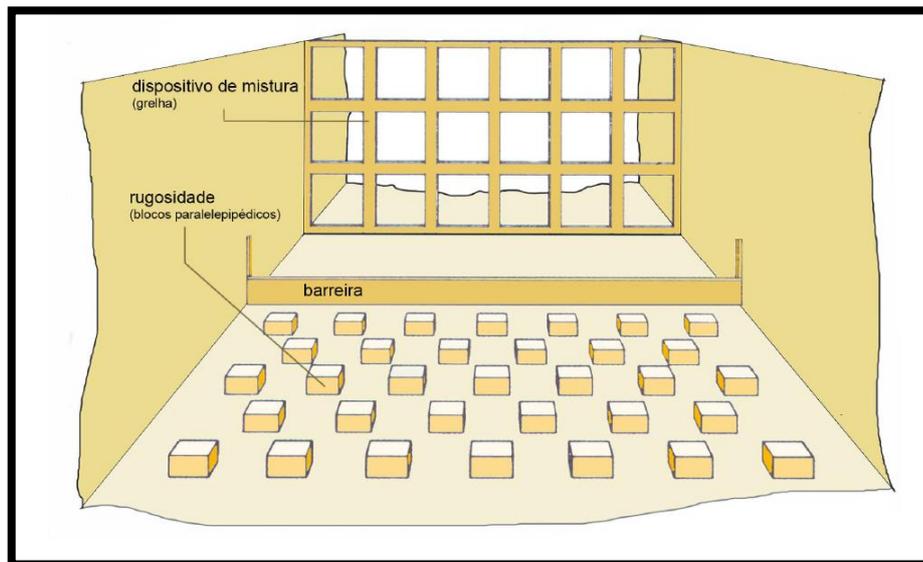
Nesta abordagem são utilizadas a rugosidade colocada no piso do túnel de vento, assim como barreiras e dispositivos de mistura que são dispostos, geralmente, no início da câmara de ensaio. A rugosidade representa nada mais do que a rugosidade encontrada na superfície terrestre da edificação em estudo e é a característica principal na determinação da camada limite atmosférica. As barreiras e dispositivos de mistura, que podem ser das mais variadas formas, são, conforme (LOREDO-SOUZA et al., 2004) “[...] a parte “artificial” da simulação. A barreira fornece um déficit de quantidade de movimento ao nível do piso e também altura à camada limite, a qual é misturada com a simulação sendo desenvolvida pelo dispositivo de mistura.”. Dentre os diferentes tipos de barreiras e dispositivos de mistura e seus possíveis usos em diferentes tipos de camadas limite (BLESSMANN, 2011), destacam-se:

- Telas curvas ou telas planas de malha variável: perfil de velocidades médias e turbulência fina;
- Grelhas de barras horizontais de secção retangular ou circular, variando o espaçamento e/ou a espessura: perfil de velocidades médias e turbulência média;

- Grelhas de malha quadrada ou retangular, constituídas de barras de secção retangular: turbulência superposta a uma corrente de ar aproximadamente uniforme;
- Grelha única de malha variável ou diversas grelhas superpostas: perfil de velocidades médias e turbulência;
- Tela uniforme: turbulência fina superposta a uma corrente de ar uniforme;
- Barras finas metálicas de secção circular, variando o diâmetro e/ou o espaçamento: perfil de velocidades médias e turbulência fina;
- Triângulos de diversas dimensões e proporções, cheios ou vasados, de lados retos ou curvos: perfil de velocidades médias e turbulência.

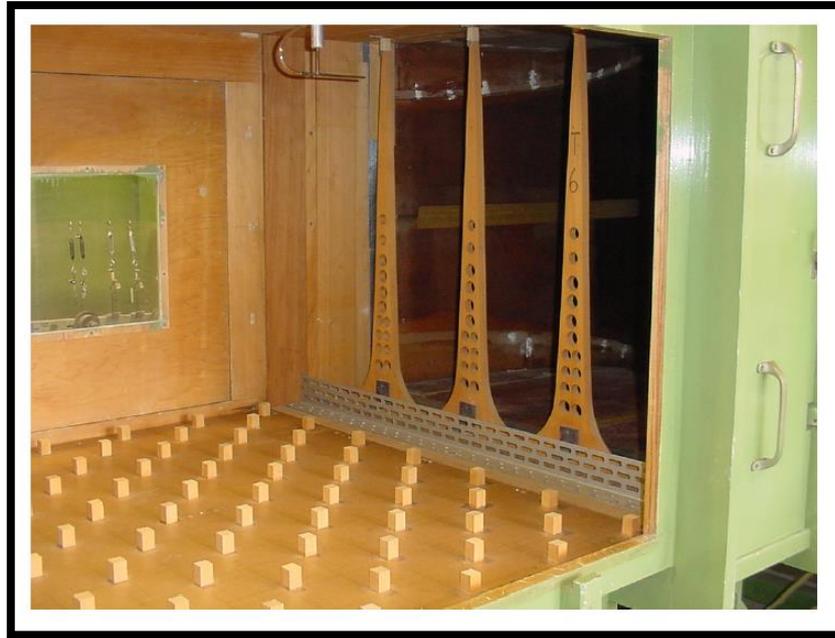
Todos esses mecanismos passivos podem ser, parcial ou totalmente, observados nas figuras 9, 10 e 11. As figuras 10 e 11 são, inclusive, referentes ao Túnel de Vento *Prof. Joaquim Blessmann*.

Figura 9 - Arranjo típico dos dispositivos de simulação da CLA em túnel de vento



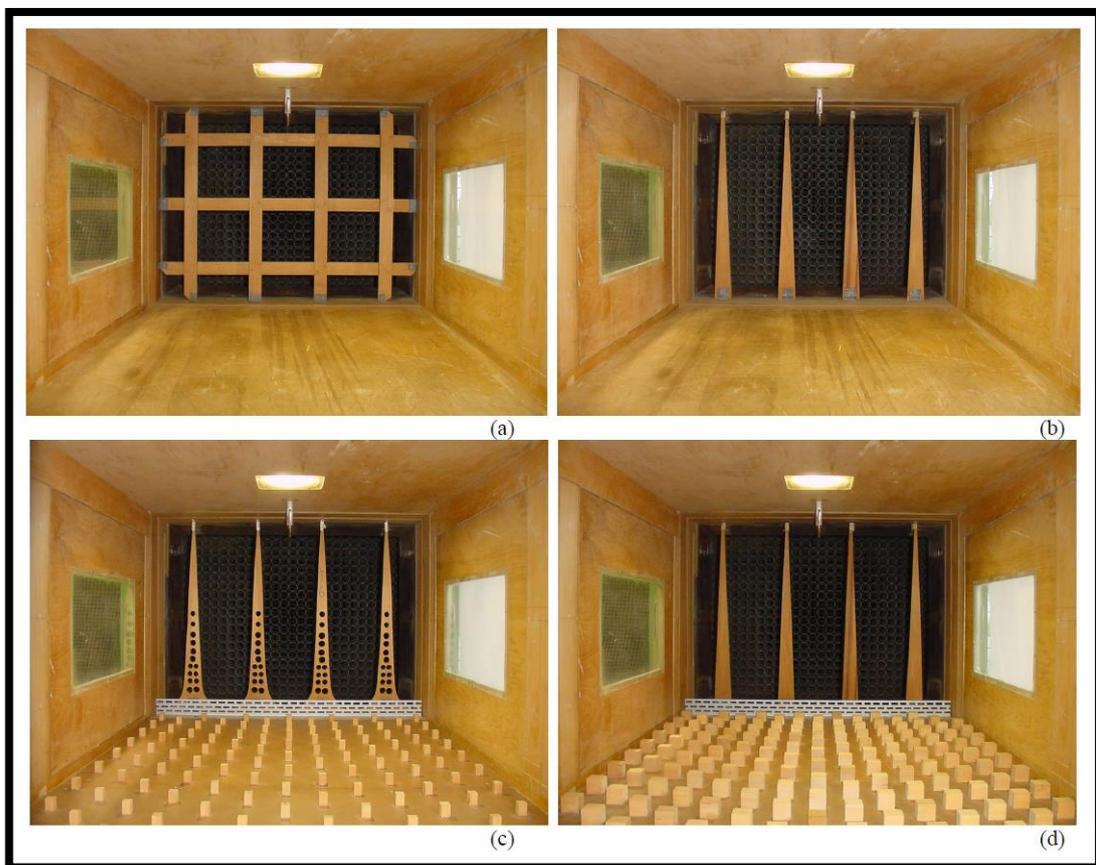
(Fonte: LOREDO-SOUZA et al., 2004)

Figura 10 - Barreiras perforadas utilizadas no túnel de vento Prof. Joaquim Blessmann



(Fonte: LOREDO-SOUZA et al., 2004)

Figura 11 - Dispositivos de geração das diferentes camadas limites do túnel de vento Prof. Joaquim Blessmann.
(a) grelha; (b) $p = 0,11$; (c) $p = 0,23$; (d) $p = 0,34$

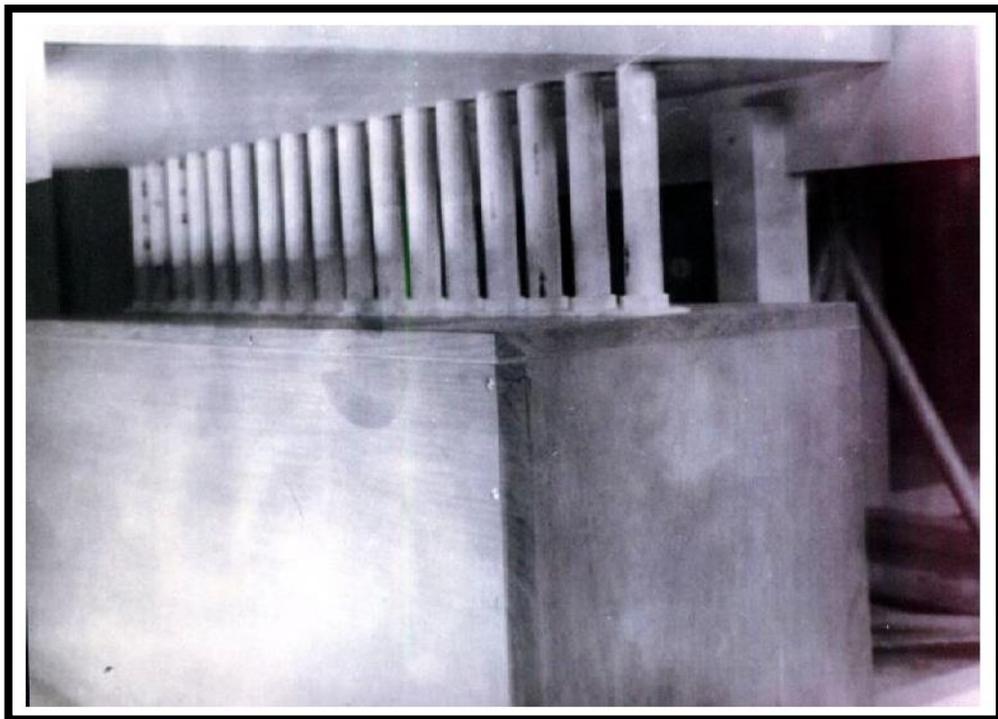


(Fonte: LOREDO-SOUZA et al., 2004)

4.2.2 Método ativo

Método ativo: Estes dispositivos, ao contrário dos dispositivos passivos vistos anteriormente, não causam uma diminuição da velocidade de escoamento, pois, não atuam como bloqueios para o vento. Outra vantagem deste método é a possibilidade de ajuste enquanto o túnel de vento está em funcionamento, o que não acontece com os métodos passivos, pois, necessita-se mudar as grelhas ou blocos no piso de posição, por exemplo, caso se queira realizar algum ajuste. A técnica mais utilizada nesse método consiste na aplicação de jatos de ar perpendiculares ao escoamento principal do túnel e pode ser observada na Figura 12. (LOREDO-SOUZA et al., 2004)

Figura 12 - Dispositivo emissor de jatos do túnel de vento Prof. Joaquim Blessmann

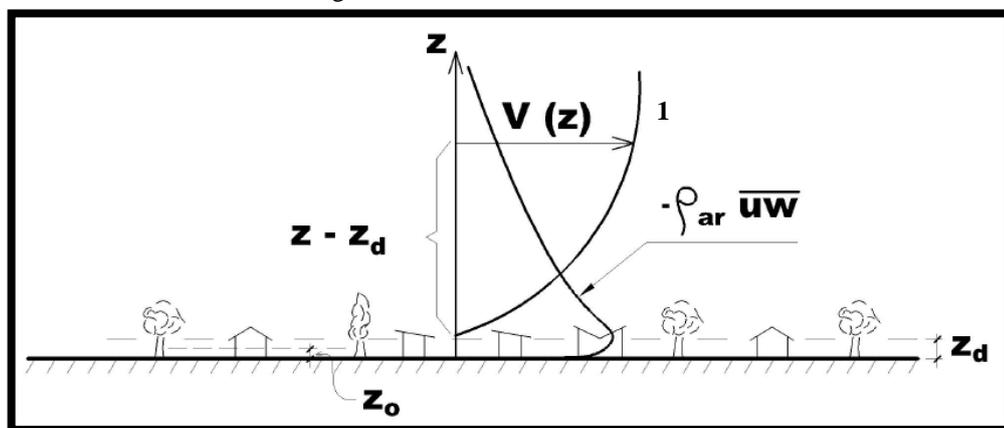


(Fonte: LOREDO-SOUZA et al., 2004)

4.2.3 Perfis de velocidades médias

As equações mais comuns na Engenharia do Vento que determinam os perfis de velocidades médias do vento utilizados nos ensaios são de dois tipos (Equações 12 e 13). Ambas possuem certas vantagens e desvantagens e são aconselhadas para diferentes tipos de situações. O perfil que se espera determinar é do tipo da curva 1, mostrada na Figura 13. (LOREDO-SOUZA et al., 2004)

Figura 13 - Perfil de velocidade média



(Fonte: LOREDO-SOUZA et al., 2004)

As equações que geram este perfil podem ser de dois tipos:

- a) Perfil em lei de potência: É representado pela equação 12 abaixo.

$$\frac{\bar{V}(z)}{\bar{V}(z_{ref})} = \left(\frac{z-z_d}{z_{ref}}\right)^p \quad (\text{Equação 12})$$

Onde:

$\bar{V}(z)$ = Velocidade de escoamento [m/s]

$\bar{V}(z_{ref})$ = Velocidade referente à altura de referência [m/s]

z = Altura [m]

z_d = Deslocamento do plano-zero [m]

z_{ref} = Altura de referência [m]

p = Índice que varia conforme dispositivo [adim]

Este expoente “p” representa as diferentes categorias de terreno (categoria I, II, III, IV ou V), também contempladas pela NBR 6123/1988 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1988), logo, representa diferentes níveis de rugosidade do terreno.

b) Perfil em lei logarítmica: É representado pela equação 13.

$$\frac{\bar{V}(z)}{u_*} = \frac{1}{k} \ln\left(\frac{z-z_d}{z_0}\right) \quad (\text{Equação 13})$$

Onde:

$\bar{V}(z)$ = Velocidade de escoamento [m/s]

u_* = Velocidade de corte [m/s]

k = Constante de von Kàrmàn [adim]

z = Altura [m]

z_d = Deslocamento do plano-zero [m]

z_0 = Rugosidade aerodinâmica [m]

4.3 O TÚNEL DE VENTO PROF. JOAQUIM BLESSMANN

O túnel de vento *Prof. Joaquim Blessmann*, que pode ser visto na Figura 14, foi especialmente projetado para a análise de modelos de construções civis, tanto para ensaios estáticos como para ensaios dinâmicos, e está em operação desde 1977. Possui um circuito fechado onde sua secção com altas velocidades tem uma relação comprimento/altura da câmara principal superior a 10 e dimensões 1,30m x 0,90m x 9,32m, conforme pode ser visto pela Figura 15. Além de simular as principais características dos ventos naturais, conseqüentemente, da camada limite atmosférica, este túnel também é capaz de reproduzir escoamentos com baixa turbulência, ou

seja, um escoamento suave e uniforme. A velocidade de escoamento de ar que pode ser atingida, sem a presença de modelos e com vento uniforme e suave, é de cerca de 46 m/s, ou 165,6 km/h. (NÚÑEZ et al.2012)

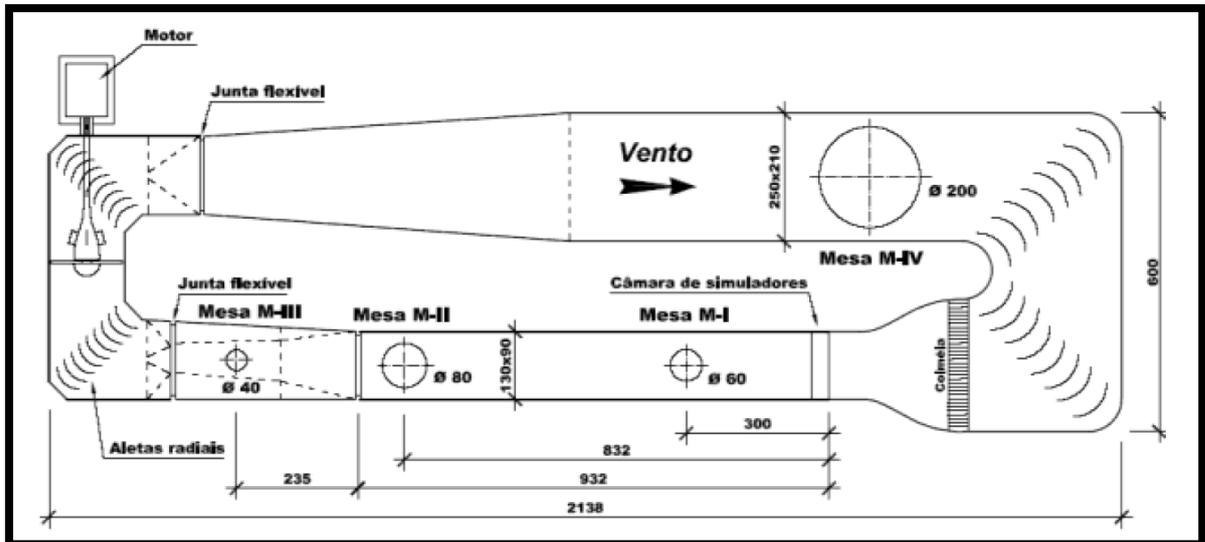
Como pode ser observado através da Figura 15, o túnel de vento possui quatro mesas giratórias (M-I, M-II, M-III e M-IV) distintas para a realização de ensaios que estão localizadas em diferentes posições do circuito. Cada uma delas é indicada para a análise de determinado tipo de estrutura. O emissor de jatos está posicionado logo após a mesa M-I e possui velocidade máxima de saída de 91 m/s. (BLESSMANN, 2011)

Figura 14 - Vista externa Túnel de Vento Prof. Joaquim Blessmann



(Fonte: NÚÑEZ et al., 2012)

Figura 15 - Circuito aerodinâmico do Túnel de Vento Prof. Joaquim Blessmann



(Fonte: NÚÑEZ et al., 2012)

Nas figuras 16 e 17 abaixo é possível visualizar dois modelos em escala reduzida dispostos dentro do túnel de vento. Estes dois modelos não fazem parte do estudo deste trabalho, mas servem como exemplos para mostrar o nível de detalhamento aplicado aos estudos em túnel de vento.

Figura 16 - Vista 1 de um modelo dentro do túnel de vento



(Fonte: LOREDO-SOUZA et al., 2004)

Figura 17 - Vista 2 de um modelo dentro do túnel de vento



(Fonte: LOREDO-SOUZA et al., 2004)

4.4 METODOLOGIA EMPREGADA NO TÚNEL DE VENTO PARA OBTENÇÃO DAS PRESSÕES NAS FACHADAS

Conforme visto anteriormente, para se obter os melhores resultados possíveis nos ensaios em túnel de vento, ou seja, para se obter os resultados mais próximos da realidade, é necessário que se atenda à dois requisitos:

- a) Simular de forma correta as características do vento natural;
- b) Representar da maneira mais verossímil possível o modelo e as condições do entorno (vizinhança e topografia);

As medições das pressões nas fachadas dos modelos se deram através de transdutores elétricos de pressão. O número de tomadas de pressões e a localização das mesmas foram definidos por parte da equipe responsável pelo projeto. Abaixo, na figura 18, podem ser observados os equipamentos utilizados para o registro das pressões nas fachadas do modelo ensaiado.

Figura 18 - Equipamentos utilizados para as medições das pressões em túnel de vento



(Fonte: elaborado pelo autor)

4.4.1 Coeficientes aerodinâmicos

Os coeficientes de pressão externa presentes nas faces do modelo foram determinados a partir dos registros das séries temporais das pressões devidas ao vento, sendo calculados os coeficientes de pressão média (equação 14), rms (equação 15), máximo (equação 16) e mínimo (equação 17). As respectivas equações são mostradas logo abaixo.

a) Coeficiente de pressão média:

$$\bar{c}_p = \frac{\frac{1}{T} \int_0^T p(t) \cdot dt}{q} \quad (\text{Equação 14})$$

Onde:

\bar{c}_p = Coeficiente de pressão média [adim]

T = Período de amostragem [segundos]

$p(t)$ = Pressão instantânea, na superfície da edificação, medida em relação à pressão estática de referência [N/m²]

q = Pressão dinâmica de referência [N/m²]

t = Tempo [segundos]

b) Coeficiente de pressão rms:

$$\tilde{c}_p = \frac{\sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T (p(t) - \bar{p})^2 . dt}}{q} \quad (\text{Equação 15})$$

Onde:

\tilde{c}_p = Coeficiente de pressão rms [adim]

T = Período de amostragem [segundos]

$p(t)$ = Pressão instantânea, na superfície da edificação, medida em relação à pressão estática de referência [N/m²]

q = Pressão dinâmica de referência [N/m²]

t = Tempo [segundos]

\bar{p} = valor médio de $p(t)$ para o período de amostragem T [N/m²]

c) Coeficiente de pressão máximo

$$\hat{c}_p = \frac{p_{m\acute{a}x}}{q} \quad \text{(Equação 16)}$$

Onde:

\hat{c}_p = Coeficiente de pressão máximo [adim]

$p_{m\acute{a}x}$ = Valor máximo de $p(t)$ para o período de amostragem T [N/m²]

q = Pressão dinâmica de referência [N/m²]

d) Coeficiente de pressão mínimo

$$\check{c}_p = \frac{p_{m\grave{i}n}}{q} \quad \text{(Equação 17)}$$

Onde:

\check{c}_p = Coeficiente de pressão mínimo [adim]

$p_{m\grave{i}n}$ = Valor mínimo de $p(t)$ para o período de amostragem T [N/m²]

q = Pressão dinâmica de referência [N/m²]

4.4.2 Pressões nas fachadas

Para a determinação das pressões locais, ou seja, as pressões utilizadas para o dimensionamento e verificação dos elementos de vedação que são o objeto de estudo deste trabalho, existe mais de um tipo de metodologia. Inclusive, conforme exposto pelos relatórios técnicos dos modelos analisados, não há um consenso total dentro do ramo da engenharia do vento sobre qual método para determinação das pressões locais é o mais adequado.

- a) O primeiro método para determinação das pressões locais utiliza o conceito de fator de pico e é representado através da equação 18 abaixo:

$$p_0 = \bar{p} + (g \cdot \tilde{p}) \quad (\text{Equação 18})$$

Onde:

p_0 = Pressão de projeto [N/m²]

\bar{p} = Carga causada pelo vento médio (média sobre uma hora, usualmente) [N/m²]

g = Fator de pico equivalente [adim]

\tilde{p} = Média quadrática das flutuações em torno da pressão média [N/m²]

- b) O segundo método se trata da utilização dos valores de pico medidos em túnel de vento, mesmo estes valores podendo ser consideravelmente maiores do que aqueles referentes aos coeficientes rms ou valores médios de g . Este método é expressado pela equação 19.

$$p_0 = \bar{q} \cdot \check{c}_p \quad (\text{Equação 19})$$

Onde:

p_0 = Pressão de projeto [N/m²]

\bar{q} = Pressão dinâmica de referência, medida sobre um intervalo de uma hora [N/m²]

\check{c}_p = Coeficiente de pressão de pico (mínimo ou máximo) [adim]

- c) O terceiro método possível corresponde à utilização dos valores médios dos coeficientes de pressão juntamente com as pressões dinâmicas de pico, assim, a pressão de projeto é dada pela equação 20 abaixo.

$$p_0 = \check{q} \cdot \bar{c}_p \quad (\text{Equação 20})$$

Onde:

p_0 = Pressão de projeto [N/m²]

\check{q} = Pressão dinâmica de referência, medida sobre um intervalo de aproximadamente três segundos [N/m²]

\bar{c}_p = Coeficiente de pressão médio (média temporal) [adim]

É importante destacar que os resultados utilizados para projeto final das estruturas são aqueles mais a favor da segurança (o maior valor dentre as equações 18, 19 e 20), utilizando os coeficientes determinados a partir de ensaios em túnel de vento.

Cabe ressaltar que as pressões internas, além das externas, também tem papel importante na determinação dos esforços resultantes que atuarão nos elementos de revestimento e vedação, pois, a pressão resultante é igual à diferença entre a pressão externa e a interna. Contudo, uma determinação precisa das pressões internas atuantes na edificação é bastante difícil e complexa, pois, são influenciadas por fatores como a permeabilidade da edificação e/ou se as janelas ou outras aberturas serão deixadas abertas ou eventualmente venham a ser quebradas devido a tempestades.

A NBR 6123/1988 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1988) apresenta uma metodologia para o cálculo das pressões externas que resulta em estimativas razoáveis. Porém, os resultados apresentados a seguir para as edificações analisadas, tanto os obtidos no túnel de vento como os obtidos através da NBR, não consideram os efeitos das pressões internas.

5 EDIFICAÇÕES ANALISADAS, RESULTADOS OBTIDOS E QUADROS COMPARATIVOS

5.1 CONSIDERAÇÕES GERAIS

Para possibilitar o desenvolvimento deste trabalho e poder traçar um comparativo entre os resultados obtidos através da NBR 6123/1988 e os resultados obtidos em túnel de vento, fez-se necessária a seleção de algumas edificações que já tinham ensaios realizados em túnel de vento.

Como já mencionado anteriormente, a NBR 6123/1988 contempla um número restrito de formas das edificações, logo, para que a comparação dos resultados fosse a melhor possível, foram escolhidas edificações que se aproximassem de formas paralelepípedicas, com plantas de base retangular e com o menor número possível de saliências ou reentrâncias.

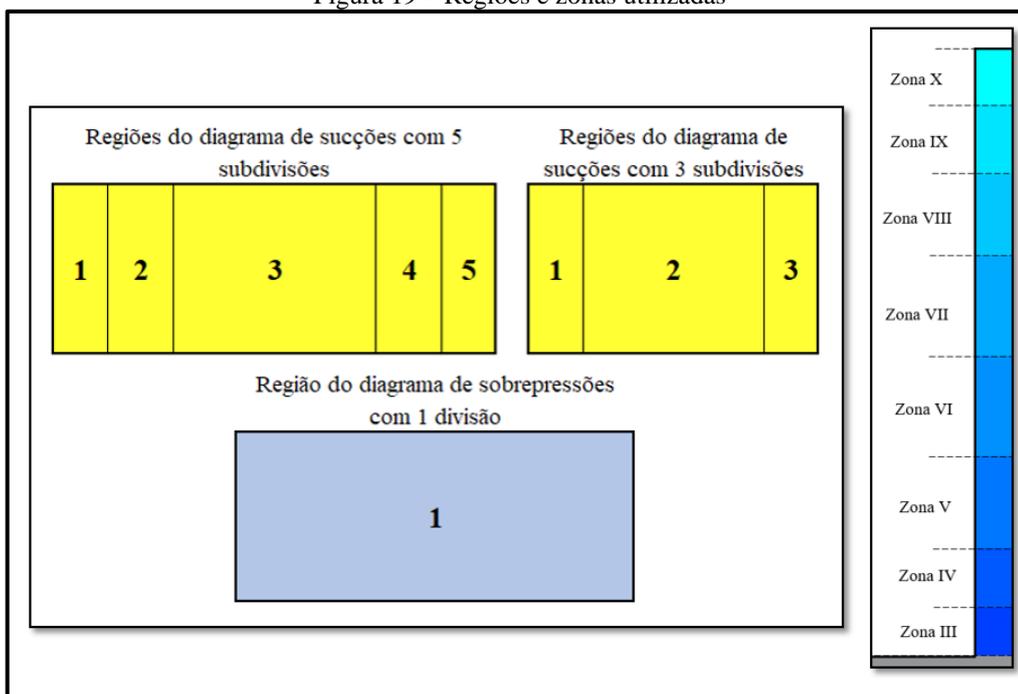
Nos itens a seguir estão elencadas as edificações analisadas assim como seus respectivos resultados, que são apresentados através de diagramas de blocos e quadros comparativos. O diagrama de blocos consiste em um modelo esquemático da edificação subdividido em áreas de influência onde atuam diferentes pressões. Também são descritas algumas características das edificações e dos modelos ensaiados. No total foram analisadas 8 edificações.

Para entendimento deste trabalho é importante compreender alguns critérios que foram adotados no decorrer dos cálculos e análises:

- a) Conforme poderá ser observado posteriormente, os ensaios realizados no túnel de vento, em alguns casos, contemplam mais que uma única categoria de vento para uma mesma edificação. Isso se deve ao fato da edificação possuir diferentes rugosidades de terreno no seu entorno e o túnel de vento poder analisar uma envoltória de 360° em torno do modelo. Contudo, para fins de cálculo pela NBR, somente os ângulos perpendiculares às fachadas das edificações são considerados. Assim, diferentes fachadas, possivelmente, podem estar expostas à diferentes categorias de terreno.

- b) Para fins de cálculo pela NBR, todas as fachadas das edificações foram tratadas como se fossem superfícies planas. Isso pode causar pequenas variações nos resultados, pois, em alguns casos, as mesmas possuíam algumas reentrâncias.
- c) Para possibilitar a obtenção e comparação dos resultados, as edificações foram subdivididas em zonas, localizadas na direção vertical, e regiões, localizadas na direção horizontal. Ambas as subdivisões são exemplificadas pela figura 19 abaixo. As proporções das regiões horizontais dos diagramas de sucção são determinadas de acordo com a localização dos coeficientes de pressão mostrados na parte inferior da figura 4.

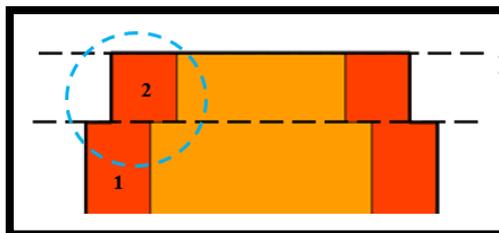
Figura 19 – Regiões e zonas utilizadas



(Fonte: elaborado pelo autor)

- d) As pressões obtidas através dos ensaios em túnel de vento, localizadas dentro da área analisada (zona vs região), consideradas para comparação foram aquelas que tiveram o maior valor, mesmo que atuassem em uma área pequena proporcionalmente às demais. Assim, temos uma comparação a favor da segurança.
- e) Como algumas edificações possuem áreas no topo com larguras diferentes da base da edificação (área destacada em azul na figura 20), as regiões consideradas nestas partes (ponto 2) são as mesmas localizadas na parte inferior (ponto 1).

Figura 20 - Regiões utilizadas para as áreas de topo



(Fonte: elaborado pelo autor)

Informações como o nome das edificações, assim como suas respectivas localizações, não serão divulgadas, pois, se tratam de informações confidenciais e não são relevantes ao entendimento e análise dos resultados.

As imagens correspondentes aos resultados do túnel de vento foram obtidas dos relatórios técnicos internos de uso restrito do Laboratório de Aerodinâmica das Construções.

5.2 EDIFICAÇÃO A

Para a obtenção dos resultados em túnel de vento desta edificação foi construído um modelo cuja escala é de 1/400, sendo dispostas um total de 382 tomadas de pressão para obtenção das pressões nas fachadas. As pressões foram auferidas em intervalos de 15° de incidência do vento, girando-se o modelo em 360°, além de quatro ângulos adicionais (6°, 96°, 186° e 276°) correspondentes aos ventos perpendiculares às fachadas da edificação. Assim, totalizaram-se 28 ângulos de incidência do vento e, conseqüentemente, 10.696 registros de pressões no túnel de vento. O quadro 4 apresenta os parâmetros utilizados para esta edificação.

Quadro 4 - Parâmetros da edificação A

	Vo [m/s]	S1	S2	S3	Fator Vizinhança	Vk [m/s]	qk [Pa]
NBR	31	1,157 à 1,593*	1,249	1	Não se aplica	44,8 à 61,7	1229,0 à 2330,0
TÚNEL DE VENTO	31	1*	1,231	1	Não se aplica	38,2	893,0

* Há uma variação significativa entre os valores da NBR e do Túnel, pois, o Túnel já considera os efeitos topográficos nos coeficientes aerodinâmicos

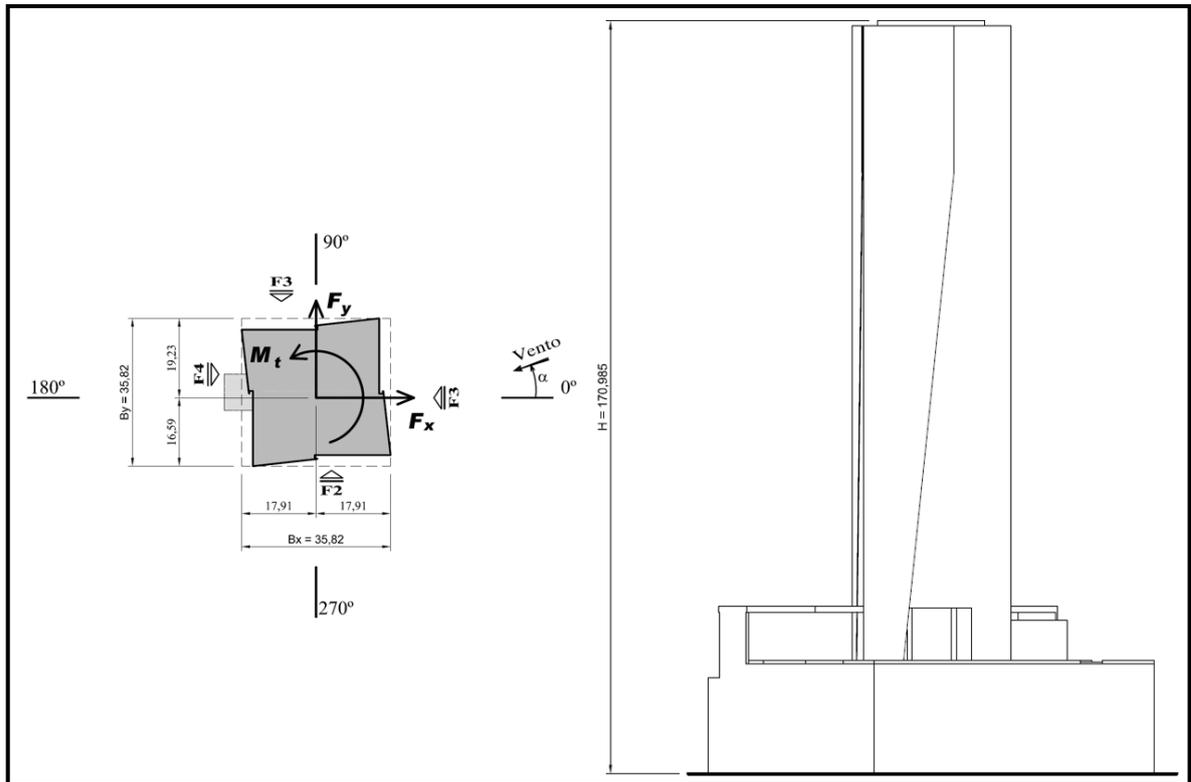
(Fonte: elaborado pelo autor)

Abaixo é apresentada uma sequência de figuras e quadros que apresentam as dimensões, os ângulos de referência do vento, os resultados obtidos nos ensaios em túnel de vento e através da NBR 6123/1988, assim como as comparações efetuadas para cada fachada da edificação A.

Dessa maneira, segue descrição e numeração de cada figura para facilitar a compreensão e localização das informações.

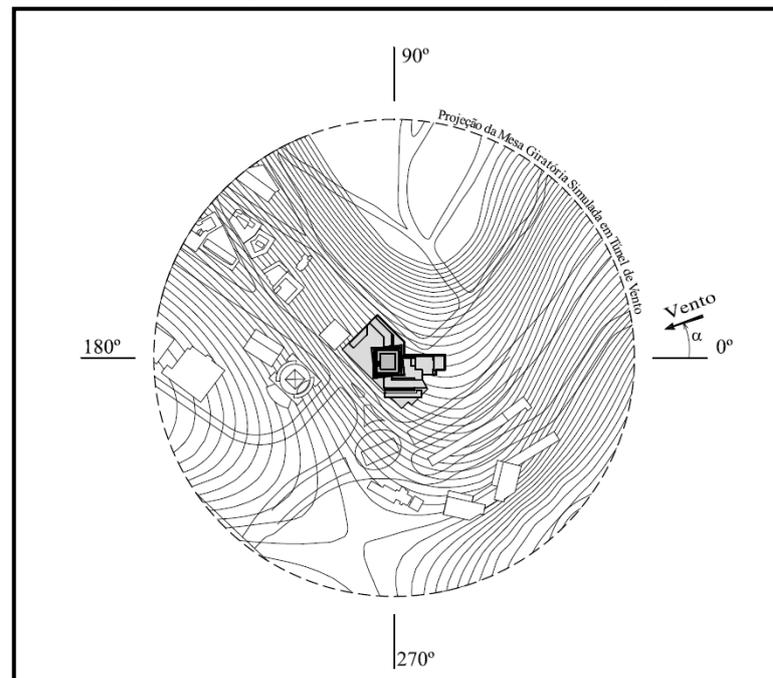
- Figura 21 (Fachada frontal e planta baixa da edificação A): Apresenta uma imagem frontal da fachada da edificação A, assim como uma imagem da planta baixa, ambas utilizadas para obtenção das dimensões da edificação necessárias à execução dos cálculos.
- Figura 22 (Ângulos de referência do vento da edificação A): Ângulos utilizados para determinação de qual categoria de terreno cada fachada está exposta.
- Figuras 23 a 30 (Sucções e sobrepressões estimadas pela NBR e medidas em Túnel de Vento para a edificação A): Nestas imagens são apresentados os resultados obtidos através dos dois métodos (NBR 6123/1988 e Túnel de Vento) para sucções e sobrepressões, em todas as fachadas da edificação A.
- Quadro 5 (Comparativo dos resultados entre NBR 6123/1988 e Túnel de Vento para edificação A): Neste quadro pode-se observar a diferença entre os resultados obtidos por ambos os métodos. Nas células em verde são apresentados os resultados absolutos de ambos os métodos e nas células em amarelo é mostrada uma relação entre esses dois resultados.

Figura 21 - Fachada frontal e planta baixa da edificação A



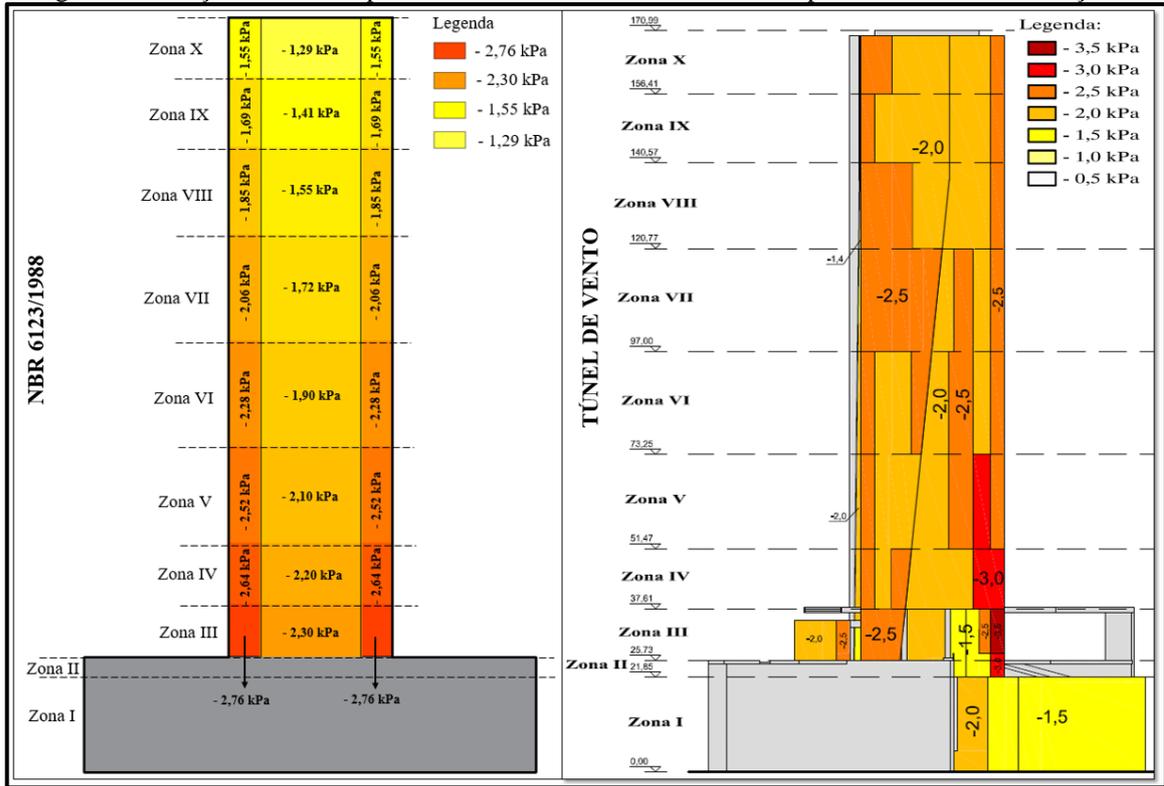
(Fonte: Relatório técnico interno de uso restrito do Laboratório de Aerodinâmica das Construções)

Figura 22 - Ângulos de referência do vento da edificação A



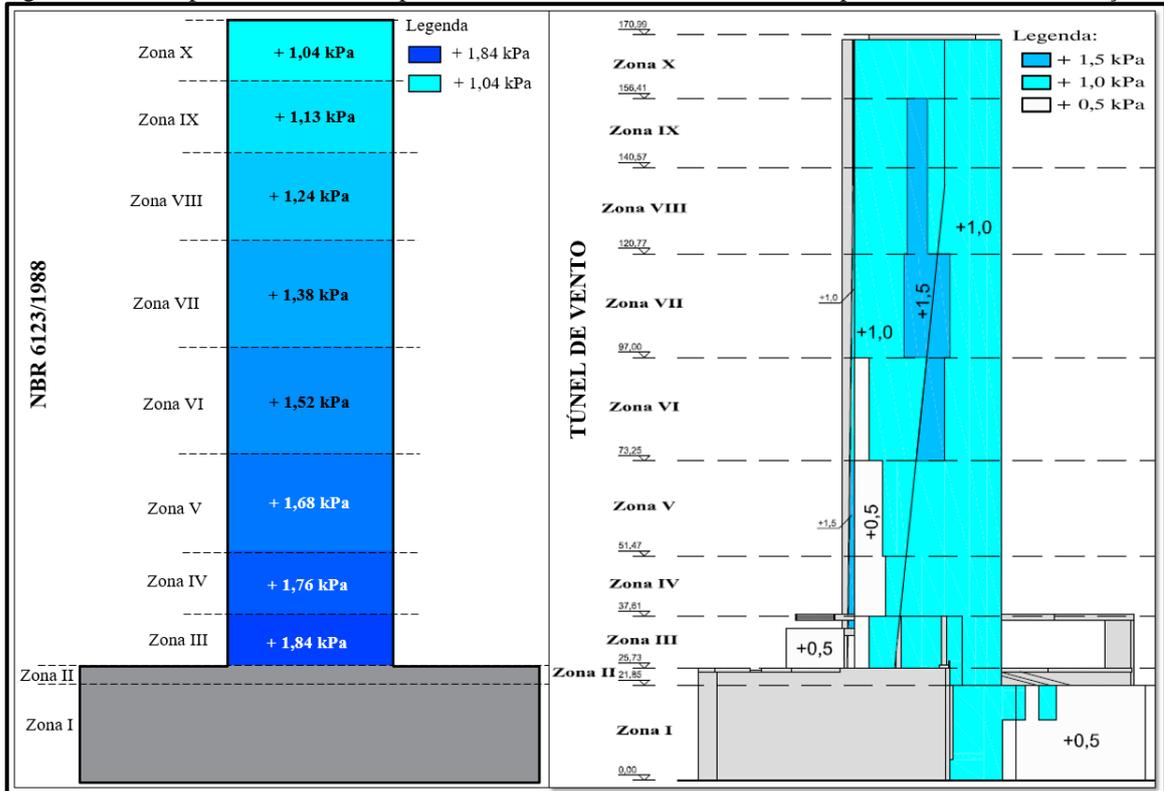
(Fonte: Relatório técnico interno de uso restrito do Laboratório de Aerodinâmica das Construções)

Figura 23 - Sucções estimadas pela NBR e medidas em Túnel de Vento para fachada 1 da edificação A



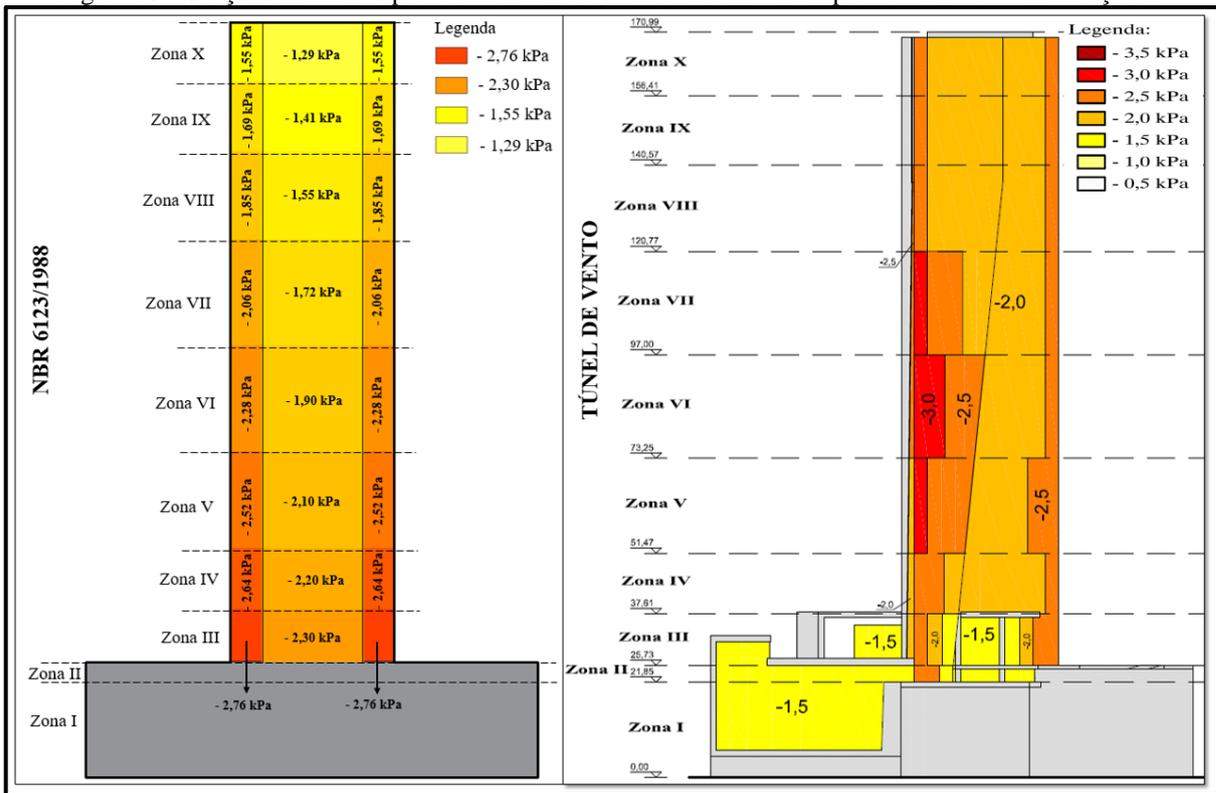
(Fonte: elaborado pelo autor)

Figura 24 - Sobrepressões estimadas pela NBR e medidas em Túnel de Vento para fachada 1 da edificação A



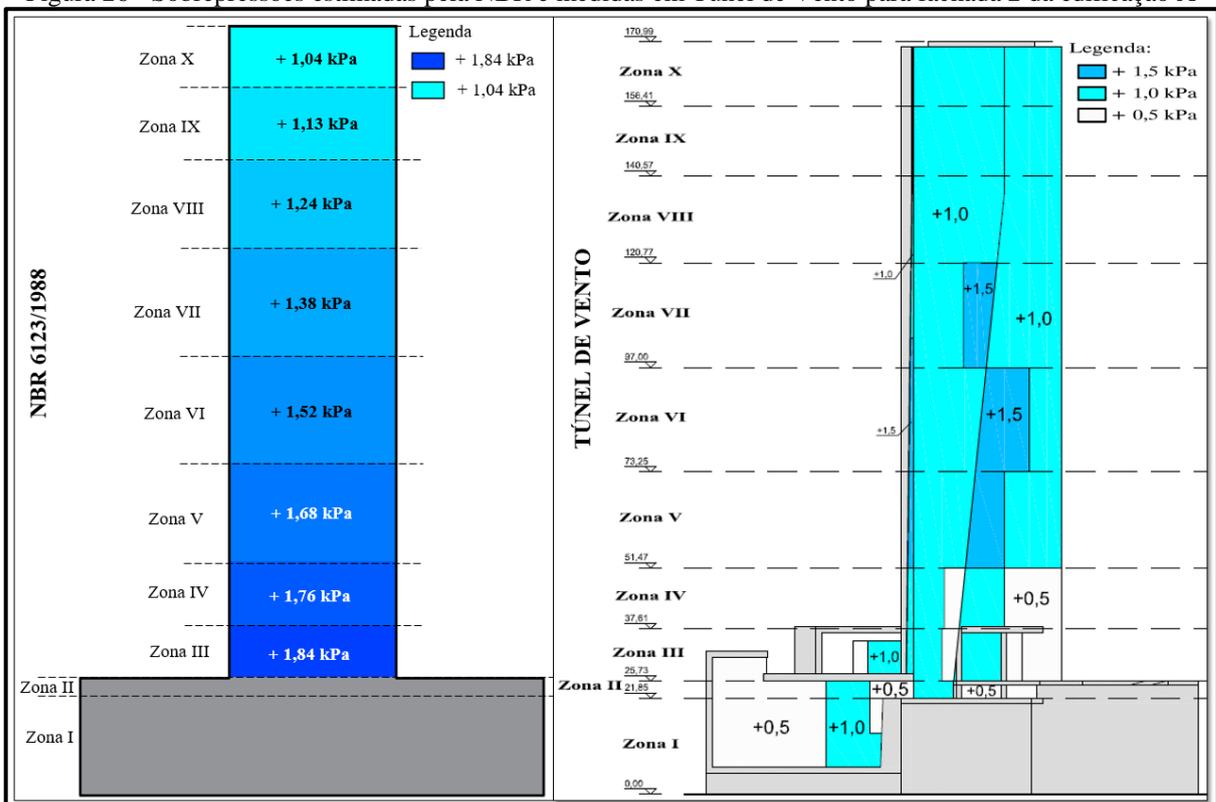
(Fonte: elaborado pelo autor)

Figura 25 - Sucções estimadas pela NBR e medidas em Túnel de Vento para fachada 2 da edificação A



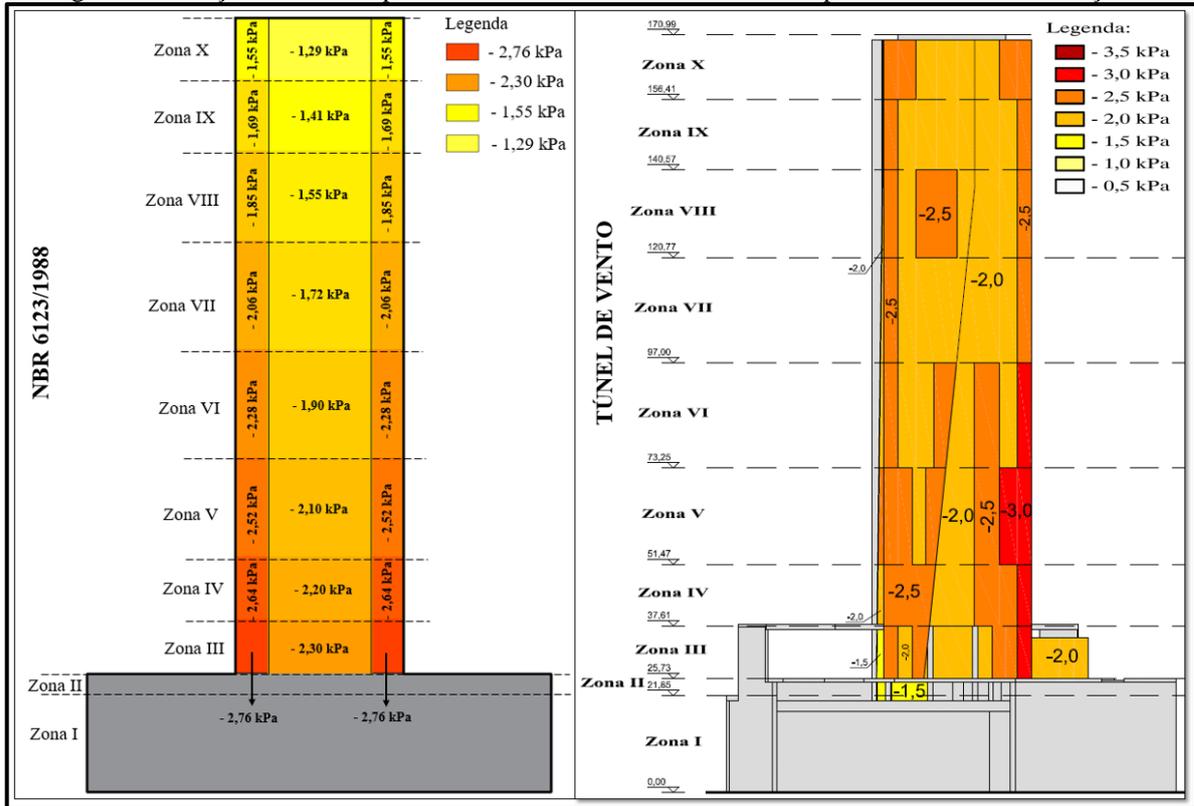
(Fonte: elaborado pelo autor)

Figura 26 - Sobrepressões estimadas pela NBR e medidas em Túnel de Vento para fachada 2 da edificação A



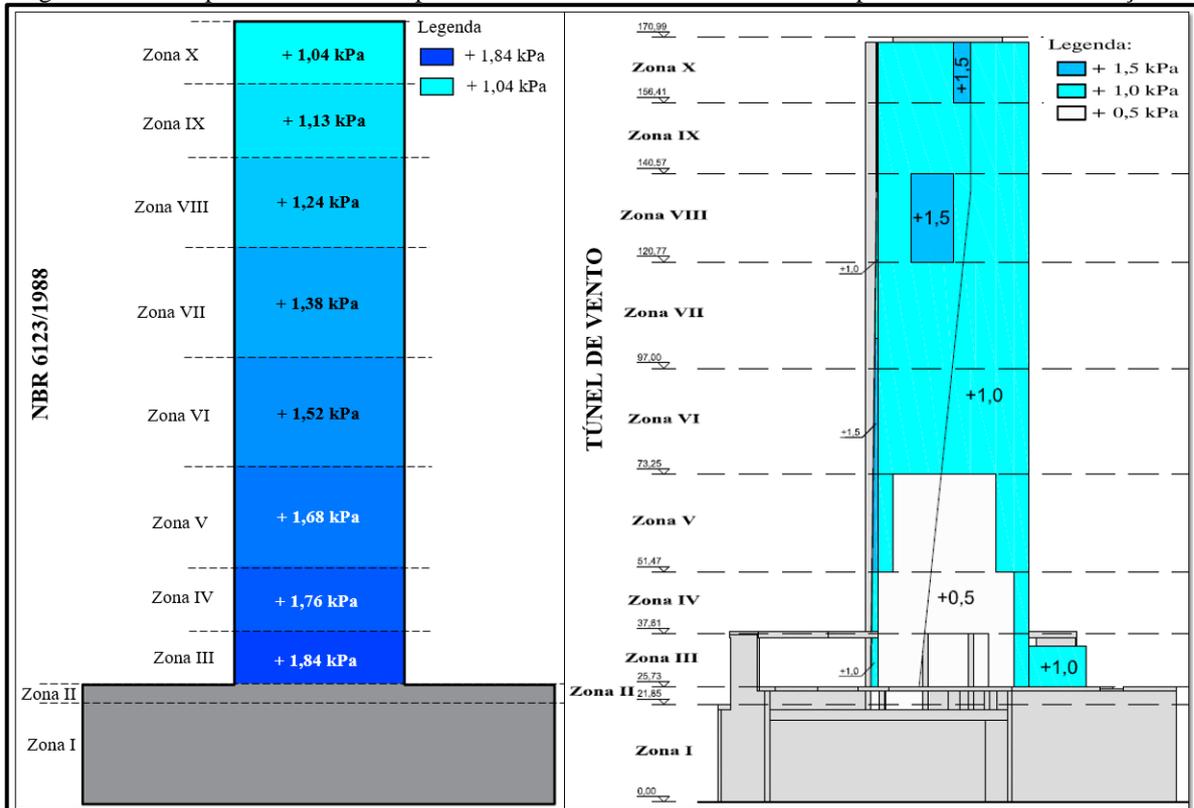
(Fonte: elaborado pelo autor)

Figura 27 - Sucções estimadas pela NBR e medidas em Túnel de Vento para fachada 3 da edificação A



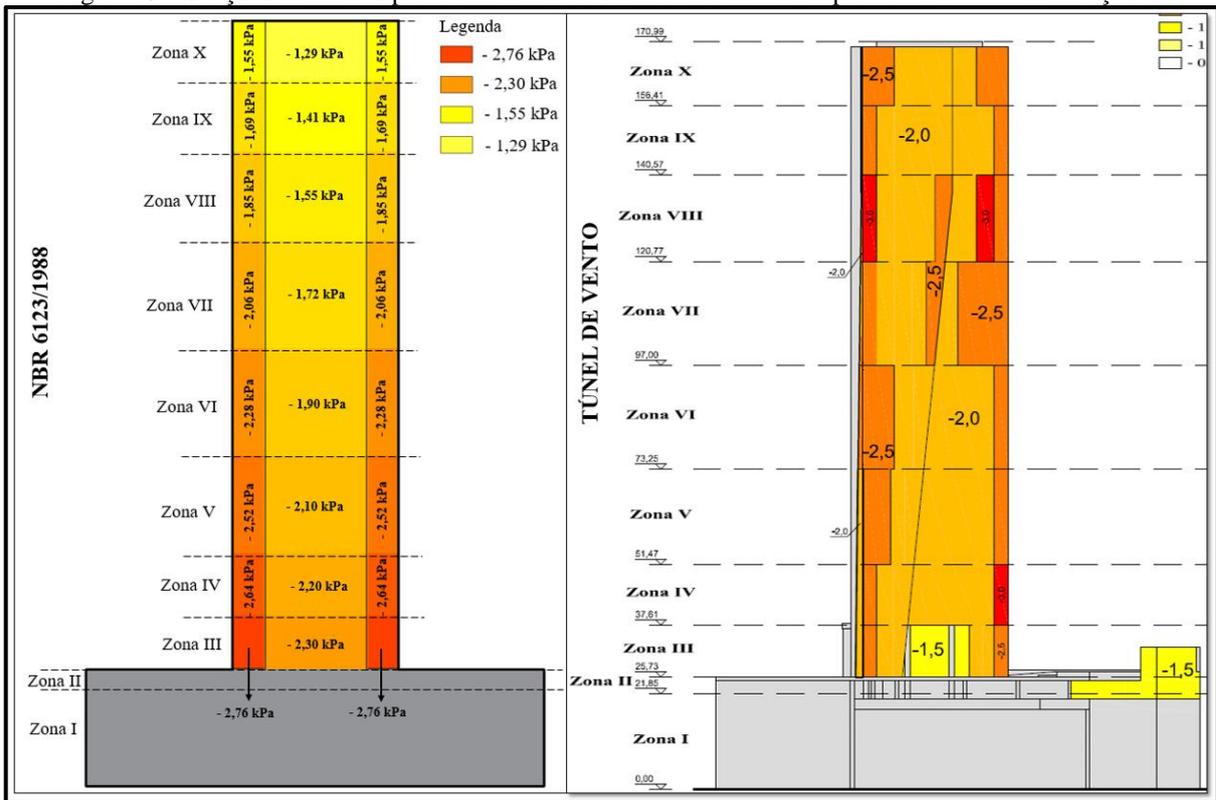
(Fonte: elaborado pelo autor)

Figura 28 - Sobrepressões estimadas pela NBR e medidas em Túnel de Vento para fachada 3 da edificação A



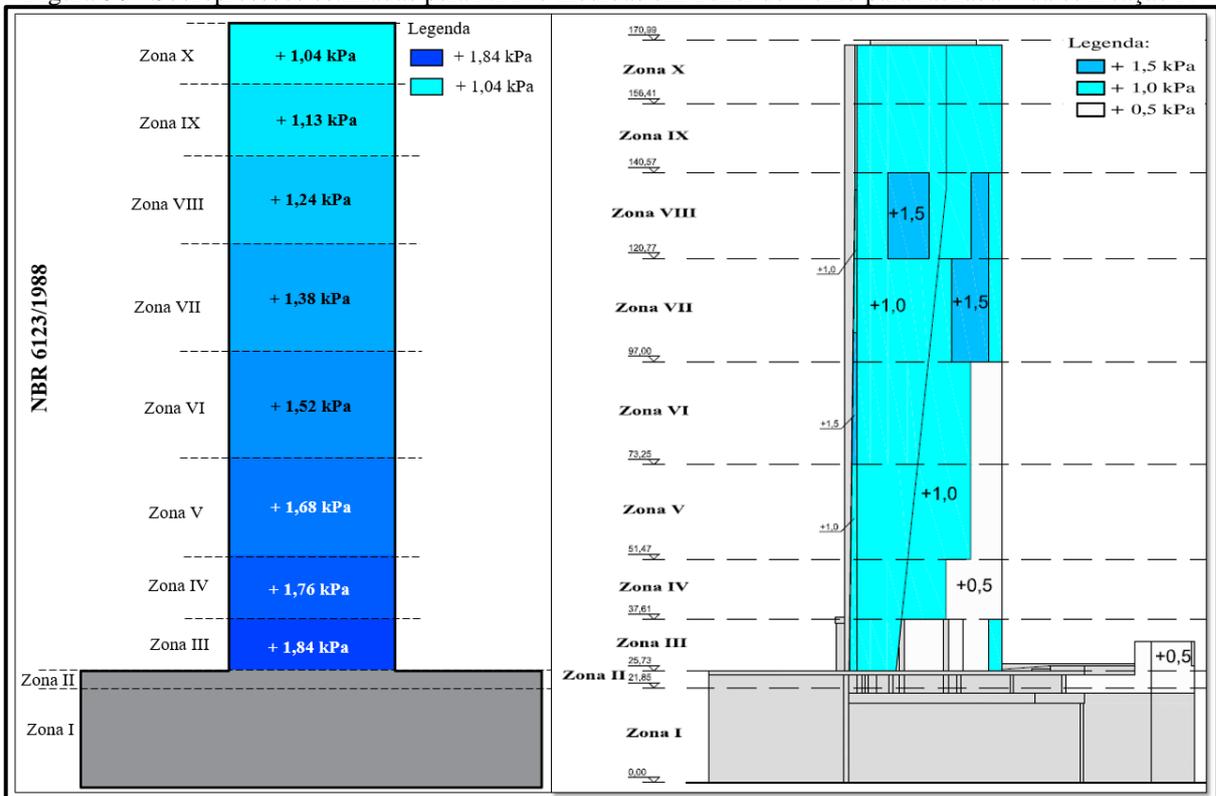
(Fonte: elaborado pelo autor)

Figura 29 - Sucções estimadas pela NBR e medidas em Túnel de Vento para fachada 4 da edificação A



(Fonte: elaborado pelo autor)

Figura 30 - Sobrepressões estimadas pela NBR e medidas em Túnel de Vento para fachada 4 da edificação A



(Fonte: elaborado pelo autor)

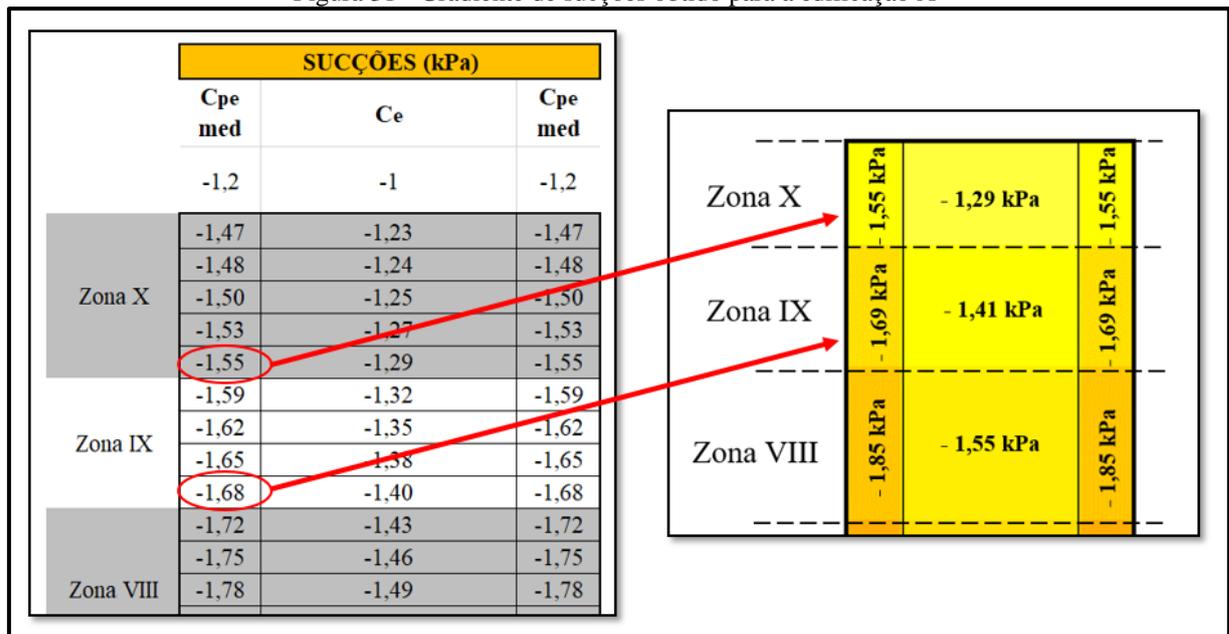
Destaca-se que, excepcionalmente para a edificação A, os resultados estimados pela norma caracterizam-se por apresentar uma distribuição em forma de gradiente de pressões, conforme observado nas figuras 23 à 30. Isso ocorreu, pois, foi a única edificação analisada que estava localizada em um terreno bastante acidentado, neste caso em um morro com $\theta = 16,34^\circ$. Assim, para obter os respectivos valores de S1, foi utilizada a equação 6, apresentada no item 3.1.2.1.

A figura 31 mostra uma simplificação que foi feita com relação aos resultados obtidos para edificação A. Nesta figura observa-se as sucções, porém para as sobrepressões o mesmo procedimento foi realizado. Observa-se, por exemplo, que na intersecção da região 1 com a zona X os valores variam de -1,47 à -1,55, porém, foi adotado o valor de -1,55 por duas razões:

- 1) Para favorecer a segurança do projeto;
- 2) Porque seria inviável executar um projeto de elementos de revestimento/vedação em que um gradiente de pressões com intervalos muito pequenos estivesse presente. Para evitar isso foram consideradas faixas para o gradiente de pressões, sendo representadas pelas próprias zonas, como pode ser observado nas imagens dos resultados.

Este critério aplica-se a todo restante da edificação.

Figura 31 - Gradiente de sucções obtido para a edificação A



(Fonte: elaborado pelo autor)

Quadro 5 - Comparativo dos resultados entre NBR e Túnel de Vento para edificação A

Edificação A - Sucções na fachada 1									
Zona	Região 1			Região 2			Região 3		
	NBR [kPa]	Túnel [kPa]	NBR/ Túnel	NBR [kPa]	Túnel [kPa]	NBR/ Túnel	NBR [kPa]	Túnel [kPa]	NBR/ Túnel
X	1,55	2,50	0,62	1,29	2,50	0,52	1,55	2,50	0,62
IX	1,69	2,50	0,68	1,41	2,00	0,71	1,69	2,50	0,68
VIII	1,85	2,50	0,74	1,55	2,50	0,62	1,85	2,50	0,74
VII	2,06	2,50	0,82	1,72	2,50	0,69	2,06	2,50	0,82
VI	2,28	2,50	0,91	1,90	2,50	0,76	2,28	2,50	0,91
V	2,52	2,50	1,01	2,10	2,50	0,84	2,52	3,00	0,84
IV	2,64	2,50	1,06	2,20	2,50	0,88	2,64	3,00	0,88
III	2,76	2,50	1,10	2,30	2,50	0,92	2,76	3,50	0,79

Edificação A - Sucções na fachada 2									
Zona	Região 1			Região 2			Região 3		
	NBR [kPa]	Túnel [kPa]	NBR/ Túnel	NBR [kPa]	Túnel [kPa]	NBR/ Túnel	NBR [kPa]	Túnel [kPa]	NBR/ Túnel
X	1,55	2,50	0,62	1,29	2,00	0,65	1,55	2,50	0,62
IX	1,69	2,50	0,68	1,41	2,00	0,71	1,69	2,50	0,68
VIII	1,85	2,50	0,74	1,55	2,00	0,78	1,85	2,50	0,74
VII	2,06	3,00	0,69	1,72	2,50	0,69	2,06	2,50	0,82
VI	2,28	3,00	0,76	1,90	2,50	0,76	2,28	2,50	0,91
V	2,52	3,00	0,84	2,10	2,50	0,84	2,52	2,50	1,01
IV	2,64	2,50	1,06	2,20	2,50	0,88	2,64	2,50	1,06
III	2,76	2,50	1,10	2,30	2,00	1,15	2,76	2,50	1,10

Edificação A - Sucções na fachada 3									
Zona	Região 1			Região 2			Região 3		
	NBR [kPa]	Túnel [kPa]	NBR/ Túnel	NBR [kPa]	Túnel [kPa]	NBR/ Túnel	NBR [kPa]	Túnel [kPa]	NBR/ Túnel
X	1,55	2,50	0,62	1,29	2,50	0,52	1,55	2,50	0,62
IX	1,69	2,50	0,68	1,41	2,00	0,71	1,69	2,50	0,68
VIII	1,85	2,50	0,74	1,55	2,50	0,62	1,85	2,50	0,74
VII	2,06	2,50	0,82	1,72	2,00	0,86	2,06	2,50	0,82
VI	2,28	2,50	0,91	1,90	2,50	0,76	2,28	3,00	0,76
V	2,52	2,50	1,01	2,10	2,50	0,84	2,52	3,00	0,84
IV	2,64	2,50	1,06	2,20	2,50	0,88	2,64	3,00	0,88
III	2,76	2,50	1,10	2,30	2,50	0,92	2,76	3,00	0,92

Edificação A - Sucções na fachada 4									
Zona	Região 1			Região 2			Região 3		
	NBR [kPa]	Túnel [kPa]	NBR/ Túnel	NBR [kPa]	Túnel [kPa]	NBR/ Túnel	NBR [kPa]	Túnel [kPa]	NBR/ Túnel
X	1,55	2,50	0,62	1,29	2,50	0,52	1,55	2,50	0,62
IX	1,69	2,50	0,68	1,41	2,00	0,71	1,69	2,50	0,68
VIII	1,85	2,50	0,74	1,55	2,50	0,62	1,85	3,00	0,62
VII	2,06	2,50	0,82	1,72	2,50	0,69	2,06	2,50	0,82
VI	2,28	2,50	0,91	1,90	2,50	0,76	2,28	2,50	0,91
V	2,52	2,50	1,01	2,10	2,50	0,84	2,52	2,50	1,01
IV	2,64	2,50	1,06	2,20	2,00	1,10	2,64	3,00	0,88
III	2,76	2,50	1,10	2,30	2,00	1,15	2,76	2,50	1,10

Edificação A - Sobrepressões na fachada 1			
Zona	Região 1		
	NBR [kPa]	Túnel [kPa]	NBR/ Túnel
X	1,04	1,00	1,04
IX	1,13	1,50	0,75
VIII	1,24	1,50	0,83
VII	1,38	1,50	0,92
VI	1,52	1,50	1,01
V	1,68	1,00	1,68
IV	1,76	1,00	1,76
III	1,84	1,00	1,84

Edificação A - Sobrepressões na fachada 2			
Zona	Região 1		
	NBR [kPa]	Túnel [kPa]	NBR/ Túnel
X	1,04	1,00	1,04
IX	1,13	1,00	1,13
VIII	1,24	1,00	1,24
VII	1,38	1,50	0,92
VI	1,52	1,50	1,01
V	1,68	1,50	1,12
IV	1,76	1,00	1,76
III	1,84	1,00	1,84

Edificação A - Sobrepressões na fachada 3			
Zona	Região 1		
	NBR [kPa]	Túnel [kPa]	NBR/ Túnel
X	1,04	1,50	0,69
IX	1,13	1,00	1,13
VIII	1,24	1,50	0,83
VII	1,38	1,00	1,38
VI	1,52	1,00	1,52
V	1,68	1,00	1,68
IV	1,76	1,00	1,76
III	1,84	1,00	1,84

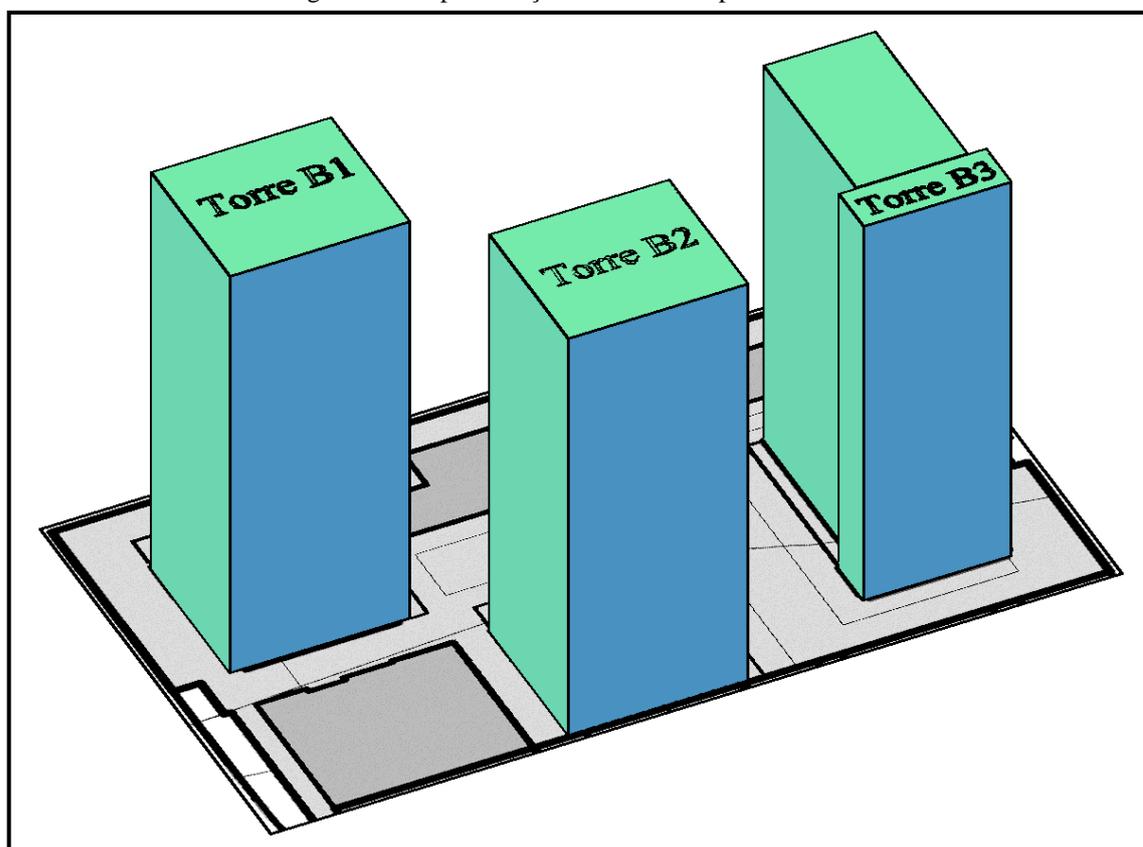
Edificação A - Sobrepressões na fachada 4			
Zona	Região 1		
	NBR [kPa]	Túnel [kPa]	NBR/ Túnel
X	1,04	1,00	1,04
IX	1,13	1,00	1,13
VIII	1,24	1,50	0,83
VII	1,38	1,50	0,92
VI	1,52	1,00	1,52
V	1,68	1,00	1,68
IV	1,76	1,00	1,76
III	1,84	1,00	1,84

(Fonte: elaborado pelo autor)

5.3 EDIFICAÇÕES B1, B2 e B3

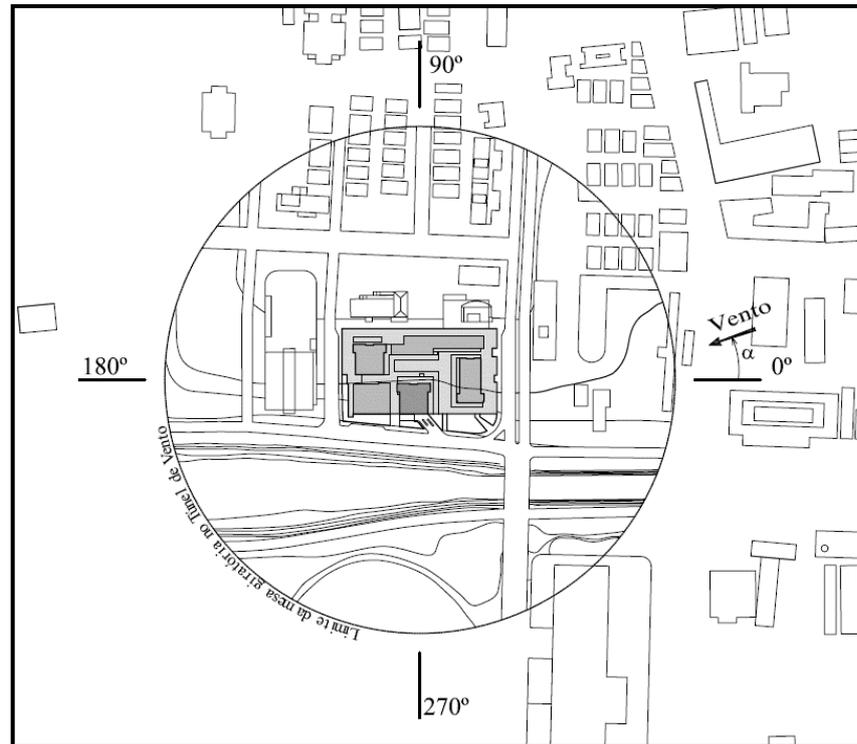
As edificações B1, B2 e B3 fazem parte do mesmo empreendimento. As torres B1 e B2 possuem as mesmas dimensões e a torre B3 possui dimensões diferentes. O modelo reduzido para os ensaios em túnel de vento foi em escala 1/350. Para as edificações B1 e B2 foram posicionadas 218 tomadas de pressão, totalizando 5.232 registros. No entanto, para a edificação B3, foram utilizadas 255 tomadas de pressão, totalizando 6.120 registros. Nas figuras 32 e 33 pode-se observar uma representação geral do empreendimento e os ângulos de referência do vento utilizados, respectivamente.

Figura 32 - Representação em 3D do empreendimento B



(Fonte: elaborado pelo autor)

Figura 33 - Ângulos de referência do vento do empreendimento B



(Fonte: Relatório técnico interno de uso restrito do Laboratório de Aerodinâmica das Construções)

5.3.1 Edificação B1

Embora as edificações B1, B2 e B3 façam parte do mesmo empreendimento, todas foram analisadas individualmente. Dessa maneira, abaixo segue descrição e numeração de cada quadro e figura relativas à edificação B1 para facilitar a compreensão e localização dos dados.

- Quadro 6 (Parâmetros da edificação B1): Apresentação dos principais parâmetros utilizados para estimativa e medição das pressões, tanto através da NBR 6123/1988, como através dos ensaios em túnel de vento.
- Figura 34 (Fachada frontal e planta baixa da edificação B1): Apresenta uma imagem frontal da fachada da edificação B1, assim como uma imagem da planta baixa, ambas utilizadas para obtenção das dimensões da edificação necessárias à execução dos cálculos.
- Figuras 35 a 42 (Sucções e sobrepessões estimadas pela NBR e medidas em Túnel de Vento para a edificação B1): Nestas imagens são apresentados os resultados obtidos

através dos dois métodos (NBR 6123/1988 e Túnel de Vento) para sucções e sobrepressões, em todas as fachadas da edificação B1.

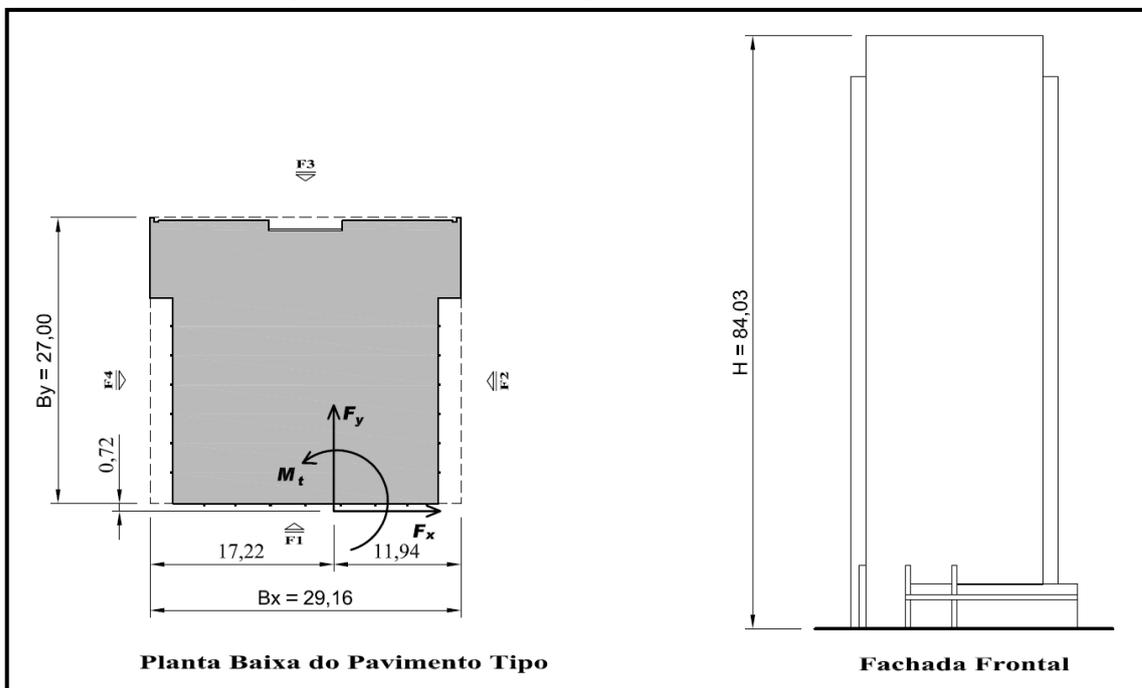
- Quadro 7 (Comparativo dos resultados entre NBR 6123/1988 e Túnel de Vento para edificação B1): Neste quadro pode-se observar a diferença entre os resultados obtidos por ambos os métodos. Nas células em verde são apresentados os resultados absolutos de ambos os métodos e nas células em amarelo é mostrada uma relação entre esses dois resultados.

Quadro 6 - Parâmetros da edificação B1

	Vo [m/s]	S1	S2	S3	Fator Vizinhança	Vk [m/s]	qk [Pa]
NBR	46	1	1,163	1	1,3 (até o topo)	53,5	1754,4
TÚNEL DE VENTO	46	1	1,140	1	Não se aplica	52,4	1686,0

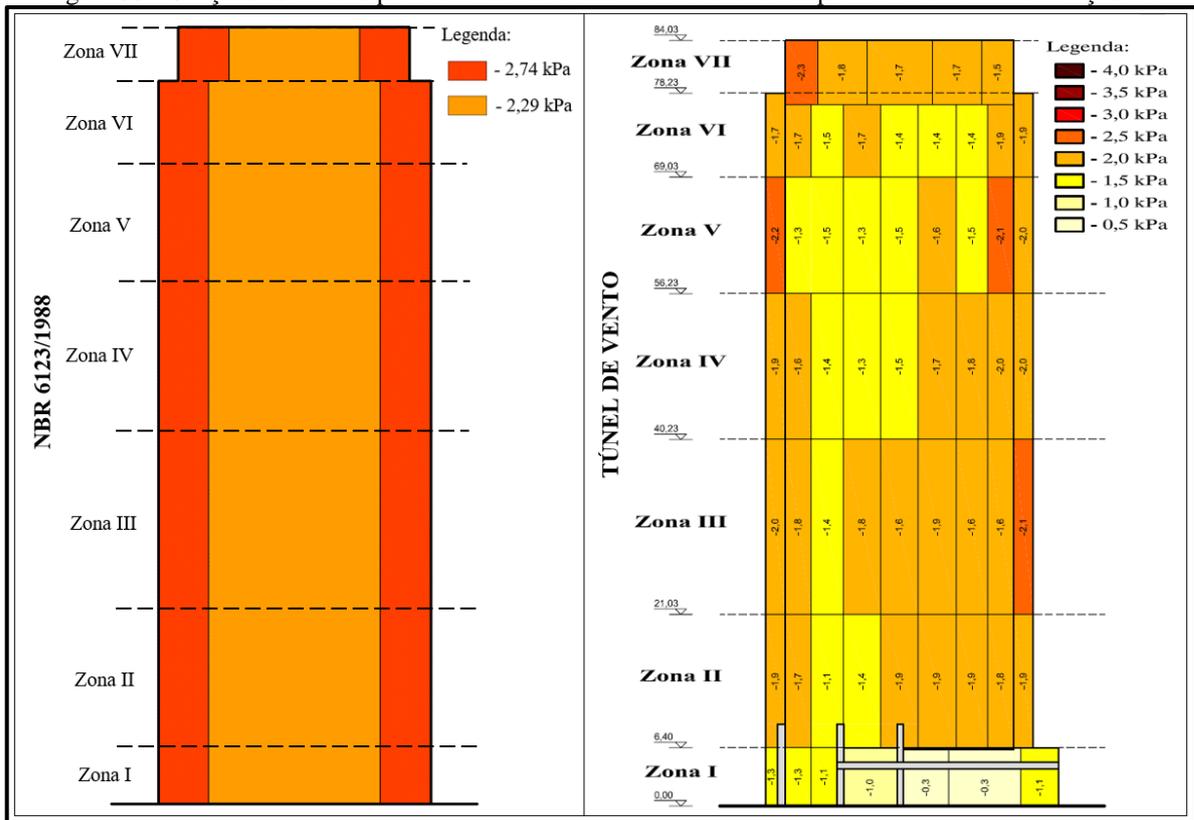
(Fonte: elaborado pelo autor)

Figura 34 - Fachada frontal e planta baixa da edificação B1



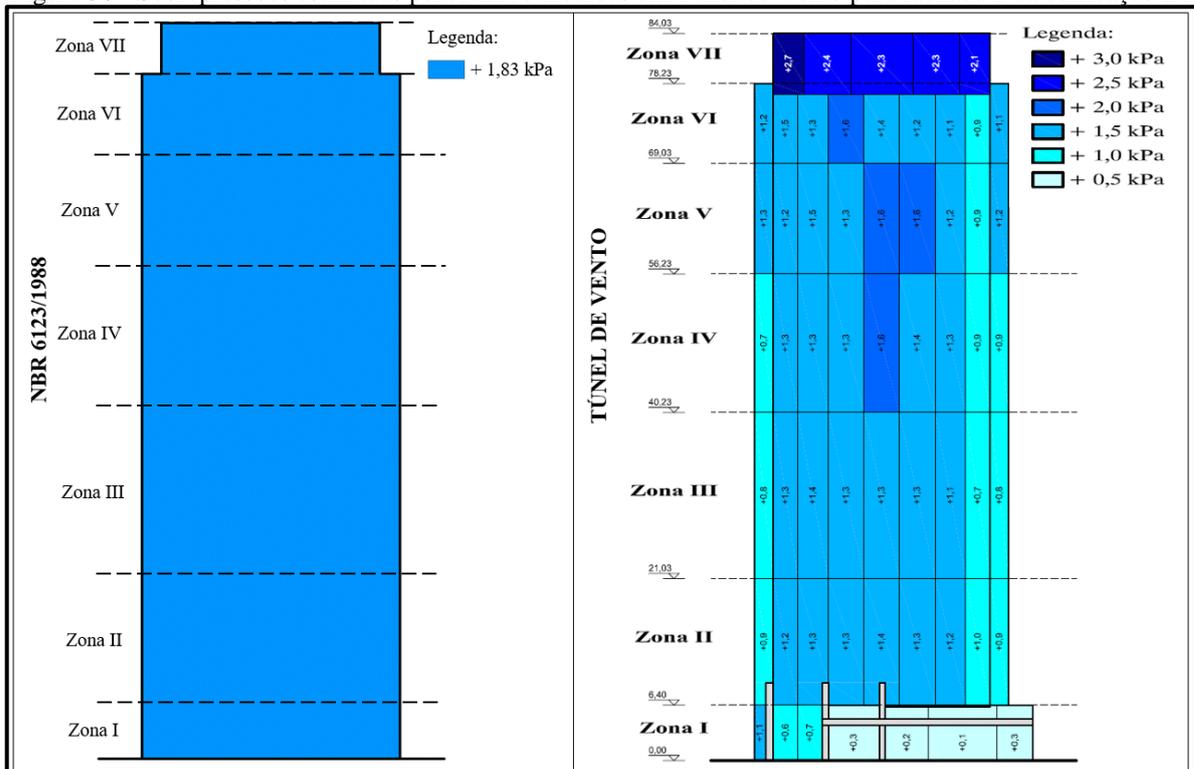
(Fonte: Relatório técnico interno de uso restrito do Laboratório de Aerodinâmica das Construções)

Figura 35 - Sucções estimadas pela NBR e medidas em Túnel de Vento para fachada 1 da edificação B1



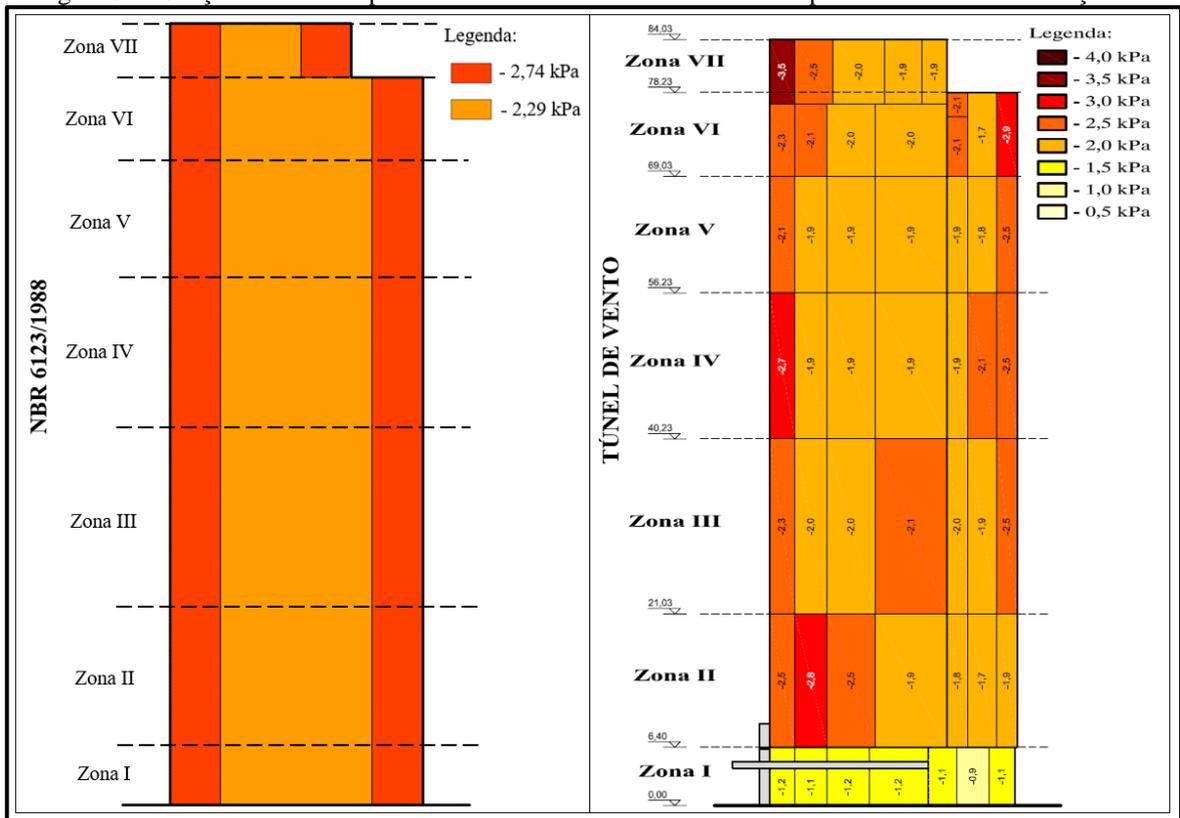
(Fonte: elaborado pelo autor)

Figura 36 - Sobrepressões estimadas pela NBR e medidas em Túnel de Vento para fachada 1 da edificação B1



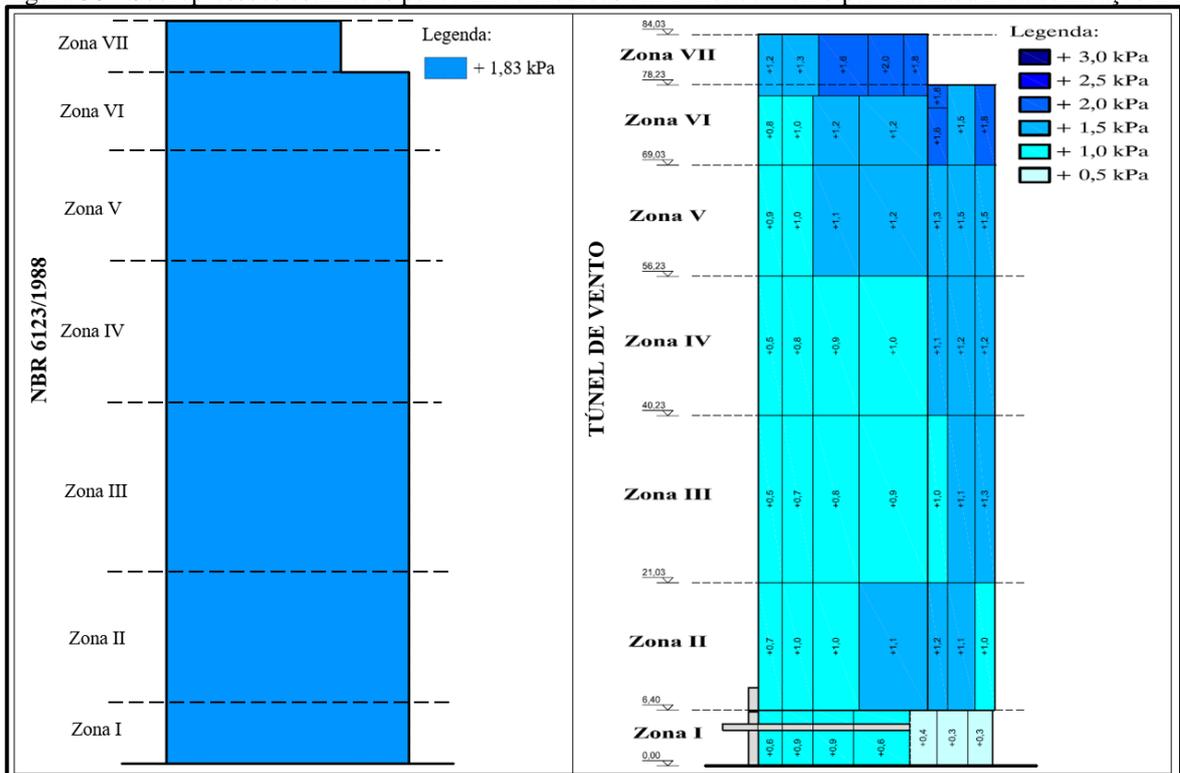
(Fonte: elaborado pelo autor)

Figura 37 - Sucções estimadas pela NBR e medidas em Túnel de Vento para fachada 2 da edificação B1



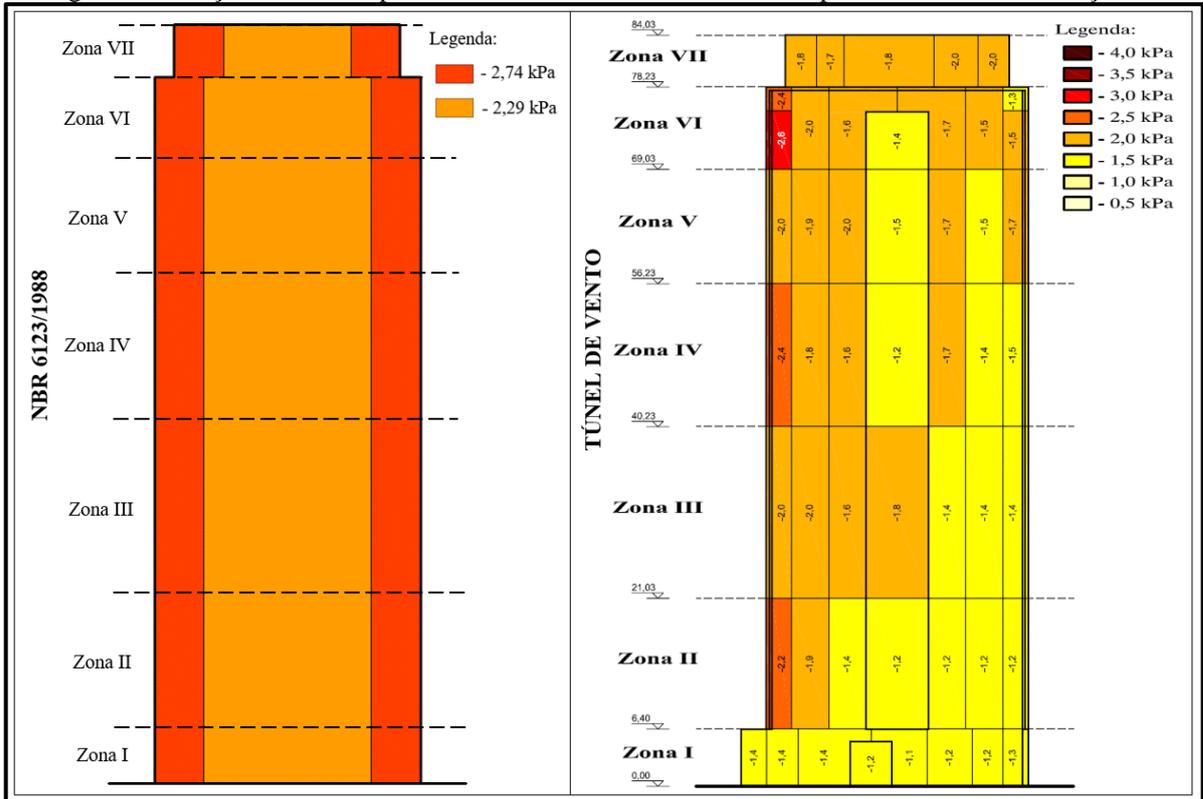
(Fonte: elaborado pelo autor)

Figura 38 - Sobrepressões estimadas pela NBR e medidas em Túnel de Vento para fachada 2 da edificação B1



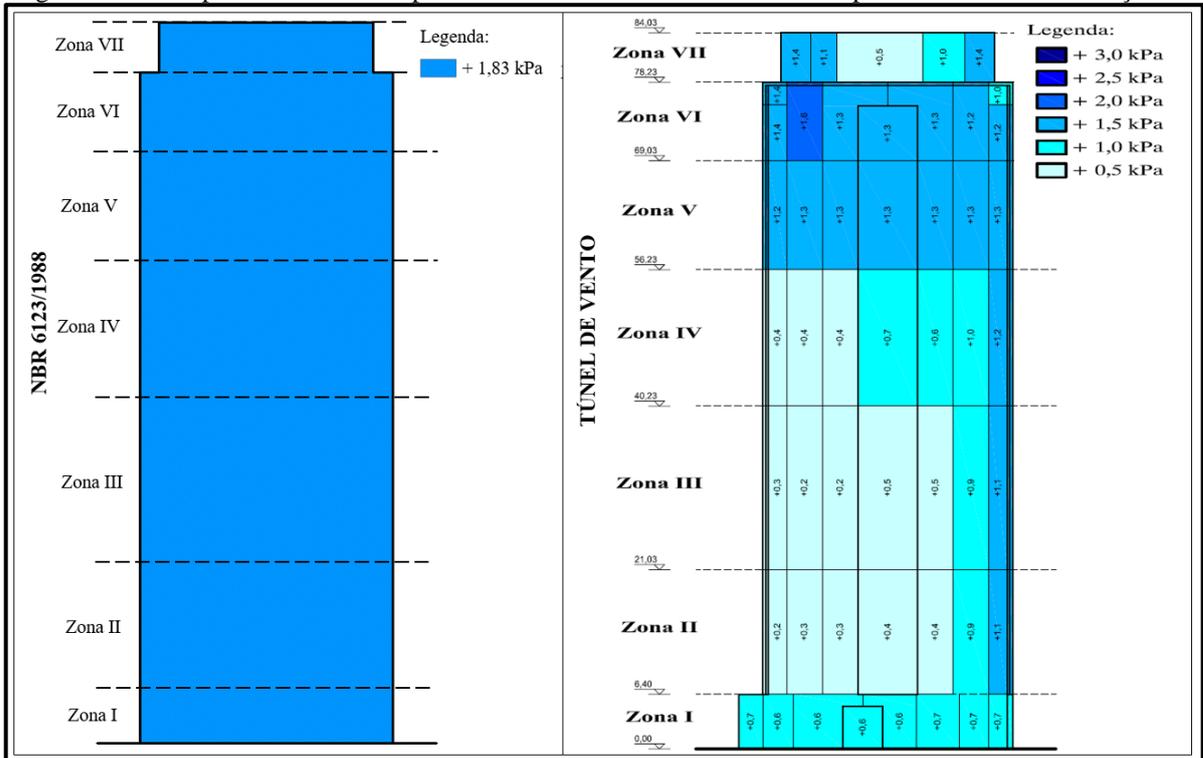
(Fonte: elaborado pelo autor)

Figura 39 - Sucções estimadas pela NBR e medidas em Túnel de Vento para fachada 3 da edificação B1



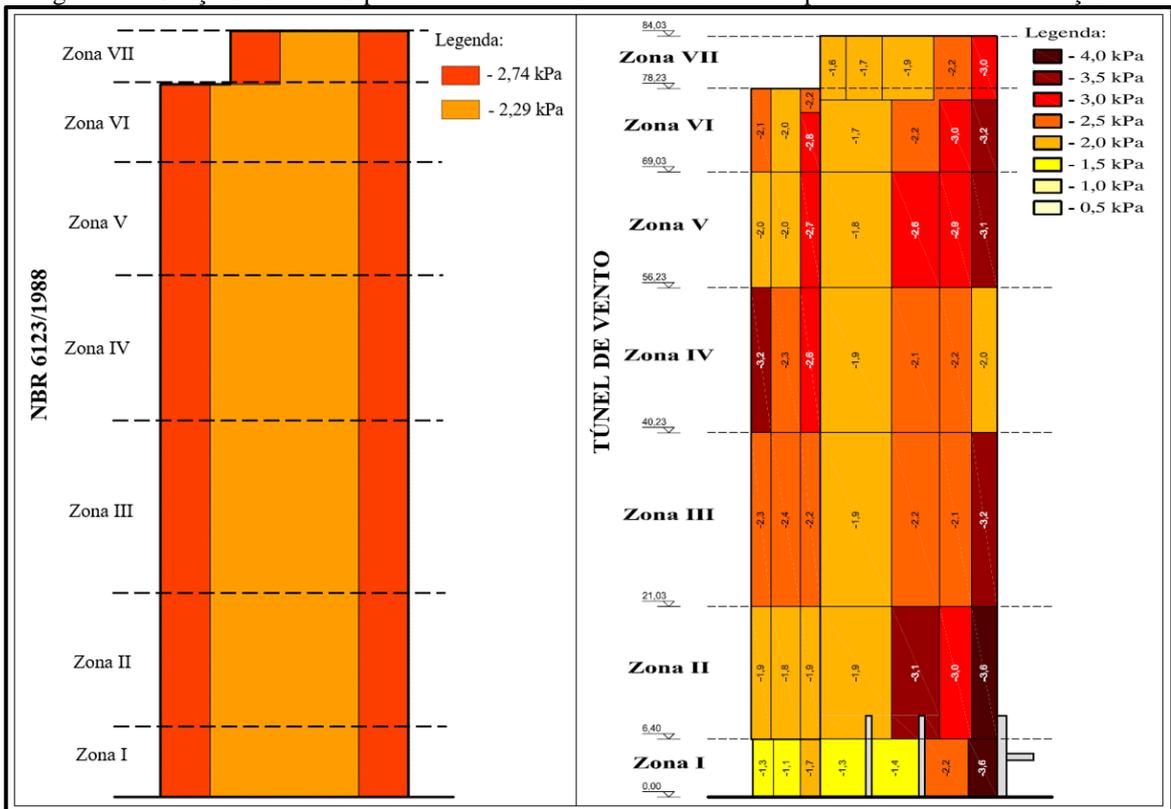
(Fonte: elaborado pelo autor)

Figura 40 - Sobrepressões estimadas pela NBR e medidas em Túnel de Vento para fachada 3 da edificação B1



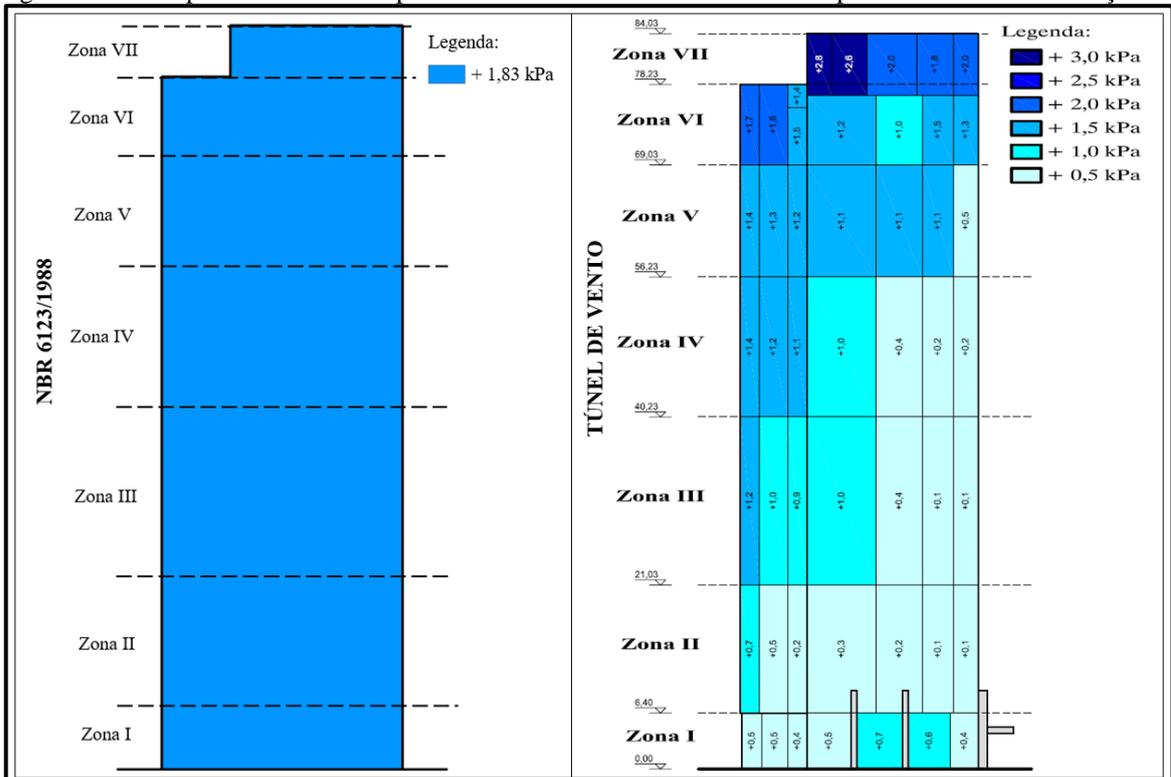
(Fonte: elaborado pelo autor)

Figura 41 - Sucções estimadas pela NBR e medidas em Túnel de Vento para fachada 4 da edificação B1



(Fonte: elaborado pelo autor)

Figura 42 - Sobrepressões estimadas pela NBR e medidas em Túnel de Vento para fachada 4 da edificação B1



(Fonte: elaborado pelo autor)

Quadro 7 - Comparativo dos resultados entre NBR e Túnel de Vento para edificação B1

Edificação B1 - Sucções na fachada 1									
Zona	Região 1			Região 2			Região 3		
	NBR [kPa]	Túnel [kPa]	NBR/ Túnel	NBR [kPa]	Túnel [kPa]	NBR/ Túnel	NBR [kPa]	Túnel [kPa]	NBR/ Túnel
VII	2,74	2,30	1,19	2,29	1,80	1,27	2,74	1,50	1,83
VI	2,74	2,30	1,19	2,29	1,80	1,27	2,74	1,50	1,83
V	2,74	2,20	1,25	2,29	1,60	1,43	2,74	2,10	1,30
IV	2,74	1,90	1,44	2,29	1,80	1,27	2,74	2,00	1,37
III	2,74	2,00	1,37	2,29	1,90	1,21	2,74	2,10	1,30
II	2,74	1,90	1,44	2,29	1,90	1,21	2,74	1,90	1,44
I	2,74	1,30	2,11	2,29	1,10	2,08	2,74	1,10	2,49

Edificação B1 - Sucções na fachada 2									
Zona	Região 1			Região 2			Região 3		
	NBR [kPa]	Túnel [kPa]	NBR/ Túnel	NBR [kPa]	Túnel [kPa]	NBR/ Túnel	NBR [kPa]	Túnel [kPa]	NBR/ Túnel
VII	2,74	3,50	0,78	2,29	2,50	0,92	2,74	1,90	1,44
VI	2,74	2,30	1,19	2,29	2,10	1,09	2,74	2,90	0,94
V	2,74	2,10	1,30	2,29	1,90	1,21	2,74	2,50	1,10
IV	2,74	2,70	1,01	2,29	1,90	1,21	2,74	2,50	1,10
III	2,74	2,30	1,19	2,29	2,10	1,09	2,74	2,50	1,10
II	2,74	2,80	0,98	2,29	2,80	0,82	2,74	1,90	1,44
I	2,74	1,20	2,28	2,29	1,20	1,91	2,74	1,10	2,49

Edificação B1 - Sucções na fachada 3									
Zona	Região 1			Região 2			Região 3		
	NBR [kPa]	Túnel [kPa]	NBR/ Túnel	NBR [kPa]	Túnel [kPa]	NBR/ Túnel	NBR [kPa]	Túnel [kPa]	NBR/ Túnel
VII	2,74	1,80	1,52	2,29	2,00	1,15	2,74	2,00	1,37
VI	2,74	2,60	1,05	2,29	2,00	1,15	2,74	1,50	1,83
V	2,74	2,00	1,37	2,29	2,00	1,15	2,74	1,70	1,61
IV	2,74	2,40	1,14	2,29	1,70	1,35	2,74	1,50	1,83
III	2,74	2,00	1,37	2,29	2,00	1,15	2,74	1,40	1,96
II	2,74	2,20	1,25	2,29	1,90	1,21	2,74	1,20	2,28
I	2,74	1,40	1,96	2,29	1,40	1,64	2,74	1,30	2,11

Edificação B1 - Sucções na fachada 4									
Zona	Região 1			Região 2			Região 3		
	NBR [kPa]	Túnel [kPa]	NBR/ Túnel	NBR [kPa]	Túnel [kPa]	NBR/ Túnel	NBR [kPa]	Túnel [kPa]	NBR/ Túnel
VII	2,74	1,70	1,61	2,29	2,20	1,04	2,74	3,00	0,91
VI	2,74	2,10	1,30	2,29	3,00	0,76	2,74	3,20	0,86
V	2,74	2,00	1,37	2,29	2,90	0,79	2,74	3,10	0,88
IV	2,74	3,20	0,86	2,29	2,60	0,88	2,74	2,20	1,25
III	2,74	2,40	1,14	2,29	2,20	1,04	2,74	3,20	0,86
II	2,74	1,90	1,44	2,29	3,10	0,74	2,74	3,60	0,76
I	2,74	1,30	2,11	2,29	2,20	1,04	2,74	3,60	0,76

Edificação B1 - Sobrepressões na fachada 1			
Zona	Região 1		
	NBR [kPa]	Túnel [kPa]	NBR/ Túnel
VII	1,83	2,70	0,68
VI	1,83	1,60	1,14
V	1,83	1,60	1,14
IV	1,83	1,60	1,14
III	1,83	1,40	1,31
II	1,83	1,40	1,31
I	1,83	1,10	1,66

Edificação B1 - Sobrepressões na fachada 2			
Zona	Região 1		
	NBR [kPa]	Túnel [kPa]	NBR/ Túnel
VII	1,83	2,00	0,92
VI	1,83	1,80	1,02
V	1,83	1,50	1,22
IV	1,83	1,20	1,53
III	1,83	1,30	1,41
II	1,83	1,20	1,53
I	1,83	0,90	2,03

Edificação B1 - Sobrepressões na fachada 3			
Zona	Região 1		
	NBR [kPa]	Túnel [kPa]	NBR/ Túnel
VII	1,83	1,40	1,31
VI	1,83	1,60	1,14
V	1,83	1,30	1,41
IV	1,83	1,20	1,53
III	1,83	1,10	1,66
II	1,83	1,10	1,66
I	1,83	0,70	2,61

Edificação B1 - Sobrepressões na fachada 4			
Zona	Região 1		
	NBR [kPa]	Túnel [kPa]	NBR/ Túnel
VII	1,83	2,80	0,65
VI	1,83	2,80	0,65
V	1,83	1,40	1,31
IV	1,83	1,40	1,31
III	1,83	1,20	1,53
II	1,83	0,70	2,61
I	1,83	0,70	2,61

(Fonte: elaborado pelo autor)

5.3.2 Edificação B2

Abaixo segue descrição e numeração de cada quadro e figura relativas à edificação B2 para facilitar a compreensão e localização dos dados.

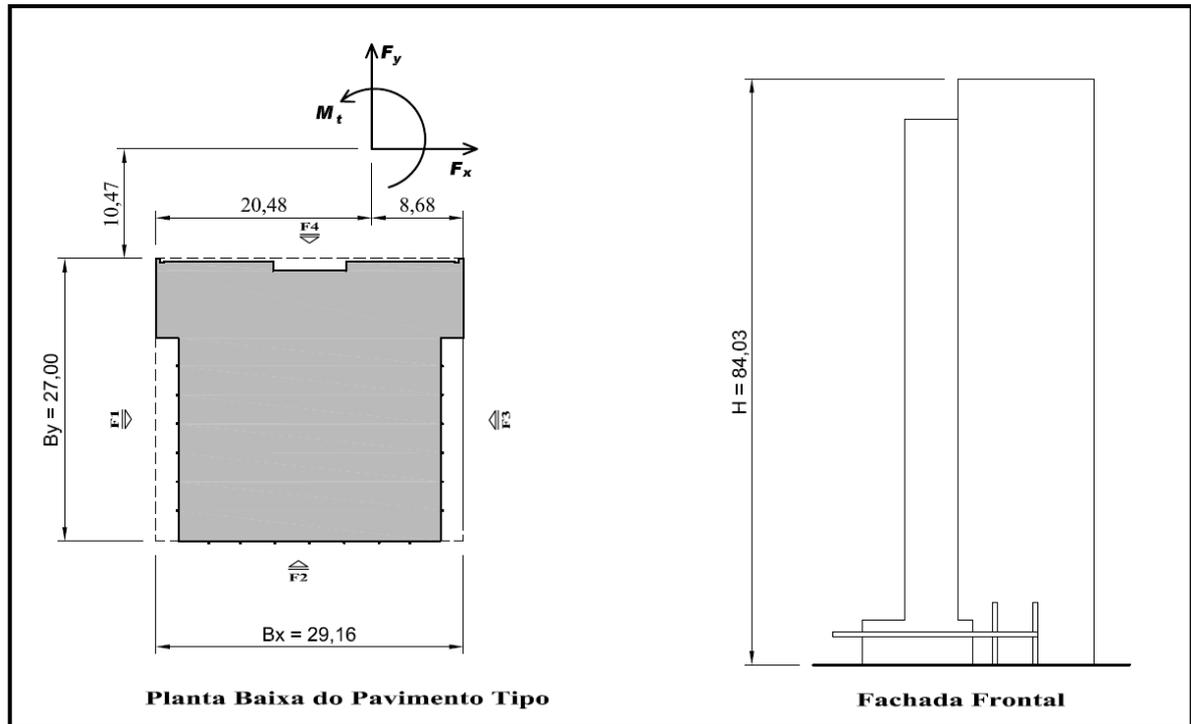
- Quadro 8 (Parâmetros da edificação B2): Apresentação dos principais parâmetros utilizados para estimativa e medição das pressões, tanto através da NBR 6123/1988, como através dos ensaios em túnel de vento.
- Figura 43 (Fachada frontal e planta baixa da edificação B2): Apresenta uma imagem frontal da fachada da edificação B2, assim como uma imagem da planta baixa, ambas utilizadas para obtenção das dimensões da edificação necessárias à execução dos cálculos.
- Figuras 44 a 51 (Sucções e sobrepressões estimadas pela NBR e medidas em Túnel de Vento para a edificação B2): Nestas imagens são apresentados os resultados obtidos através dos dois métodos (NBR 6123/1988 e Túnel de Vento) para sucções e sobrepressões, em todas as fachadas da edificação B2.
- Quadro 9 (Comparativo dos resultados entre NBR 6123/1988 e Túnel de Vento para edificação B2): Neste quadro pode-se observar a diferença entre os resultados obtidos por ambos os métodos. Nas células em verde são apresentados os resultados absolutos de ambos os métodos e nas células em amarelo é mostrada uma relação entre esses dois resultados.

Quadro 8 - Parâmetros da edificação B2

	Vo [m/s]	S1	S2	S3	Fator Vizinhança	Vk [m/s]	qk [Pa]
NBR	46	1	1,163	1	1,3 (até o topo)	53,5	1754,4
TÚNEL DE VENTO	46	1	1,140	1	Não se aplica	52,4	1686,0

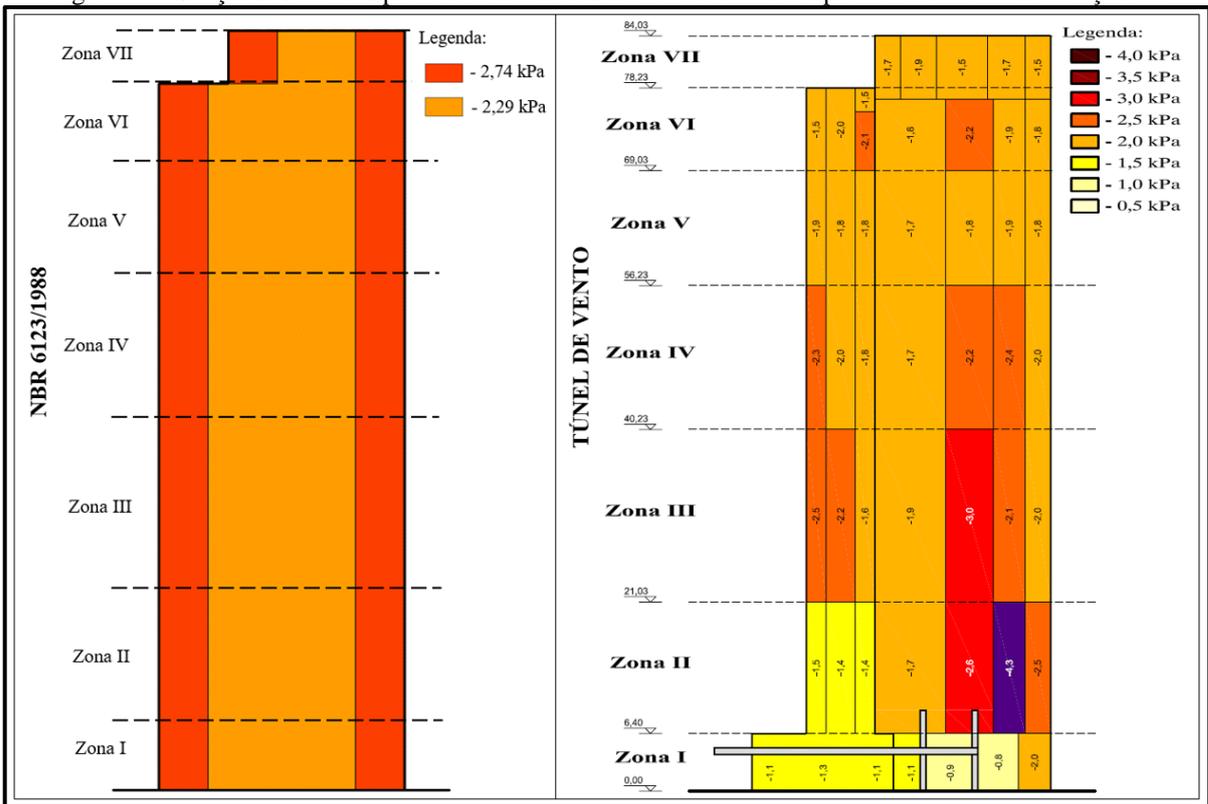
(Fonte: elaborado pelo autor)

Figura 43 - Fachada frontal e planta baixa da edificação B2



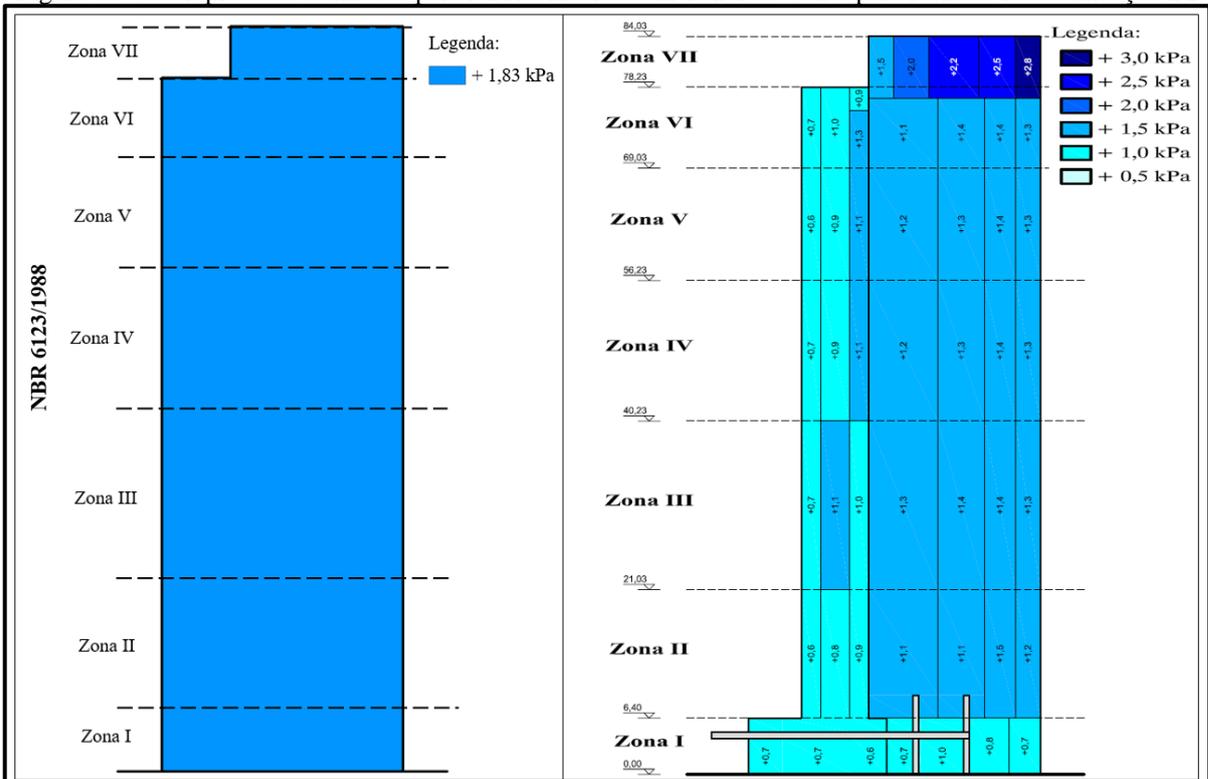
(Fonte: Relatório técnico interno de uso restrito do Laboratório de Aerodinâmica das Construções)

Figura 44 - Sucções estimadas pela NBR e medidas em Túnel de Vento para fachada 1 da edificação B2



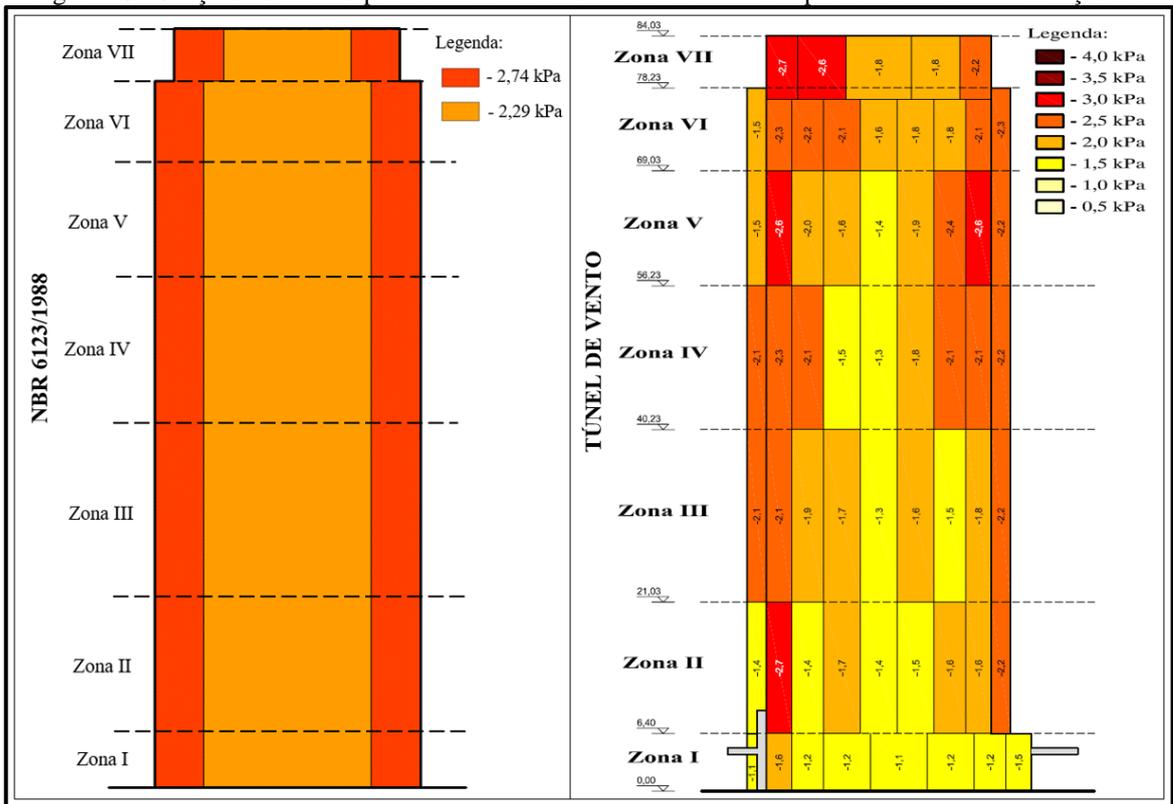
(Fonte: elaborado pelo autor)

Figura 45 - Sobrepressões estimadas pela NBR e medidas em Túnel de Vento para fachada 1 da edificação B2



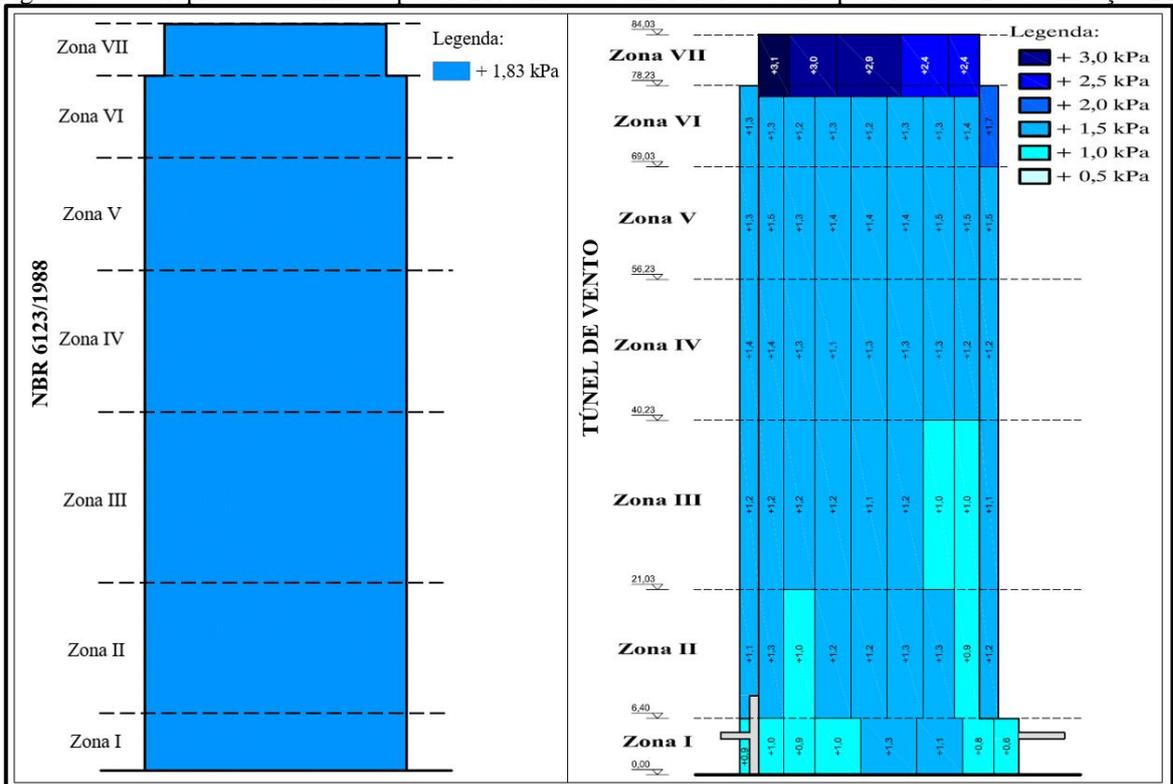
(Fonte: elaborado pelo autor)

Figura 46 - Sucções estimadas pela NBR e medidas em Túnel de Vento para fachada 2 da edificação B2



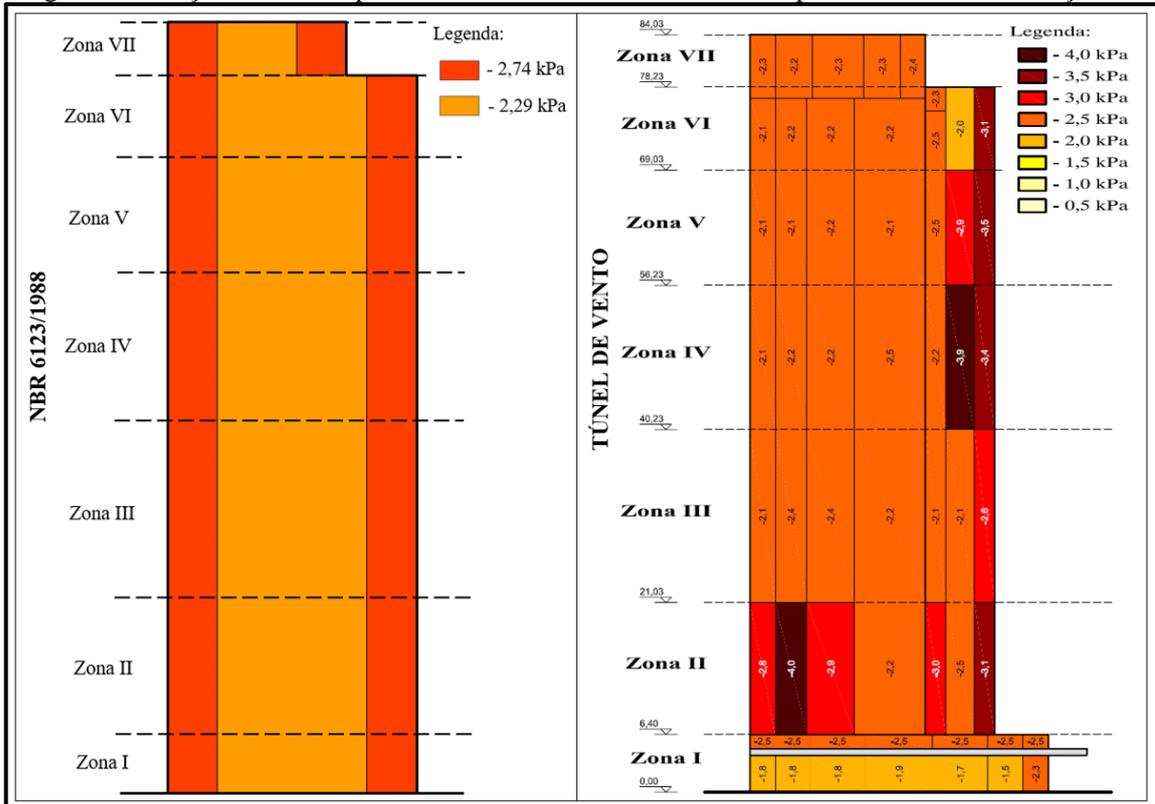
(Fonte: elaborado pelo autor)

Figura 47 - Sobrepressões estimadas pela NBR e medidas em Túnel de Vento para fachada 2 da edificação B2



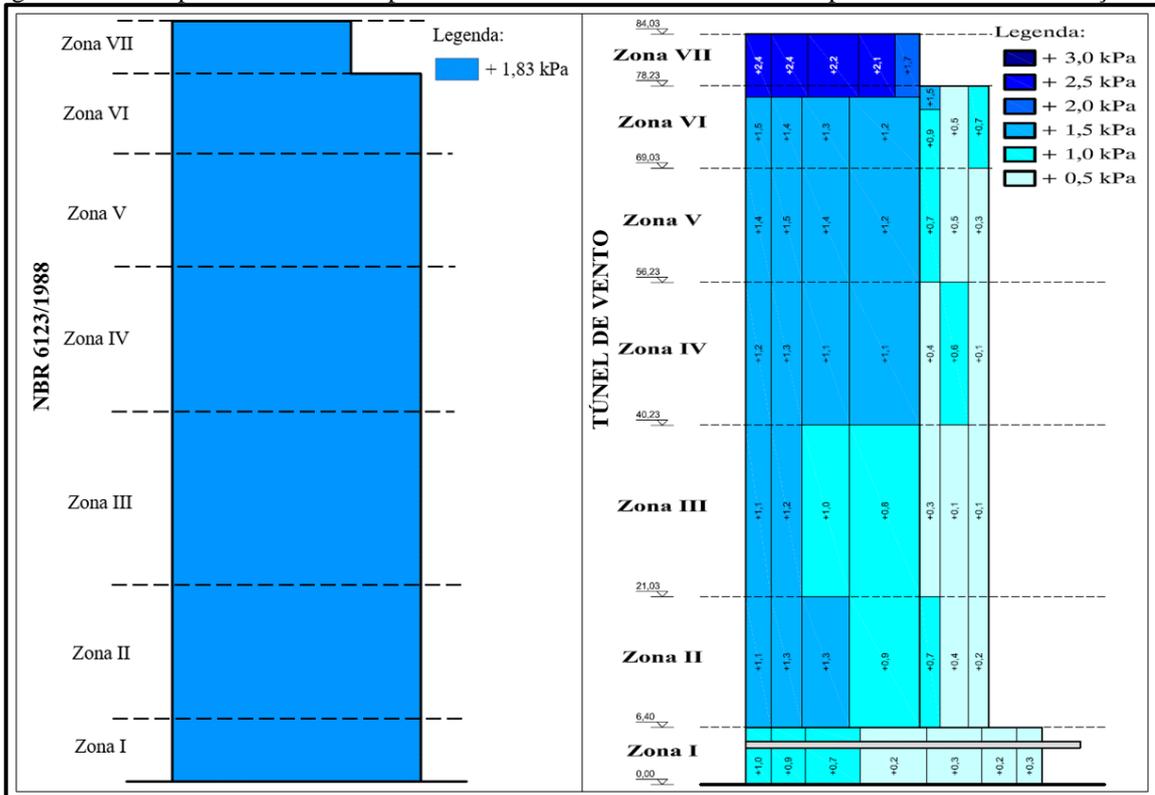
(Fonte: elaborado pelo autor)

Figura 48 - Sucções estimadas pela NBR e medidas em Túnel de Vento para fachada 3 da edificação B2



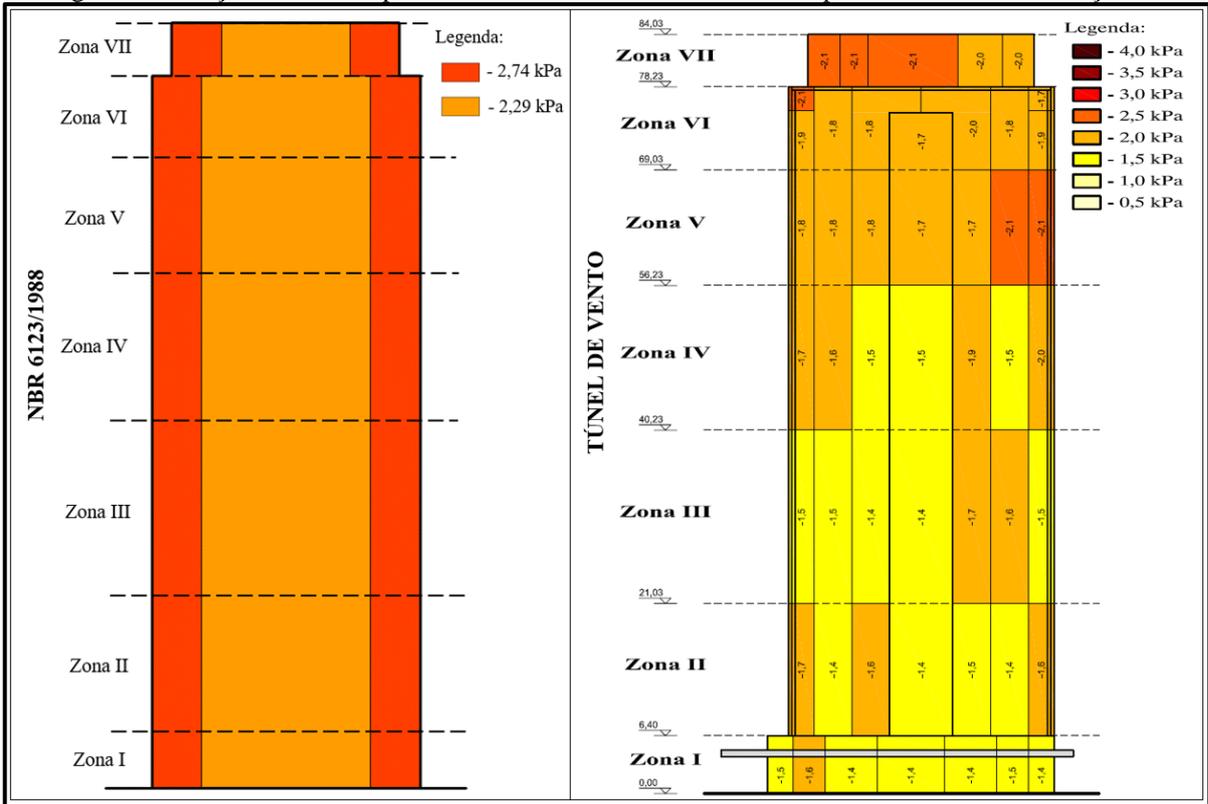
(Fonte: elaborado pelo autor)

Figura 49 - Sobrepressões estimadas pela NBR e medidas em Túnel de Vento para fachada 3 da edificação B2



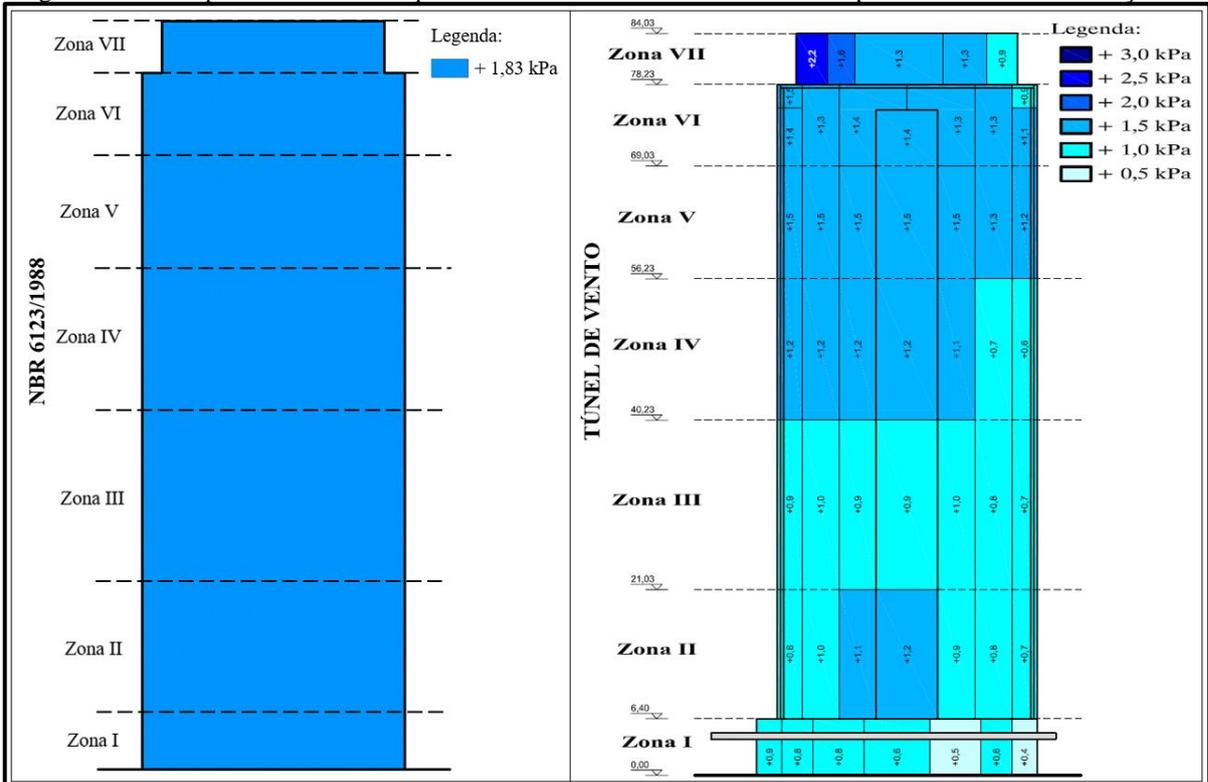
(Fonte: elaborado pelo autor)

Figura 50 - Sucções estimadas pela NBR e medidas em Túnel de Vento para fachada 4 da edificação B2



(Fonte: elaborado pelo autor)

Figura 51 - Sobrepressões estimadas pela NBR e medidas em Túnel de Vento para fachada 4 da edificação B2



(Fonte: elaborado pelo autor)

Quadro 9 - Comparativo dos resultados entre NBR e Túnel de Vento para edificação B2

Edificação B2 - Sucções na fachada 1									
Zona	Região 1			Região 2			Região 3		
	NBR [kPa]	Túnel [kPa]	NBR/ Túnel	NBR [kPa]	Túnel [kPa]	NBR/ Túnel	NBR [kPa]	Túnel [kPa]	NBR/ Túnel
VII	2,74	1,90	1,44	2,29	1,50	1,53	2,74	1,70	1,61
VI	2,74	2,00	1,37	2,29	2,20	1,04	2,74	1,90	1,44
V	2,74	1,90	1,44	2,29	1,90	1,21	2,74	1,90	1,44
IV	2,74	2,30	1,19	2,29	2,40	0,95	2,74	2,40	1,14
III	2,74	2,50	1,10	2,29	3,00	0,76	2,74	2,10	1,30
II	2,74	1,50	1,83	2,29	4,30	0,53	2,74	4,30	0,64
I	2,74	1,30	2,11	2,29	1,10	2,08	2,74	2,00	1,37

Edificação B2 - Sucções na fachada 2									
Zona	Região 1			Região 2			Região 3		
	NBR [kPa]	Túnel [kPa]	NBR/ Túnel	NBR [kPa]	Túnel [kPa]	NBR/ Túnel	NBR [kPa]	Túnel [kPa]	NBR/ Túnel
VII	2,74	2,70	1,01	2,29	2,60	0,88	2,74	2,20	1,25
VI	2,74	2,70	1,01	2,29	2,60	0,88	2,74	2,30	1,19
V	2,74	2,60	1,05	2,29	2,40	0,95	2,74	2,60	1,05
IV	2,74	2,30	1,19	2,29	2,10	1,09	2,74	2,20	1,25
III	2,74	2,10	1,30	2,29	1,90	1,21	2,74	2,20	1,25
II	2,74	2,70	1,01	2,29	1,70	1,35	2,74	2,20	1,25
I	2,74	1,60	1,71	2,29	1,20	1,91	2,74	1,50	1,83

Edificação B2 - Sucções na fachada 3									
Zona	Região 1			Região 2			Região 3		
	NBR [kPa]	Túnel [kPa]	NBR/ Túnel	NBR [kPa]	Túnel [kPa]	NBR/ Túnel	NBR [kPa]	Túnel [kPa]	NBR/ Túnel
VII	2,74	2,30	1,19	2,29	2,30	1,00	2,74	2,40	1,14
VI	2,74	2,30	1,19	2,29	2,50	0,92	2,74	3,10	0,88
V	2,74	2,10	1,30	2,29	2,50	0,92	2,74	3,50	0,78
IV	2,74	2,20	1,25	2,29	2,50	0,92	2,74	3,90	0,70
III	2,74	2,40	1,14	2,29	2,40	0,95	2,74	2,60	1,05
II	2,74	4,00	0,69	2,29	4,00	0,57	2,74	3,10	0,88
I	2,74	2,50	1,10	2,29	2,50	0,92	2,74	2,50	1,10

Edificação B2 - Sucções na fachada 4									
Zona	Região 1			Região 2			Região 3		
	NBR [kPa]	Túnel [kPa]	NBR/ Túnel	NBR [kPa]	Túnel [kPa]	NBR/ Túnel	NBR [kPa]	Túnel [kPa]	NBR/ Túnel
VII	2,74	2,10	1,30	2,29	2,10	1,09	2,74	2,00	1,37
VI	2,74	2,10	1,30	2,29	2,00	1,15	2,74	1,90	1,44
V	2,74	1,80	1,52	2,29	2,10	1,09	2,74	2,10	1,30
IV	2,74	1,70	1,61	2,29	1,90	1,21	2,74	2,00	1,37
III	2,74	1,50	1,83	2,29	1,70	1,35	2,74	1,60	1,71
II	2,74	1,70	1,61	2,29	1,60	1,43	2,74	1,60	1,71
I	2,74	1,60	1,71	2,29	1,50	1,53	2,74	1,50	1,83

Edificação B2 - Sobrepressões na fachada 1			
Zona	Região 1		
	NBR [kPa]	Túnel [kPa]	NBR/ Túnel
VII	1,83	2,80	0,65
VI	1,83	2,80	0,65
V	1,83	1,40	1,31
IV	1,83	1,40	1,31
III	1,83	1,40	1,31
II	1,83	1,50	1,22
I	1,83	1,00	1,83

Edificação B2 - Sobrepressões na fachada 2			
Zona	Região 1		
	NBR [kPa]	Túnel [kPa]	NBR/ Túnel
VII	1,83	3,10	0,59
VI	1,83	3,10	0,59
V	1,83	1,50	1,22
IV	1,83	1,40	1,31
III	1,83	1,20	1,53
II	1,83	1,30	1,41
I	1,83	1,30	1,41

Edificação B2 - Sobrepressões na fachada 3			
Zona	Região 1		
	NBR [kPa]	Túnel [kPa]	NBR/ Túnel
VII	1,83	2,40	0,76
VI	1,83	2,40	0,76
V	1,83	1,50	1,22
IV	1,83	1,30	1,41
III	1,83	1,20	1,53
II	1,83	1,30	1,41
I	1,83	1,00	1,83

Edificação B2 - Sobrepressões na fachada 4			
Zona	Região 1		
	NBR [kPa]	Túnel [kPa]	NBR/ Túnel
VII	1,83	2,20	0,83
VI	1,83	1,50	1,22
V	1,83	1,50	1,22
IV	1,83	1,20	1,53
III	1,83	1,00	1,83
II	1,83	1,20	1,53
I	1,83	0,90	2,03

(Fonte: elaborado pelo autor)

5.3.3 Edificação B3

Abaixo segue descrição e numeração de cada quadro e figura relativas à edificação B3 para facilitar a compreensão e localização dos dados.

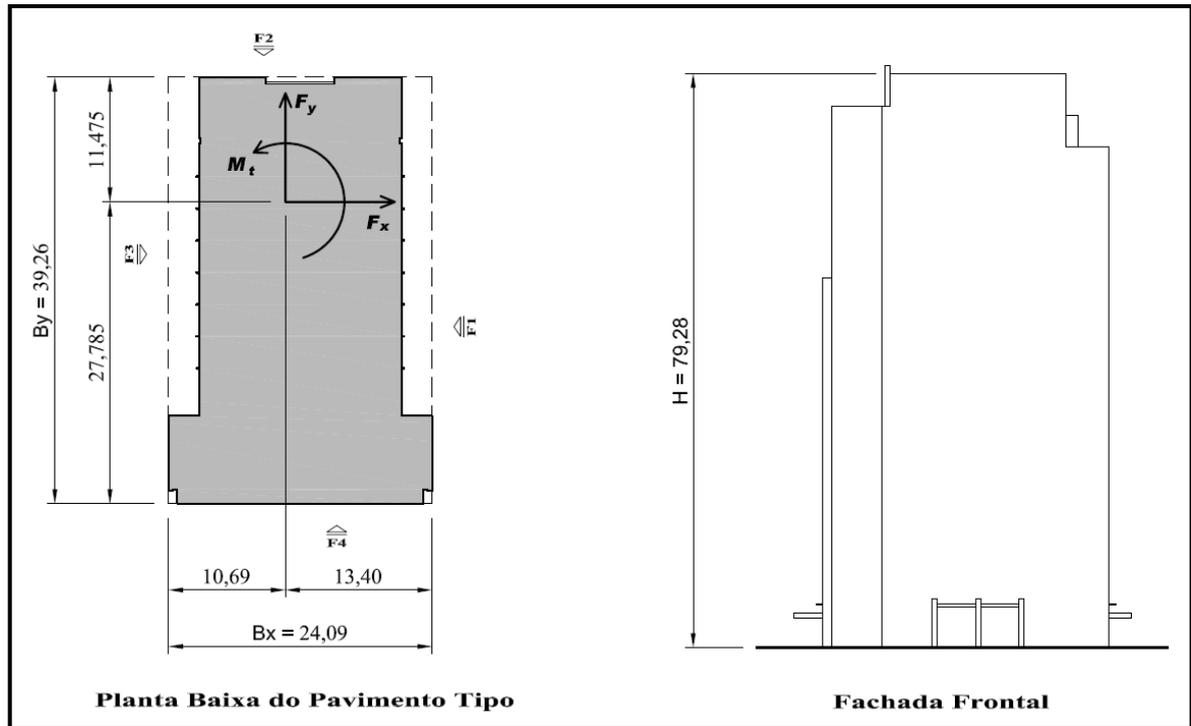
- Quadro 10 (Parâmetros da edificação B3): Apresentação dos principais parâmetros utilizados para estimativa e medição das pressões, tanto através da NBR 6123/1988, como através dos ensaios em túnel de vento.
- Figura 52 (Fachada frontal e planta baixa da edificação B3): Apresenta uma imagem frontal da fachada da edificação B3, assim como uma imagem da planta baixa, ambas utilizadas para obtenção das dimensões da edificação necessárias à execução dos cálculos.
- Figuras 53 a 60 (Sucções e sobrepressões estimadas pela NBR e medidas em Túnel de Vento para a edificação B3): Nestas imagens são apresentados os resultados obtidos através dos dois métodos (NBR 6123/1988 e Túnel de Vento) para sucções e sobrepressões, em todas as fachadas da edificação B3.
- Quadro 11 (Comparativo dos resultados entre NBR 6123/1988 e Túnel de Vento para edificação B3): Neste quadro pode-se observar a diferença entre os resultados obtidos por ambos os métodos. Nas células em verde são apresentados os resultados absolutos de ambos os métodos e nas células em amarelo é mostrada uma relação entre esses dois resultados.

Quadro 10 - Parâmetros da edificação B3

	Vo [m/s]	S1	S2	S3	Fator Vizinhança	Vk [m/s]	qk [Pa]
NBR	46	1	1,156	1	1,3 (até o topo)	53,2	1734,1
TÚNEL DE VENTO	46	1	1,140	1	Não se aplica	52,4	1686,0

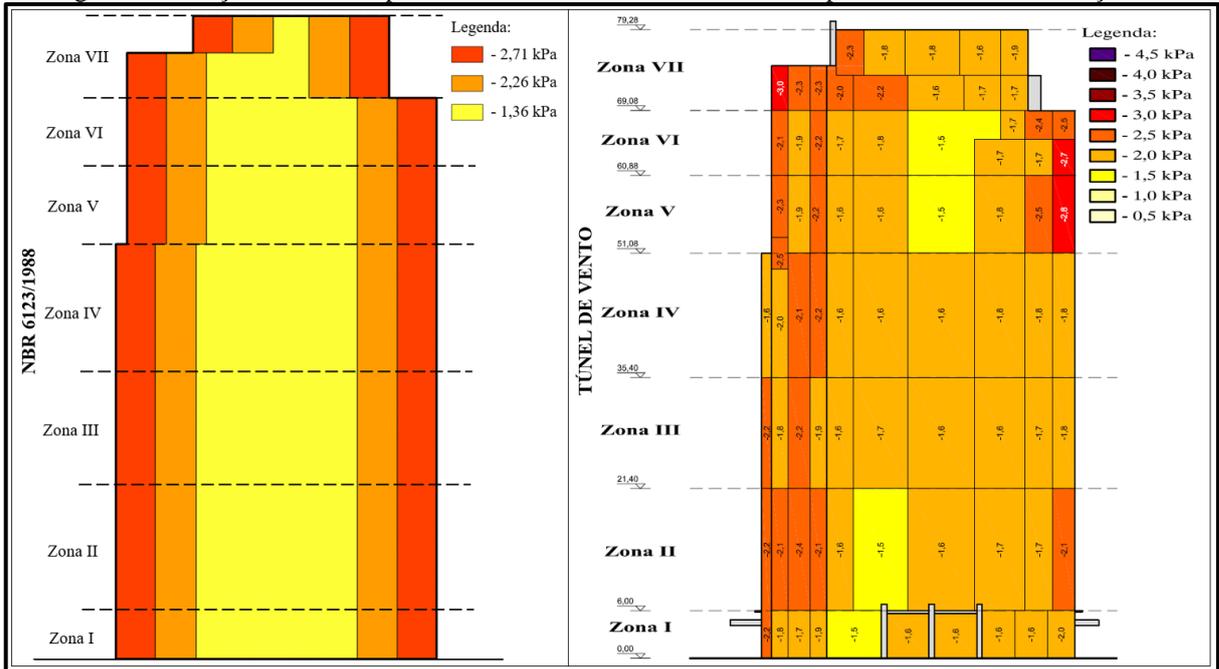
(Fonte: elaborado pelo autor)

Figura 52 - Fachada frontal e planta baixa da edificação B3



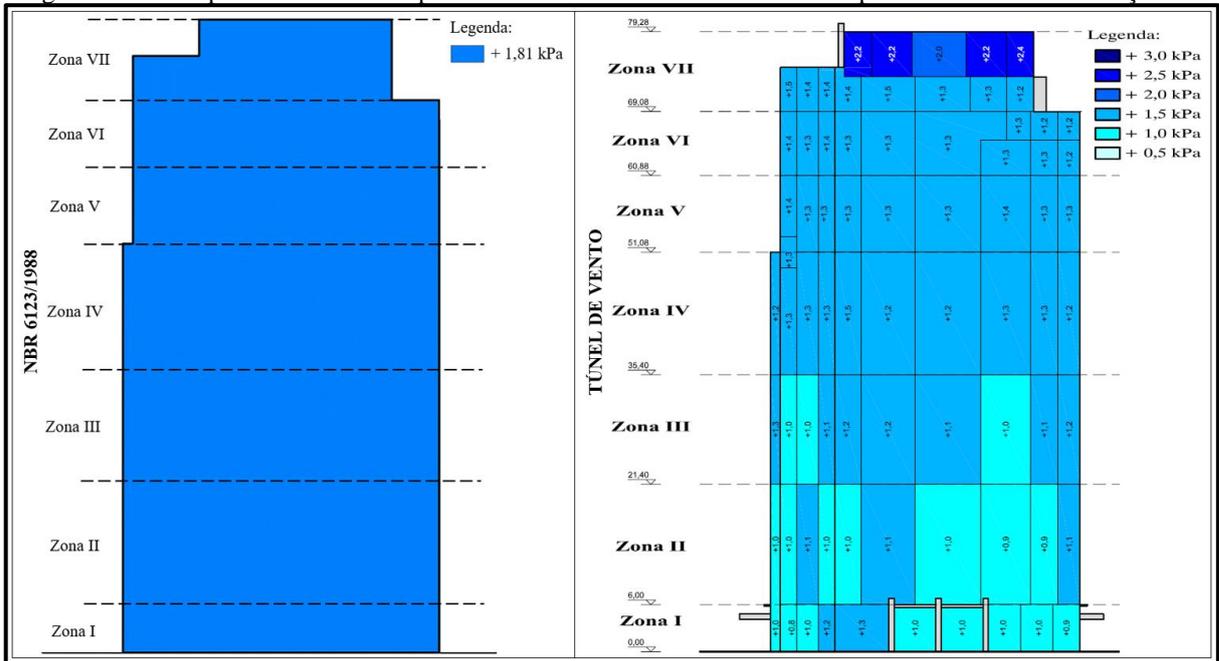
(Fonte: Relatório técnico interno de uso restrito do Laboratório de Aerodinâmica das Construções)

Figura 53 - Sucções estimadas pela NBR e medidas em Túnel de Vento para fachada 1 da edificação B3



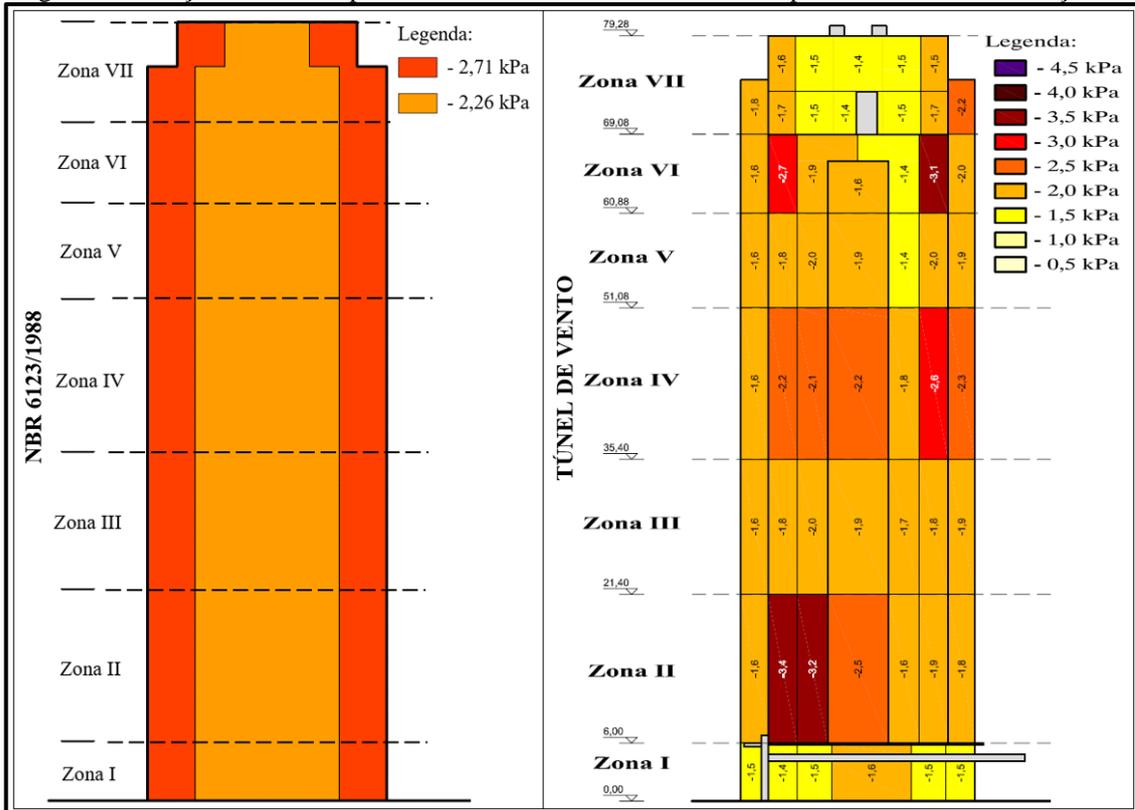
(Fonte: elaborado pelo autor)

Figura 54 - Sobrepressões estimadas pela NBR e medidas em Túnel de Vento para fachada 1 da edificação B3



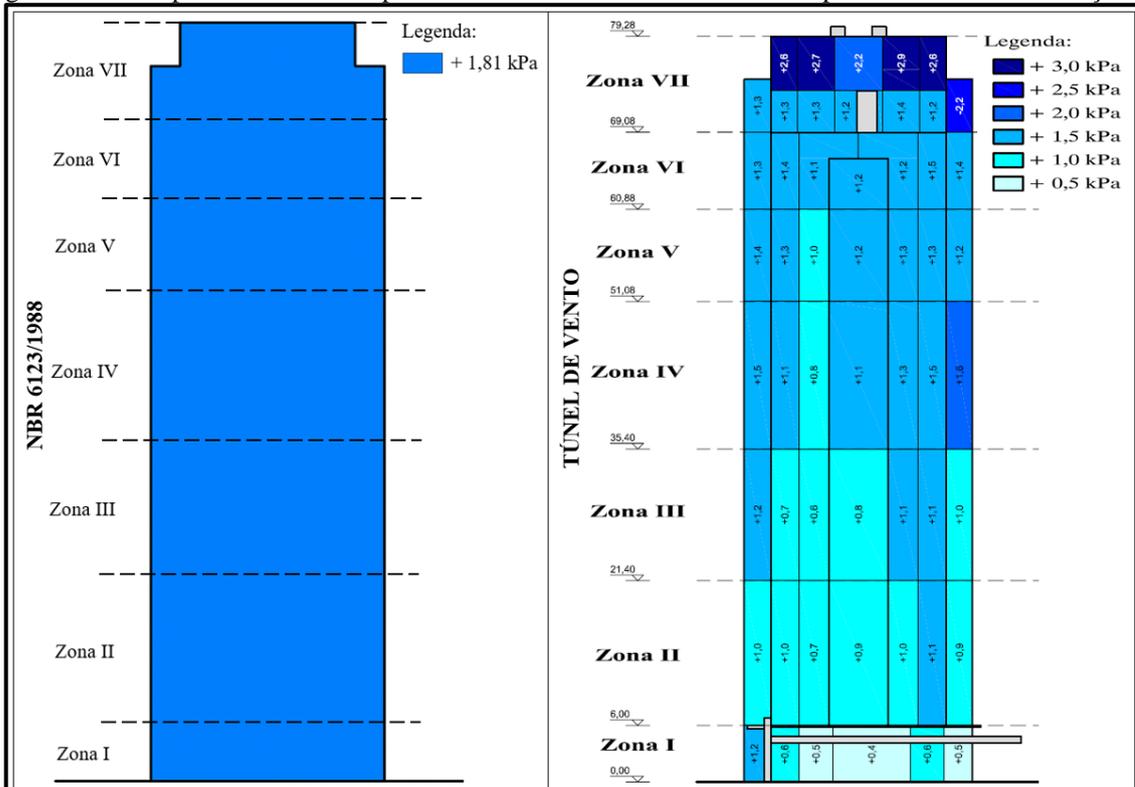
(Fonte: elaborado pelo autor)

Figura 55 - Sucções estimadas pela NBR e medidas em Túnel de Vento para fachada 2 da edificação B3



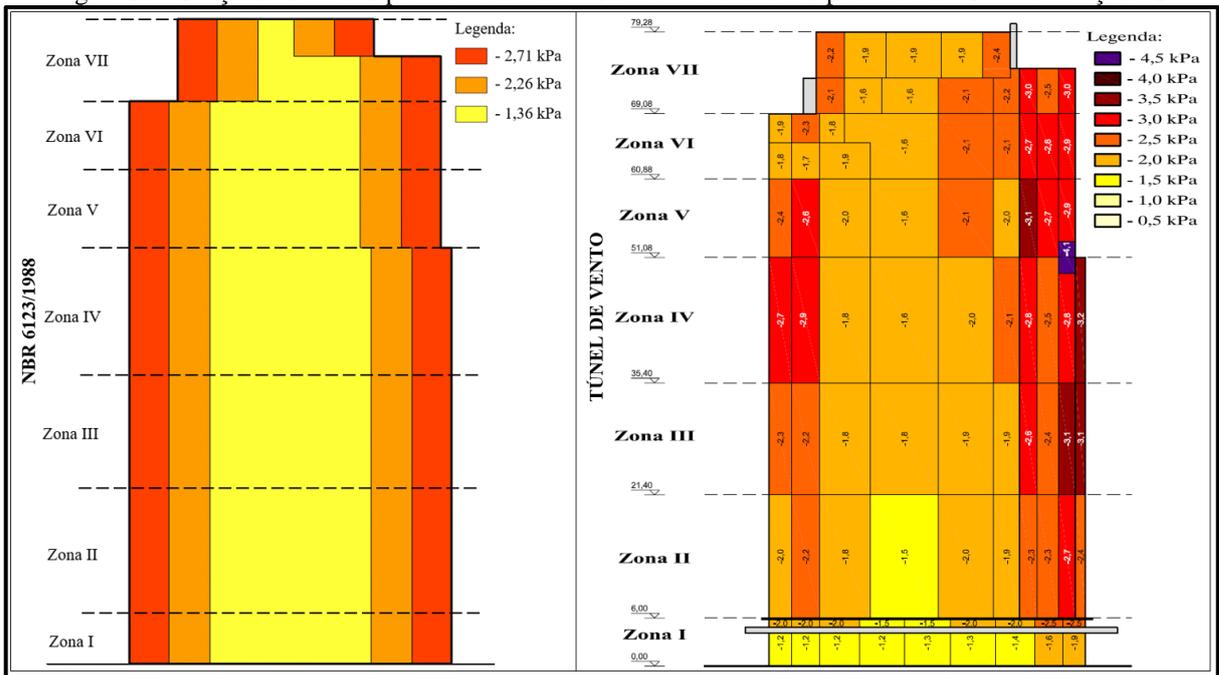
(Fonte: elaborado pelo autor)

Figura 56 - Sobrepressões estimadas pela NBR e medidas em Túnel de Vento para fachada 2 da edificação B3



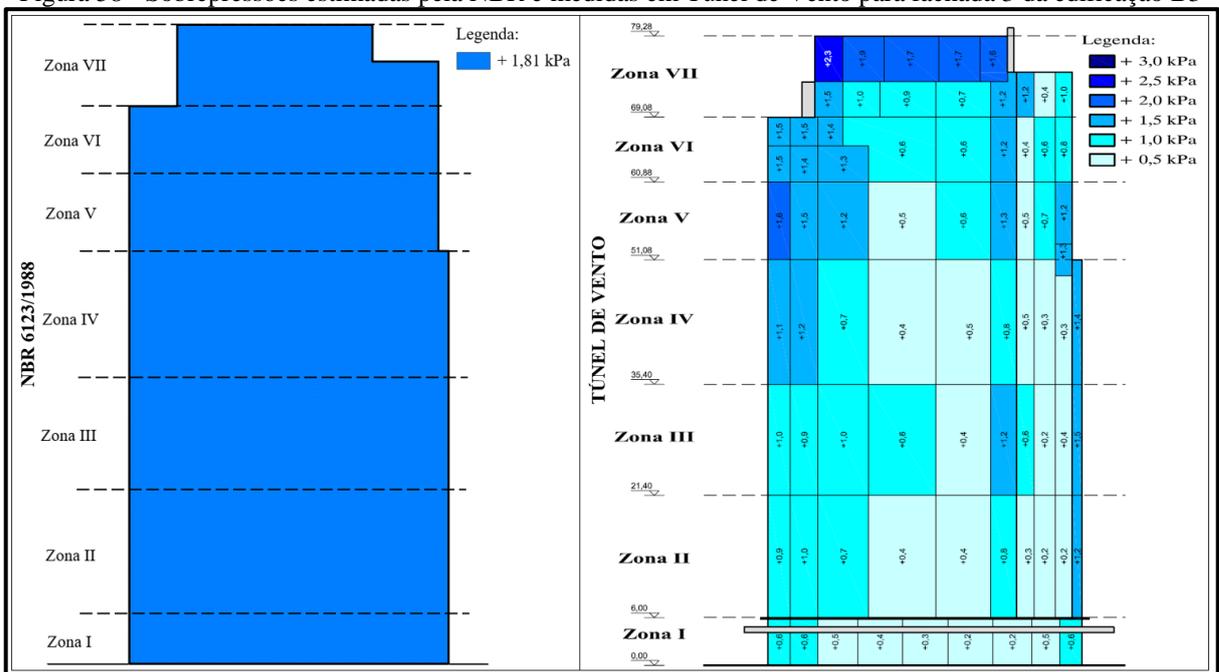
(Fonte: elaborado pelo autor)

Figura 57 - Sucções estimadas pela NBR e medidas em Túnel de Vento para fachada 3 da edificação B3



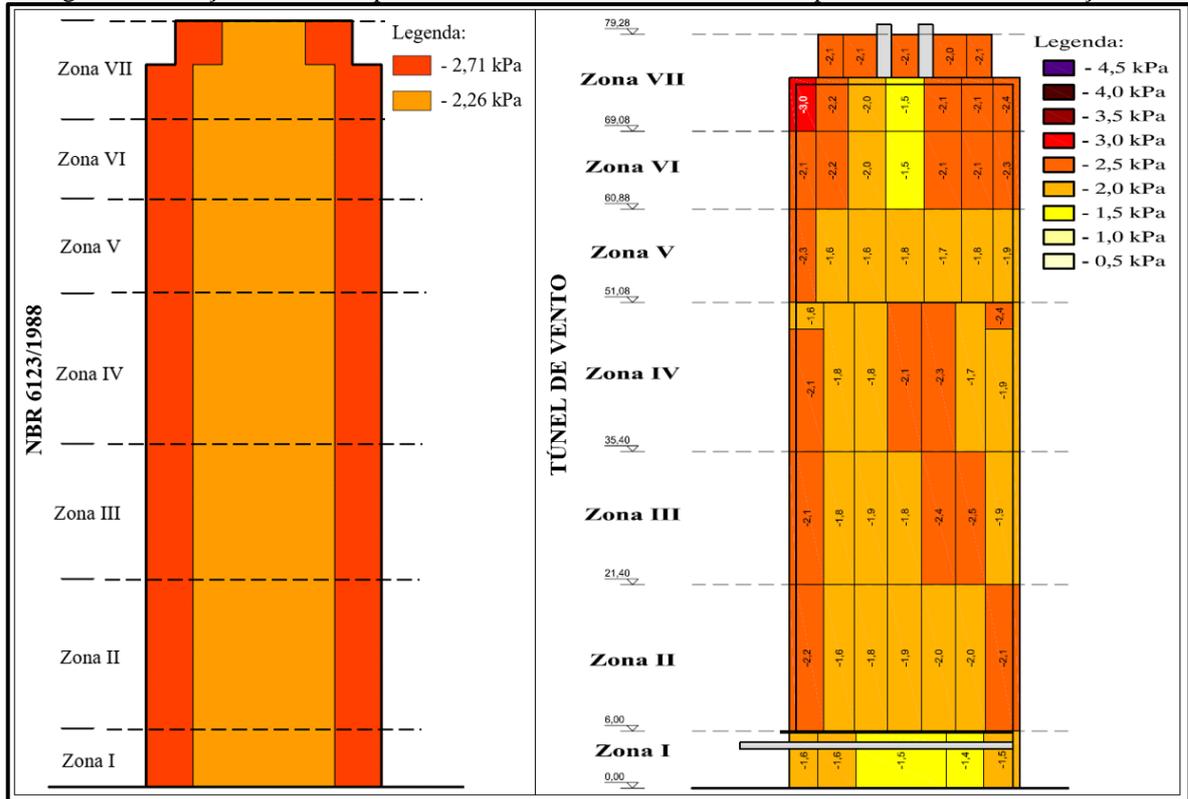
(Fonte: elaborado pelo autor)

Figura 58 - Sobrepressões estimadas pela NBR e medidas em Túnel de Vento para fachada 3 da edificação B3



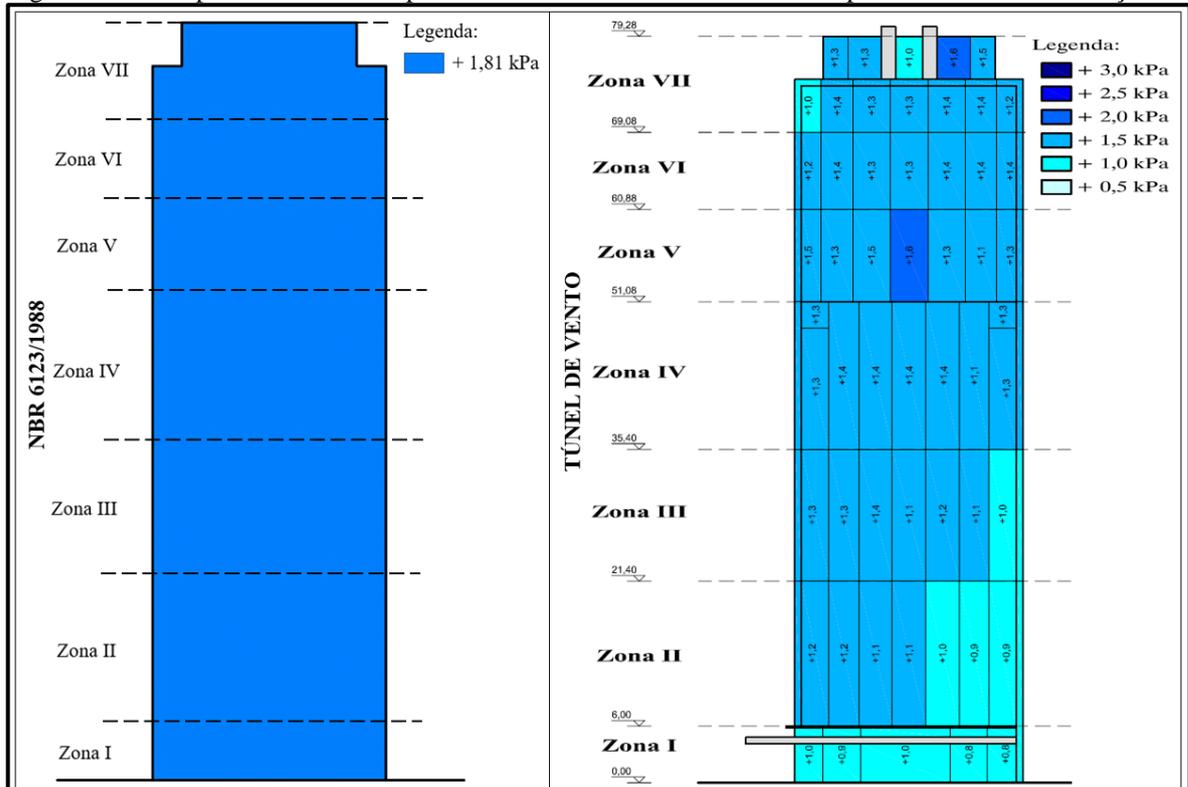
(Fonte: elaborado pelo autor)

Figura 59 - Sucções estimadas pela NBR e medidas em Túnel de Vento para fachada 4 da edificação B3



(Fonte: elaborado pelo autor)

Figura 60 - Sobrepressões estimadas pela NBR e medidas em Túnel de Vento para fachada 4 da edificação B3



(Fonte: elaborado pelo autor)

Quadro 11 - Comparativo dos resultados entre NBR e Túnel de Vento para edificação B3

Edificação B3 - Sucções na fachada 1															Edificação B3 - Sobrepressões na fachada 1				
Zona	Região 1			Região 2			Região 3			Região 4			Região 5			Zona	Região 1		
	NBR [kPa]	Túnel [kPa]	NBR/Túnel		NBR [kPa]	Túnel [kPa]	NBR/Túnel												
VII	2,71	3,00	0,90	2,26	2,30	0,98	1,36	2,30	0,59	2,26	1,80	1,26	2,71	1,90	1,43	VII	1,81	2,40	0,75
VI	2,71	2,10	1,29	2,26	2,20	1,03	1,36	1,80	0,76	2,26	2,40	0,94	2,71	2,70	1,00	VI	1,81	1,40	1,29
V	2,71	2,50	1,08	2,26	2,20	1,03	1,36	1,80	0,76	2,26	2,50	0,90	2,71	2,80	0,97	V	1,81	1,40	1,29
IV	2,71	2,50	1,08	2,26	2,20	1,03	1,36	1,80	0,76	2,26	1,80	1,26	2,71	1,80	1,51	IV	1,81	1,50	1,21
III	2,71	2,20	1,23	2,26	2,20	1,03	1,36	1,70	0,80	2,26	1,70	1,33	2,71	1,80	1,51	III	1,81	1,30	1,39
II	2,71	2,40	1,13	2,26	2,40	0,94	1,36	1,70	0,80	2,26	1,70	1,33	2,71	2,10	1,29	II	1,81	1,10	1,65
I	2,71	2,20	1,23	2,26	1,90	1,19	1,36	1,60	0,85	2,26	1,60	1,41	2,71	2,00	1,36	I	1,81	1,30	1,39

Edificação B3 - Sucções na fachada 2										Edificação B3 - Sobrepressões na fachada 2			
Zona	Região 1			Região 2			Região 3			Zona	Região 1		
	NBR [kPa]	Túnel [kPa]	NBR/Túnel	NBR [kPa]	Túnel [kPa]	NBR/Túnel	NBR [kPa]	Túnel [kPa]	NBR/Túnel		NBR [kPa]	Túnel [kPa]	NBR/Túnel
VII	2,71	1,80	1,51	2,26	1,70	1,33	2,71	2,20	1,23	VII	1,81	2,90	0,62
VI	2,71	2,70	1,00	2,26	3,10	0,73	2,71	3,10	0,87	VI	1,81	1,50	1,21
V	2,71	1,80	1,51	2,26	2,00	1,13	2,71	2,00	1,36	V	1,81	1,40	1,29
IV	2,71	2,20	1,23	2,26	2,60	0,87	2,71	2,60	1,04	IV	1,81	1,60	1,13
III	2,71	1,80	1,51	2,26	2,00	1,13	2,71	1,90	1,43	III	1,81	1,20	1,51
II	2,71	3,40	0,80	2,26	3,40	0,66	2,71	1,90	1,43	II	1,81	1,10	1,65
I	2,71	1,50	1,81	2,26	1,60	1,41	2,71	1,50	1,81	I	1,81	1,20	1,51

Edificação B3 - Sucções na fachada 3															Edificação B3 - Sobrepressões na fachada 3				
Zona	Região 1			Região 2			Região 3			Região 4			Região 5			Zona	Região 1		
	NBR [kPa]	Túnel [kPa]	NBR/Túnel		NBR [kPa]	Túnel [kPa]	NBR/Túnel												
VII	2,71	2,20	1,23	2,26	1,90	1,19	1,36	2,40	0,57	2,26	3,00	0,75	2,71	3,00	0,90	VII	1,81	2,30	0,79
VI	2,71	2,30	1,18	2,26	2,30	0,98	1,36	2,40	0,57	2,26	3,00	0,75	2,71	2,90	0,93	VI	1,81	1,50	1,21
V	2,71	2,60	1,04	2,26	2,60	0,87	1,36	2,10	0,65	2,26	3,10	0,73	2,71	4,10	0,66	V	1,81	1,60	1,13
IV	2,71	2,90	0,93	2,26	2,90	0,78	1,36	2,10	0,65	2,26	2,80	0,81	2,71	4,10	0,66	IV	1,81	1,40	1,29
III	2,71	2,30	1,18	2,26	2,20	1,03	1,36	1,90	0,72	2,26	2,60	0,87	2,71	3,10	0,87	III	1,81	1,50	1,21
II	2,71	2,20	1,23	2,26	2,20	1,03	1,36	2,00	0,68	2,26	2,30	0,98	2,71	2,70	1,00	II	1,81	1,20	1,51
I	2,71	2,00	1,36	2,26	2,00	1,13	1,36	2,00	0,68	2,26	2,50	0,90	2,71	2,50	1,08	I	1,81	0,60	3,02

Edificação B3 - Sucções na fachada 4										Edificação B3 - Sobrepressões na fachada 4			
Zona	Região 1			Região 2			Região 3			Zona	Região 1		
	NBR [kPa]	Túnel [kPa]	NBR/Túnel	NBR [kPa]	Túnel [kPa]	NBR/Túnel	NBR [kPa]	Túnel [kPa]	NBR/Túnel		NBR [kPa]	Túnel [kPa]	NBR/Túnel
VII	2,71	3,00	0,90	2,26	2,20	1,03	2,71	2,40	1,13	VII	1,81	1,60	1,13
VI	2,71	2,20	1,23	2,26	2,20	1,03	2,71	2,30	1,18	VI	1,81	1,40	1,29
V	2,71	2,30	1,18	2,26	1,80	1,26	2,71	1,90	1,43	V	1,81	1,60	1,13
IV	2,71	2,10	1,29	2,26	2,30	0,98	2,71	2,40	1,13	IV	1,81	1,40	1,29
III	2,71	2,10	1,29	2,26	2,50	0,90	2,71	2,50	1,08	III	1,81	1,40	1,29
II	2,71	2,20	1,23	2,26	2,00	1,13	2,71	2,10	1,29	II	1,81	1,20	1,51
I	2,71	1,60	1,69	2,26	1,60	1,41	2,71	1,50	1,81	I	1,81	1,00	1,81

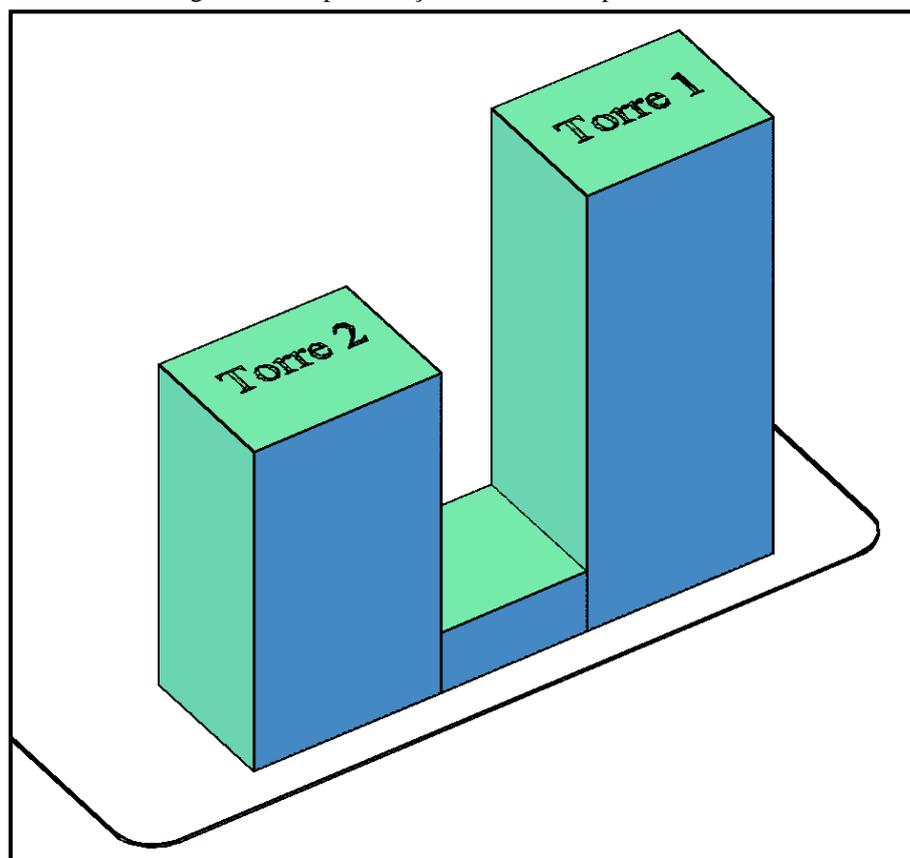
(Fonte: elaborado pelo autor)

5.4 EDIFICAÇÕES C1 E C2

As edificações C1 e C2 também compõem o mesmo empreendimento e possuem dimensões diferentes. Para análise em túnel de vento foi construído um modelo de escala 1/400, medindo-se as pressões a cada 15°, totalizando 24 ângulos de incidência do vento. Foram utilizadas 295 tomadas de pressões na torre 1 e 213 tomadas de pressões na torre 2, totalizando 12.192 registros de pressão.

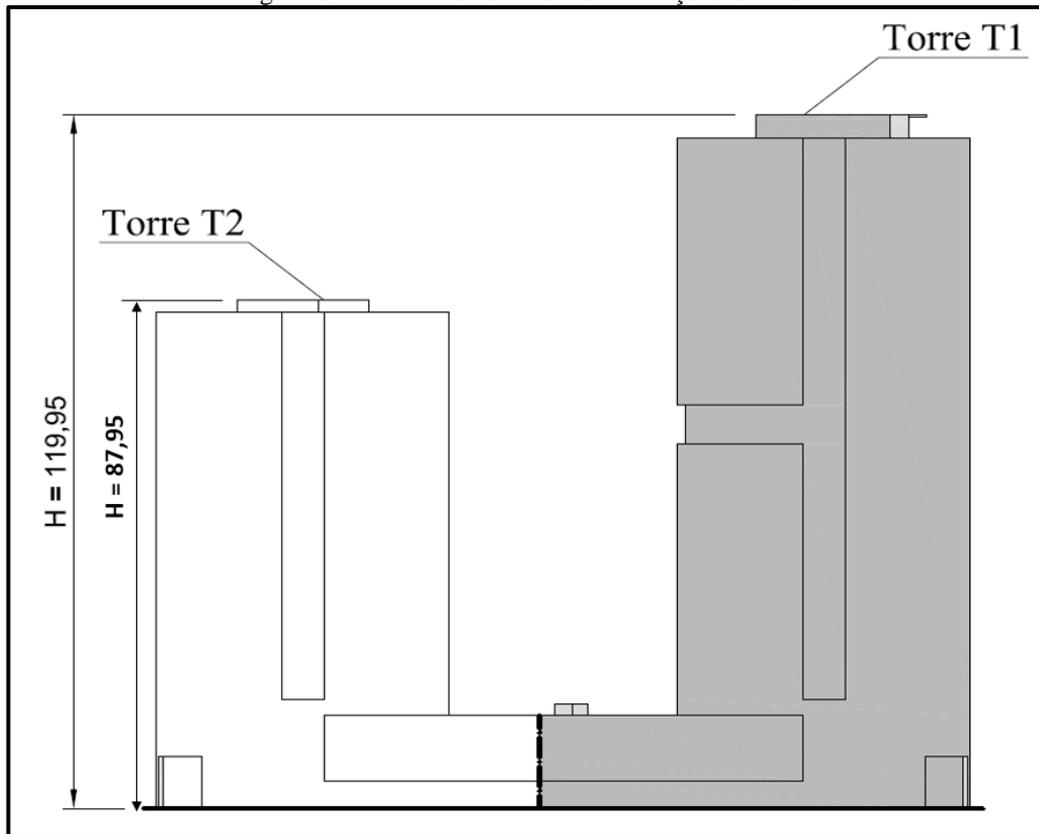
Uma representação geral do empreendimento pode ser observada pela figura 61. As fachadas frontais de ambas edificações são mostradas na figura 62 e o ângulo de referência do vento utilizado é apresentado na figura 63. Percebe-se que este empreendimento está exposto à mais de uma categoria de terreno, conseqüentemente, as fachadas de ambas as torres também estarão expostas à categorias de terreno diferentes.

Figura 61 - Representação em 3D do empreendimento C



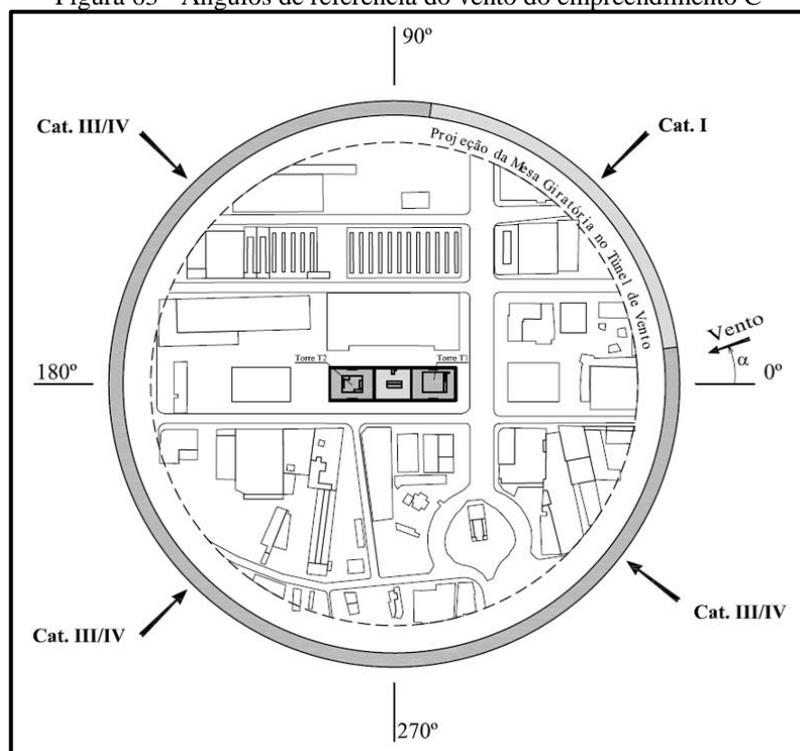
(Fonte: elaborado pelo autor)

Figura 62 - Fachadas frontais das edificações C1 e C2



(Fonte: Relatório técnico interno de uso restrito do Laboratório de Aerodinâmica das Construções)

Figura 63 - Ângulos de referência do vento do empreendimento C



(Fonte: Relatório técnico interno de uso restrito do Laboratório de Aerodinâmica das Construções)

5.4.1 Edificação C1

A edificação C1 corresponde à torre 1 do empreendimento. Abaixo segue descrição e numeração, de cada quadro e figura, relativas à edificação C1 para facilitar a compreensão e localização dos dados.

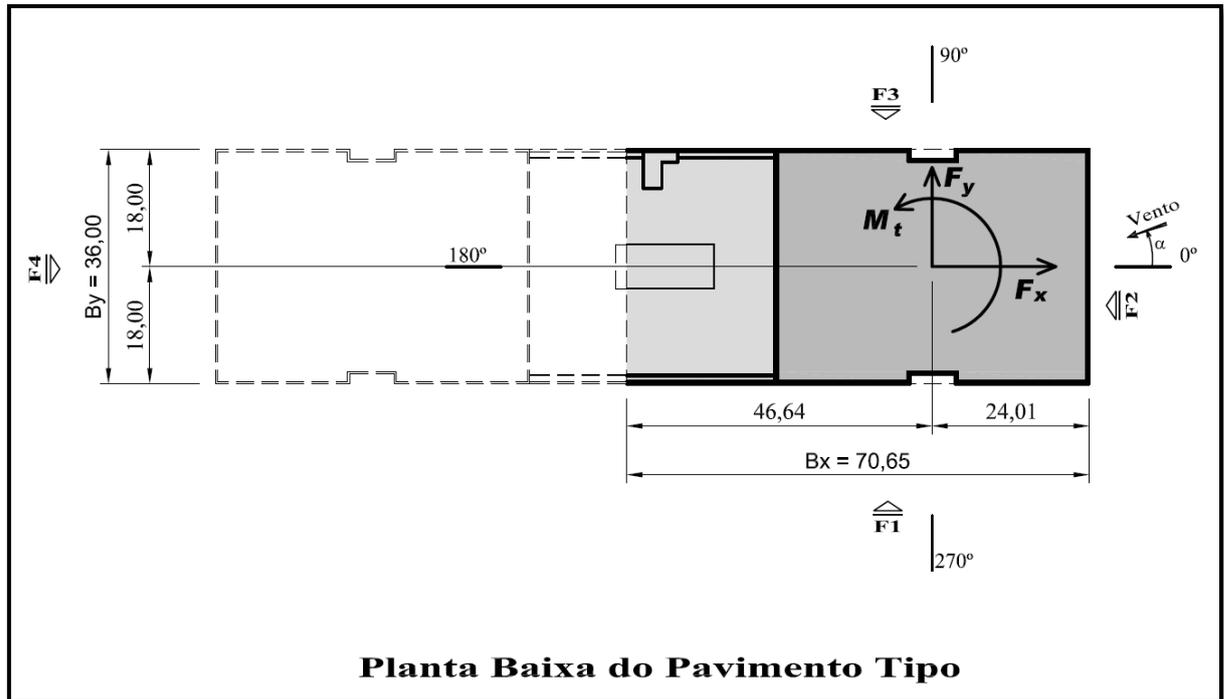
- Quadro 12 (Parâmetros da edificação C1): Apresentação dos principais parâmetros utilizados para estimativa e medição das pressões, tanto através da NBR 6123/1988, como através dos ensaios em túnel de vento.
- Figura 64 (Planta baixa da edificação C1): Apresenta uma imagem da planta baixa, utilizada, juntamente com a figura 62, para obtenção das dimensões da edificação necessárias à execução dos cálculos.
- Figuras 65 a 72 (Sucções e sobrepressões estimadas pela NBR e medidas em Túnel de Vento para a edificação C1): Nestas imagens são apresentados os resultados obtidos através dos dois métodos (NBR 6123/1988 e Túnel de Vento) para sucções e sobrepressões, em todas as fachadas da edificação C1.
- Quadro 13 (Comparativo dos resultados entre NBR 6123/1988 e Túnel de Vento para edificação C1): Neste quadro pode-se observar a diferença entre os resultados obtidos por ambos os métodos. Nas células em verde são apresentados os resultados absolutos de ambos os métodos e nas células em amarelo é mostrada uma relação entre esses dois resultados.

Quadro 12 - Parâmetros da edificação C1

	Vo [m/s]	S1	S2	S3	Fator Vizinhaça	Vk [m/s]	qk [Pa]
NBR	35	1	1,277 (Cat I) 1,205 (Cat III)	1	1,263 (até 87,95m)	44,7 (Cat I) 42,2 (Cat III)	1224,2 (Cat I) 1090,6 (Cat III)
TÚNEL DE VENTO	35	1	1,280 (Cat I) 1,180 (Cat III)	1	Não se aplica	44,8 (Cat I) 41,4 (Cat III)	1230,0 (Cat I) 1046,0 (Cat III)

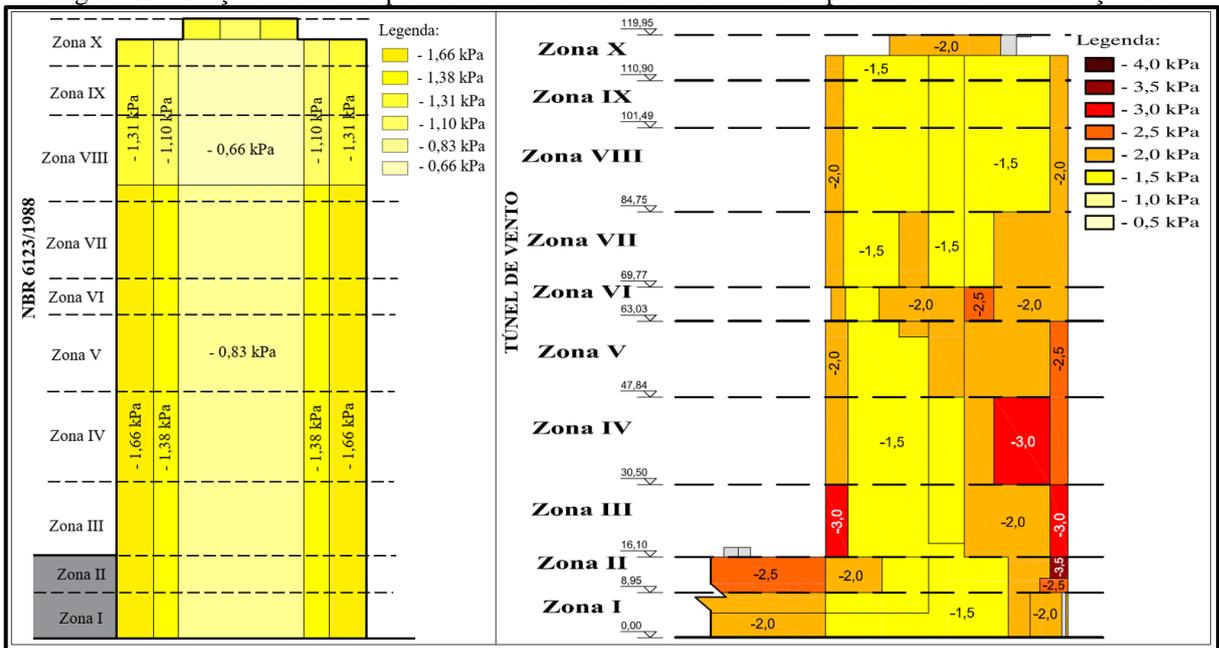
(Fonte: elaborado pelo autor)

Figura 64 - Planta baixa da edificação C1



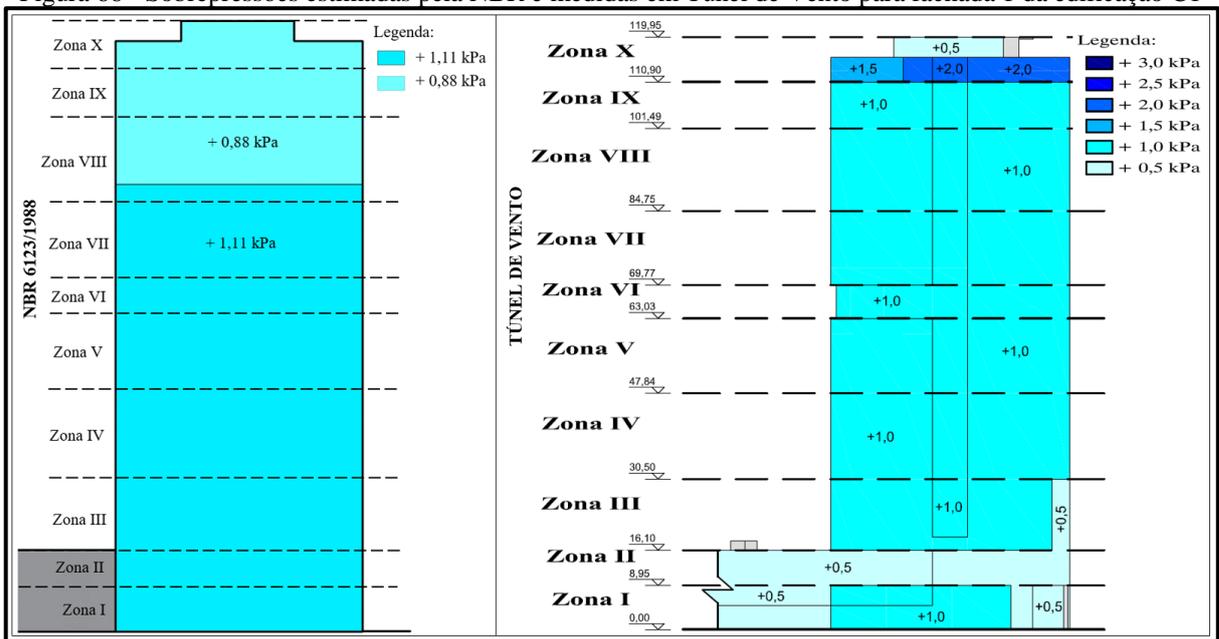
(Fonte: Relatório técnico interno de uso restrito do Laboratório de Aerodinâmica das Construções)

Figura 65 - Sucções estimadas pela NBR e medidas em Túnel de Vento para fachada 1 da edificação C1



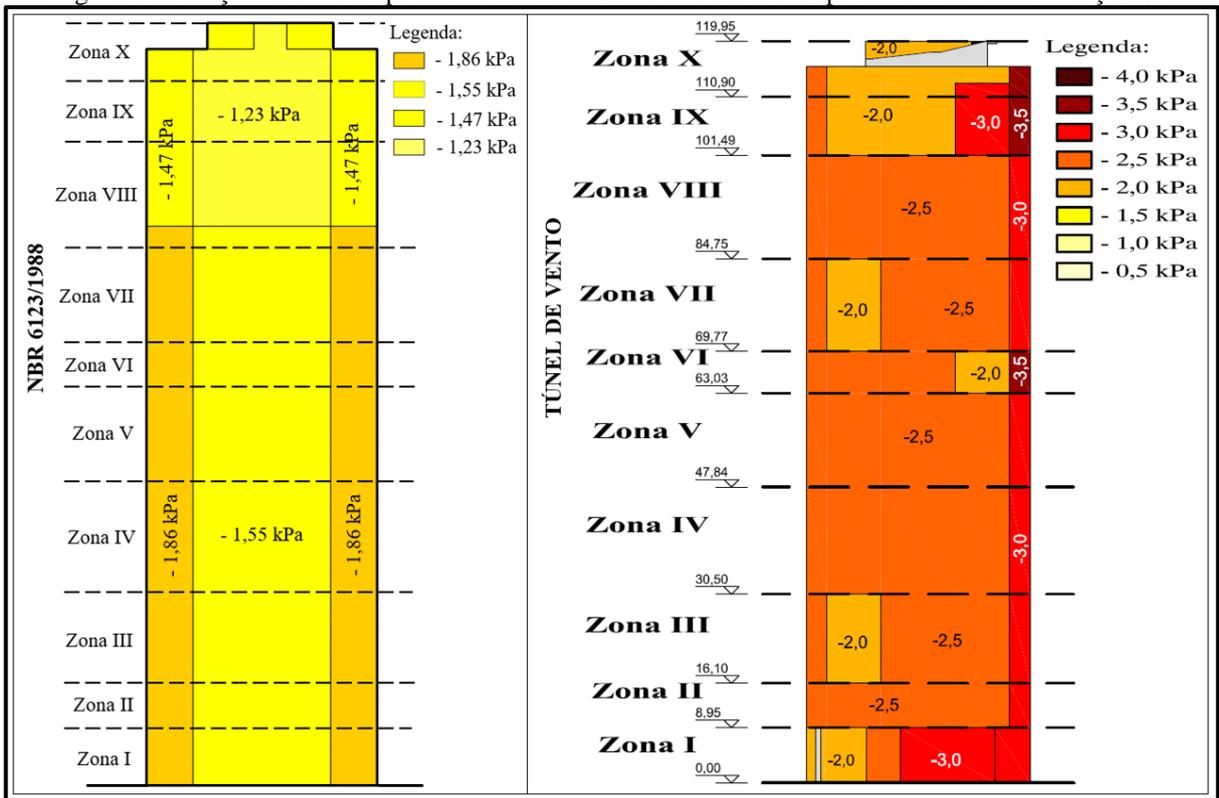
(Fonte: elaborado pelo autor)

Figura 66 - Sobrepressões estimadas pela NBR e medidas em Túnel de Vento para fachada 1 da edificação C1



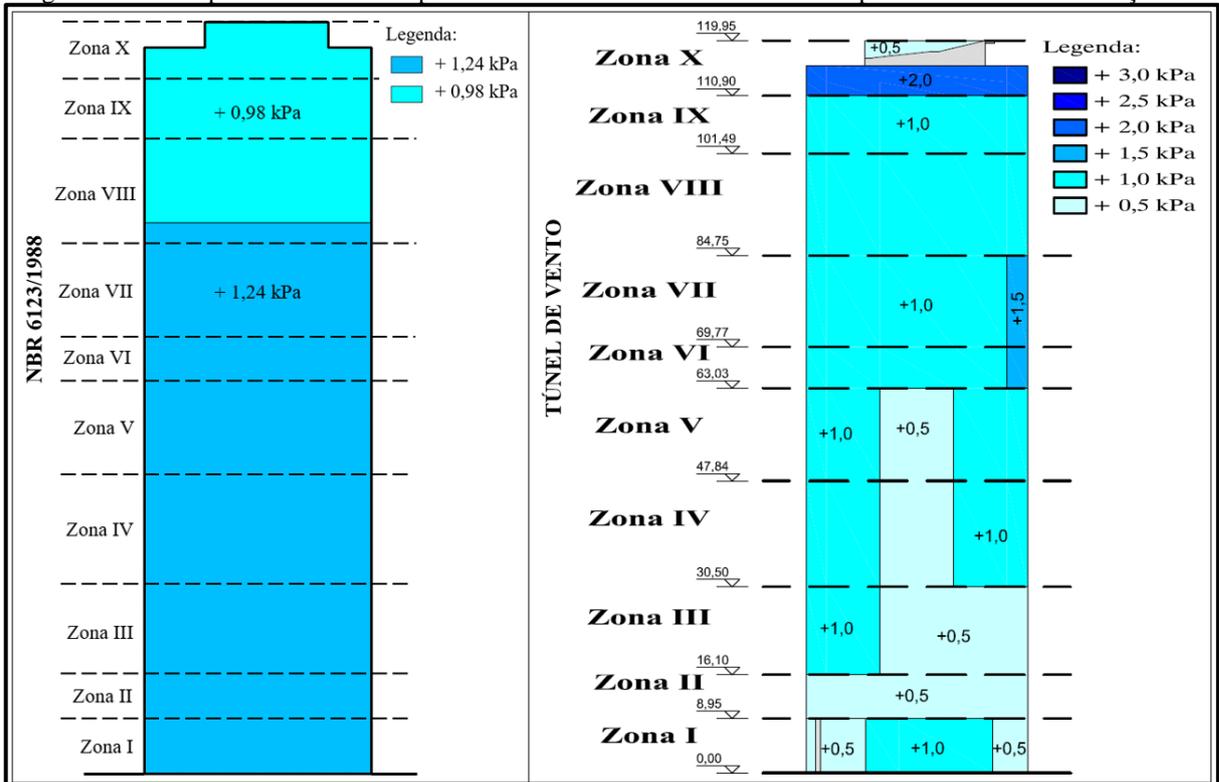
(Fonte: elaborado pelo autor)

Figura 67 - Sucções estimadas pela NBR e medidas em Túnel de Vento para fachada 2 da edificação C1



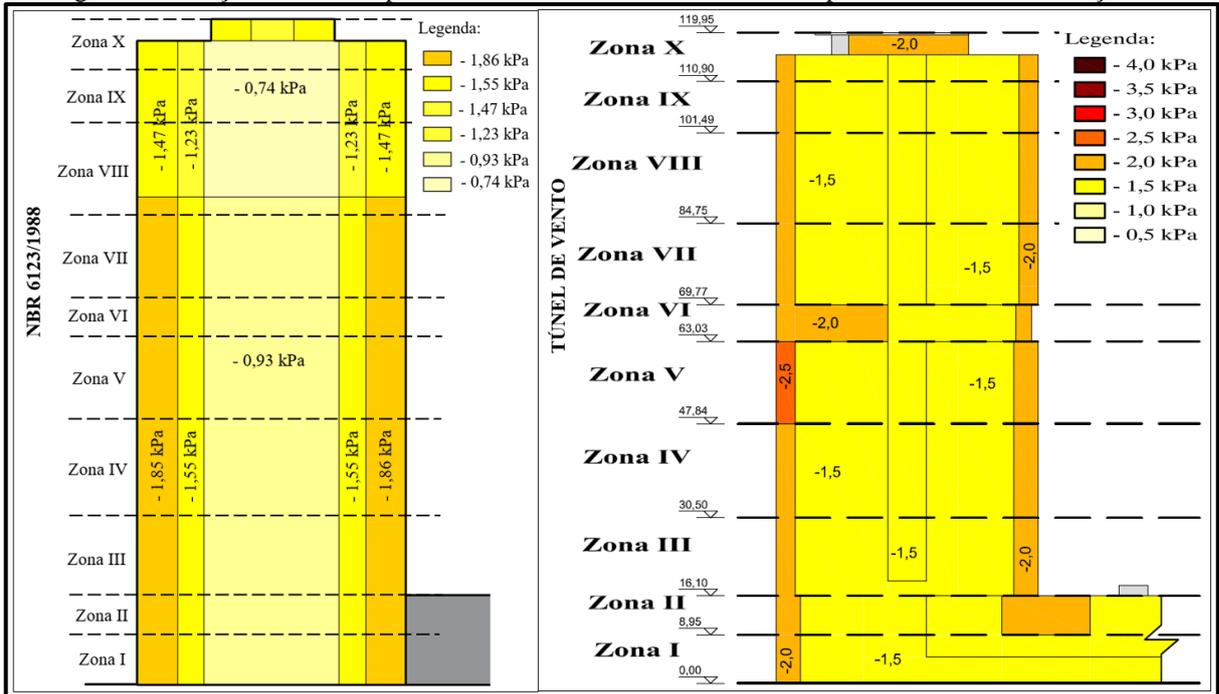
(Fonte: elaborado pelo autor)

Figura 68 - Sobrepressões estimadas pela NBR e medidas em Túnel de Vento para fachada 2 da edificação C1



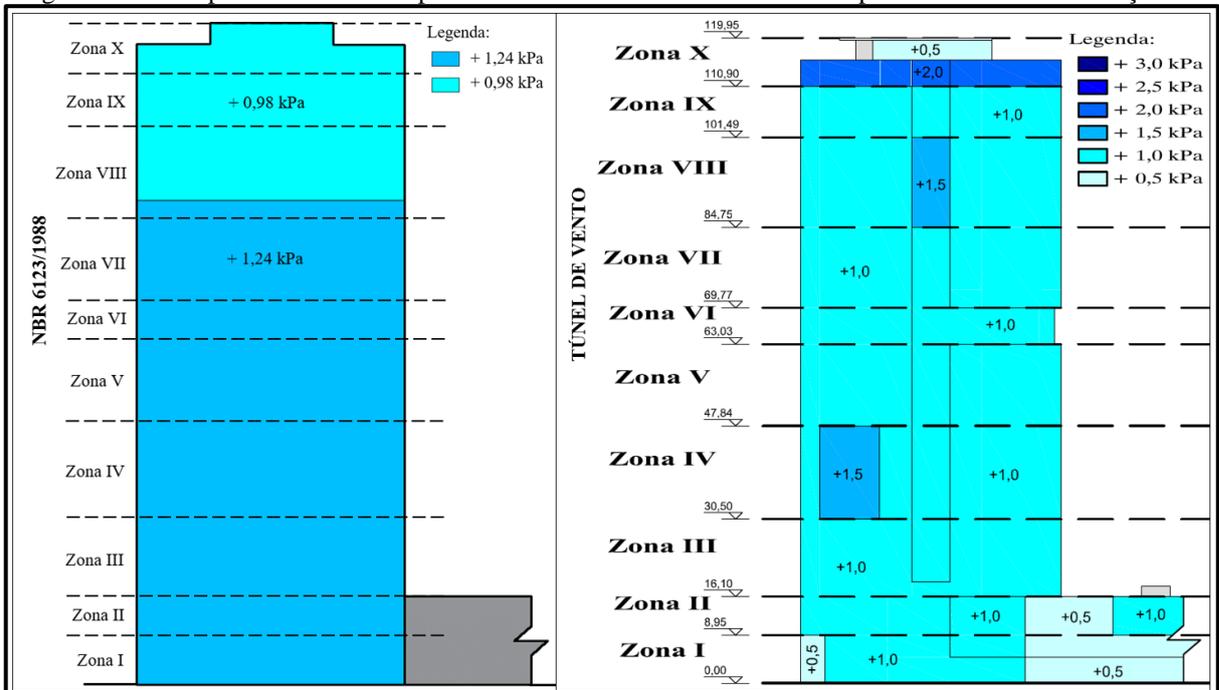
(Fonte: elaborado pelo autor)

Figura 69 - Sucções estimadas pela NBR e medidas em Túnel de Vento para fachada 3 da edificação C1



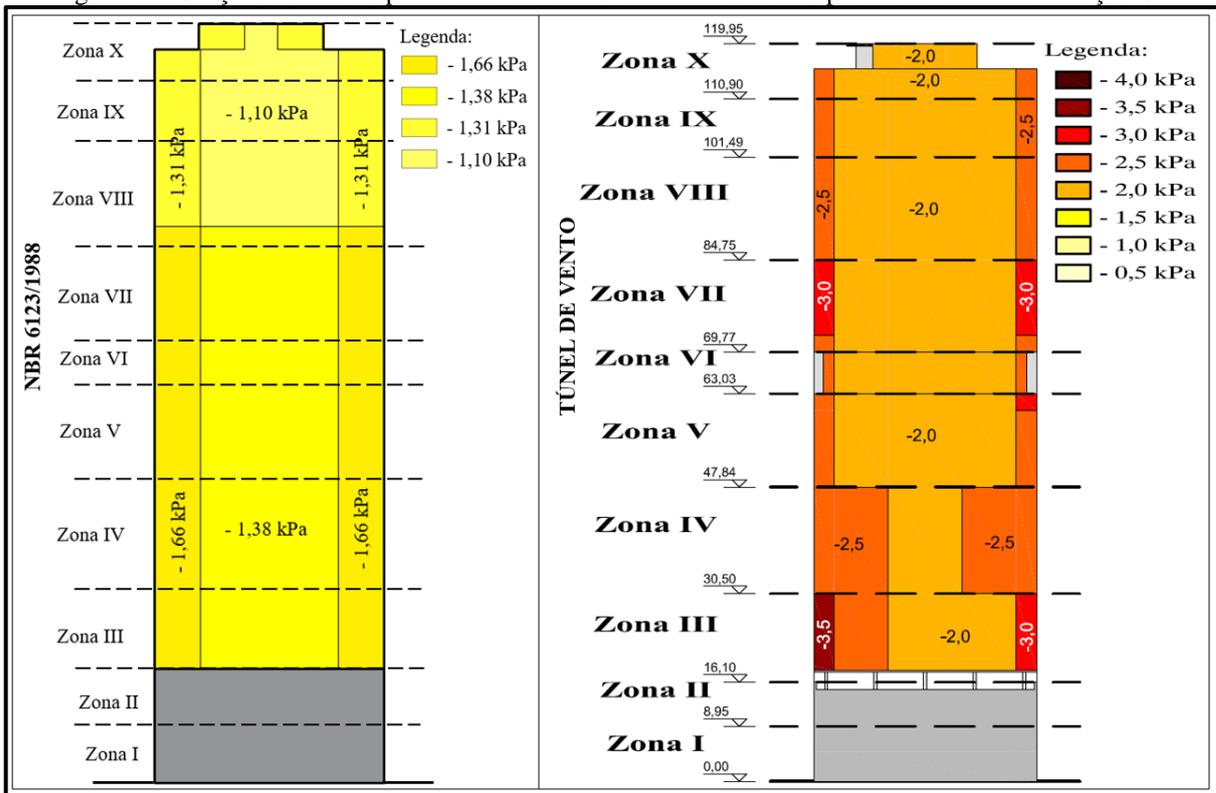
(Fonte: elaborado pelo autor)

Figura 70 - Sobrepressões estimadas pela NBR e medidas em Túnel de Vento para fachada 3 da edificação C1



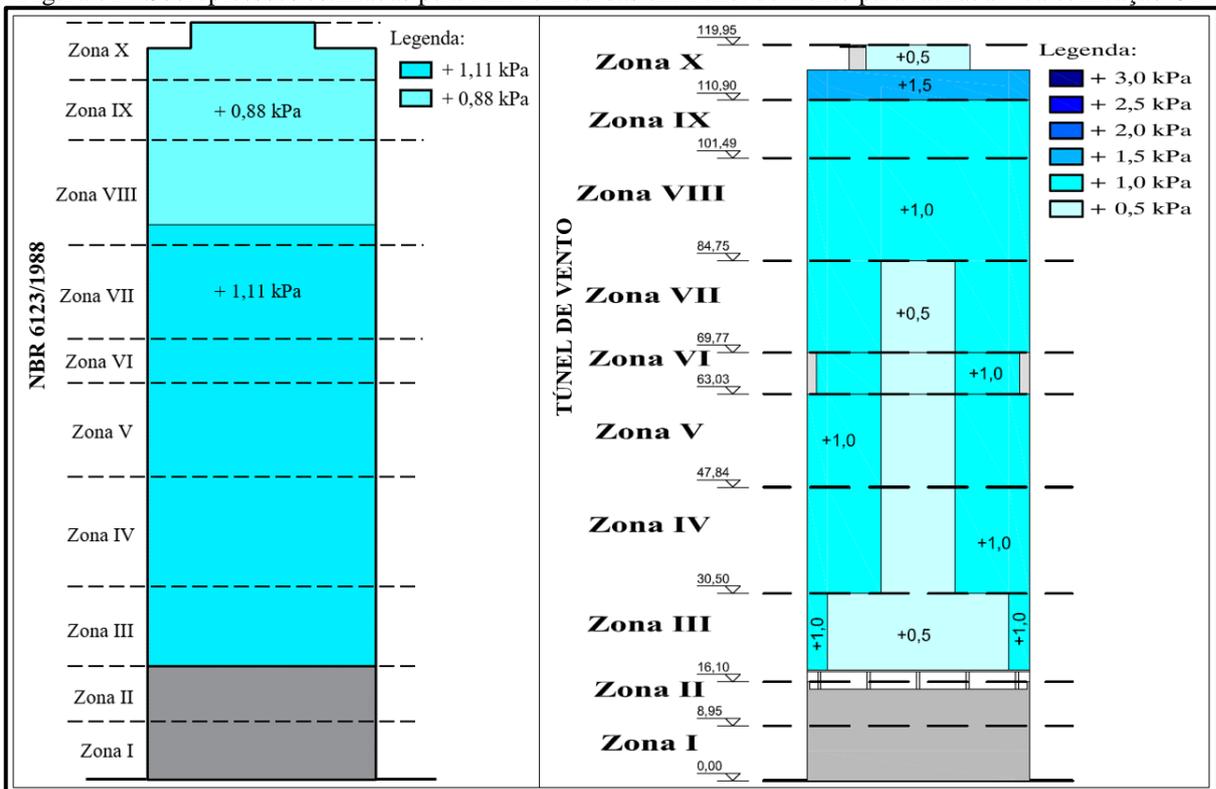
(Fonte: elaborado pelo autor)

Figura 71 - Sucções estimadas pela NBR e medidas em Túnel de Vento para fachada 4 da edificação C1



(Fonte: elaborado pelo autor)

Figura 72 - Sobrepressões estimadas pela NBR e medidas em Túnel de Vento para fachada 4 da edificação C1



(Fonte: elaborado pelo autor)

Quadro 13 - Comparativo dos resultados entre NBR e Túnel de Vento para edificação C1

Edificação C1 - Sucções na fachada 1															
Zona	Região 1			Região 2			Região 3			Região 4			Região 5		
	NBR [kPa]	Túnel [kPa]	NBR/Túnel												
X	1,31	2,00	0,66	1,10	2,00	0,55	0,66	1,50	0,44	1,10	2,00	0,55	1,31	2,00	0,66
IX	1,31	2,00	0,66	1,10	1,50	0,73	0,66	1,50	0,44	1,10	1,50	0,73	1,31	2,00	0,66
VIII	1,31	2,00	0,66	1,10	1,50	0,73	0,66	1,50	0,44	1,10	1,50	0,73	1,31	2,00	0,66
VII	1,66	2,00	0,83	1,38	1,50	0,92	0,83	2,00	0,42	1,38	2,00	0,69	1,66	2,00	0,83
VI	1,66	2,00	0,83	1,38	2,00	0,69	0,83	2,50	0,33	1,38	2,00	0,69	1,66	2,00	0,83
V	1,66	2,00	0,83	1,38	1,50	0,92	0,83	2,00	0,42	1,38	2,00	0,69	1,66	2,50	0,66
IV	1,66	2,00	0,83	1,38	1,50	0,92	0,83	3,00	0,28	1,38	3,00	0,46	1,66	3,00	0,55
III	1,66	3,00	0,55	1,38	1,50	0,92	0,83	2,00	0,42	1,38	2,00	0,69	1,66	3,00	0,55
II	1,66	2,00	0,83	1,38	2,00	0,69	0,83	1,50	0,55	1,38	2,00	0,69	1,66	3,50	0,47
I	1,66	1,50	1,11	1,38	1,50	0,92	0,83	1,50	0,55	1,38	2,00	0,69	1,66	2,00	0,83

Edificação C1 - Sucções na fachada 2															
Zona	Região 1			Região 2			Região 3								
	NBR [kPa]	Túnel [kPa]	NBR/Túnel	NBR [kPa]	Túnel [kPa]	NBR/Túnel	NBR [kPa]	Túnel [kPa]	NBR/Túnel						
X	1,47	2,50	0,59	1,23	3,00	0,41	1,47	3,50	0,42						
IX	1,47	2,50	0,59	1,23	3,00	0,41	1,47	3,50	0,42						
VIII	1,47	2,50	0,59	1,23	2,50	0,49	1,47	3,00	0,49						
VII	1,86	2,50	0,74	1,55	2,50	0,62	1,86	3,00	0,62						
VI	1,86	2,50	0,74	1,55	2,50	0,62	1,86	3,50	0,53						
V	1,86	2,50	0,74	1,55	2,50	0,62	1,86	3,00	0,62						
IV	1,86	2,50	0,74	1,55	2,50	0,62	1,86	3,00	0,62						
III	1,86	2,50	0,74	1,55	2,50	0,62	1,86	3,00	0,62						
II	1,86	2,50	0,74	1,55	2,50	0,62	1,86	3,00	0,62						
I	1,86	2,00	0,93	1,55	3,00	0,52	1,86	3,00	0,62						

Edificação C1 - Sucções na fachada 3															
Zona	Região 1			Região 2			Região 3			Região 4			Região 5		
	NBR [kPa]	Túnel [kPa]	NBR/Túnel												
X	1,47	2,00	0,74	1,23	2,00	0,62	0,74	1,50	0,49	1,23	2,00	0,62	1,47	2,00	0,74
IX	1,47	2,00	0,74	1,23	1,50	0,82	0,74	1,50	0,49	1,23	1,50	0,82	1,47	2,00	0,74
VIII	1,47	2,00	0,74	1,23	1,50	0,82	0,74	1,50	0,49	1,23	1,50	0,82	1,47	2,00	0,74
VII	1,86	2,00	0,93	1,55	1,50	1,03	0,93	1,50	0,62	1,55	1,50	1,03	1,86	2,00	0,93
VI	1,86	2,00	0,93	1,55	2,00	0,78	0,93	2,00	0,47	1,55	1,50	1,03	1,86	2,00	0,93
V	1,86	2,50	0,74	1,55	1,50	1,03	0,93	1,50	0,62	1,55	1,50	1,03	1,86	2,00	0,93
IV	1,86	2,00	0,93	1,55	1,50	1,03	0,93	1,50	0,62	1,55	1,50	1,03	1,86	2,00	0,93
III	1,86	2,00	0,93	1,55	1,50	1,03	0,93	1,50	0,62	1,55	1,50	1,03	1,86	2,00	0,93
II	1,86	2,00	0,93	1,55	1,50	1,03	0,93	1,50	0,62	1,55	1,50	1,03	1,86	2,00	0,93
I	1,86	2,00	0,93	1,55	1,50	1,03	0,93	1,50	0,62	1,55	1,50	1,03	1,86	1,50	1,24

Edificação C1 - Sucções na fachada 4															
Zona	Região 1			Região 2			Região 3								
	NBR [kPa]	Túnel [kPa]	NBR/Túnel	NBR [kPa]	Túnel [kPa]	NBR/Túnel	NBR [kPa]	Túnel [kPa]	NBR/Túnel						
X	1,31	2,50	0,52	1,10	2,00	0,55	1,31	2,50	0,52						
IX	1,31	2,50	0,52	1,10	2,00	0,55	1,31	2,50	0,52						
VIII	1,31	2,50	0,52	1,10	2,00	0,55	1,31	2,50	0,52						
VII	1,66	3,00	0,55	1,38	2,00	0,69	1,66	3,00	0,55						
VI	1,66	2,50	0,66	1,38	2,00	0,69	1,66	2,50	0,66						
V	1,66	2,50	0,66	1,38	2,00	0,69	1,66	3,00	0,55						
IV	1,66	2,50	0,66	1,38	2,50	0,55	1,66	2,50	0,66						
III	1,66	3,50	0,47	1,38	2,50	0,55	1,66	3,00	0,55						
II															
I															

Edificação C1 - Sobrepressões na fachada 1			
Zona	Região 1		
	NBR [kPa]	Túnel [kPa]	NBR/Túnel
X	0,88	2,00	0,44
IX	0,88	1,00	0,88
VIII	0,88	1,00	0,88
VII	1,11	1,00	1,11
VI	1,11	1,00	1,11
V	1,11	1,00	1,11
IV	1,11	1,00	1,11
III	1,11	1,00	1,11
II	1,11	1,00	1,11
I	1,11	1,00	1,11

Edificação C1 - Sobrepressões na fachada 2			
Zona	Região 1		
	NBR [kPa]	Túnel [kPa]	NBR/Túnel
X	0,98	2,00	0,49
IX	0,98	1,00	0,98
VIII	0,98	1,00	0,98
VII	1,24	1,50	0,83
VI	1,24	1,50	0,83
V	1,24	1,00	1,24
IV	1,24	1,00	1,24
III	1,24	1,00	1,24
II	1,24	0,50	2,48
I	1,24	1,00	1,24

Edificação C1 - Sobrepressões na fachada 3			
Zona	Região 1		
	NBR [kPa]	Túnel [kPa]	NBR/Túnel
X	0,98	2,00	0,49
IX	0,98	1,00	0,98
VIII	0,98	1,50	0,65
VII	1,24	1,00	1,24
VI	1,24	1,00	1,24
V	1,24	1,00	1,24
IV	1,24	1,50	0,83
III	1,24	1,00	1,24
II	1,24	1,00	1,24
I	1,24	1,00	1,24

Edificação C1 - Sobrepressões na fachada 4			
Zona	Região 1		
	NBR [kPa]	Túnel [kPa]	NBR/Túnel
X	0,88	1,50	0,59
IX	0,88	1,00	0,88
VIII	0,88	1,00	0,88
VII	1,11	1,00	1,11
VI	1,11	1,00	1,11
V	1,11	1,00	1,11
IV	1,11	1,00	1,11
III	1,11	1,00	1,11
II			
I			

(Fonte: elaborado pelo autor)

5.4.2 Edificação C2

A edificação C2 corresponde à torre 2 do empreendimento. Abaixo segue descrição e numeração, de cada quadro e figura, relativas à edificação C2 para facilitar a compreensão e localização dos dados.

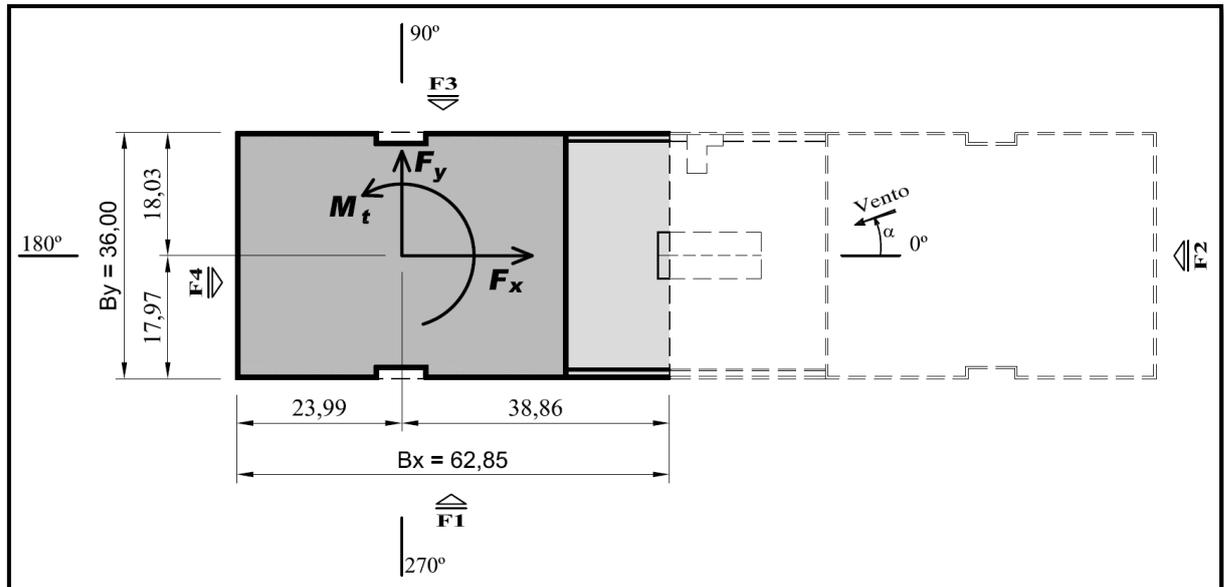
- Quadro 14 (Parâmetros da edificação C2): Apresentação dos principais parâmetros utilizados para estimativa e medição das pressões, tanto através da NBR 6123/1988, como através dos ensaios em túnel de vento.
- Figura 73 (Planta baixa da edificação C2): Apresenta uma imagem da planta baixa, utilizada, juntamente com a figura 62, para obtenção das dimensões da edificação necessárias à execução dos cálculos.
- Figuras 74 a 81 (Sucções e sobrepressões estimadas pela NBR e medidas em Túnel de Vento para a edificação C2): Nestas imagens são apresentados os resultados obtidos através dos dois métodos (NBR 6123/1988 e Túnel de Vento) para sucções e sobrepressões, em todas as fachadas da edificação C2.
- Quadro 15 (Comparativo dos resultados entre NBR 6123/1988 e Túnel de Vento para edificação C2): Neste quadro pode-se observar a diferença entre os resultados obtidos por ambos os métodos. Nas células em verde são apresentados os resultados absolutos de ambos os métodos e nas células em amarelo é mostrada uma relação entre esses dois resultados.

Quadro 14 - Parâmetros da edificação C2

	Vo [m/s]	S1	S2	S3	Fator Vizinhança	Vk [m/s]	qk [Pa]
NBR	35	1	1,277 (Cat I) 1,205 (Cat III)	1	1,263 (até o topo)	44,7 (Cat I) 42,2 (Cat III)	1224,2 (Cat I) 1090,6 (Cat III)
TÚNEL DE VENTO	35	1	1,280 (Cat I) 1,180 (Cat III)	1	Não se aplica	44,8 (Cat I) 41,4 (Cat III)	1230,0 (Cat I) 1046,0 (Cat III)

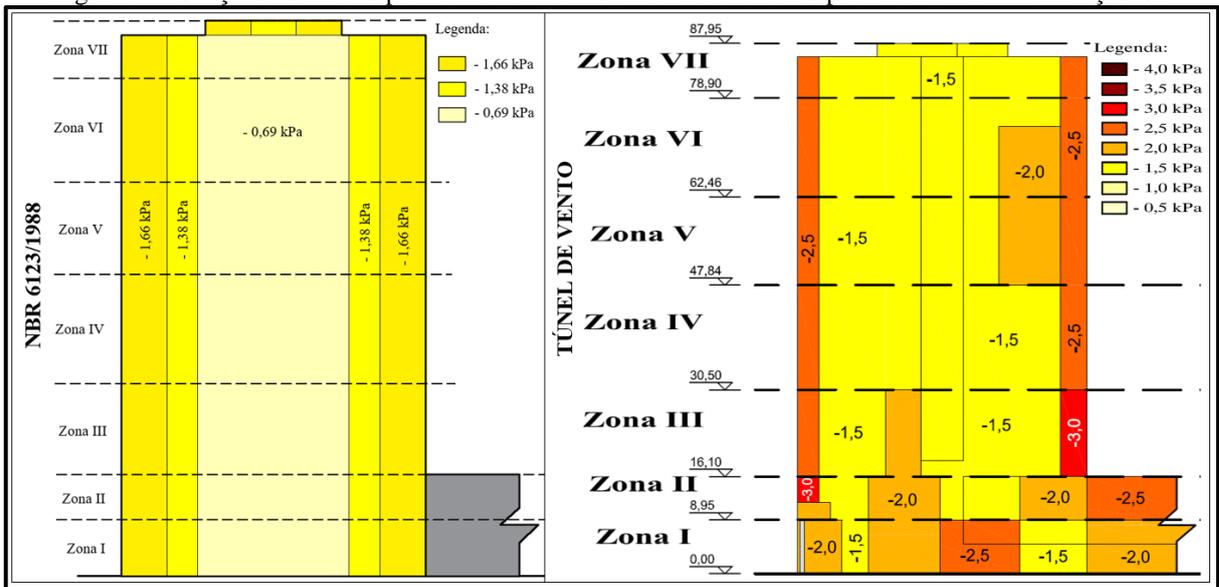
(Fonte: elaborado pelo autor)

Figura 73 - Planta baixa da edificação C2



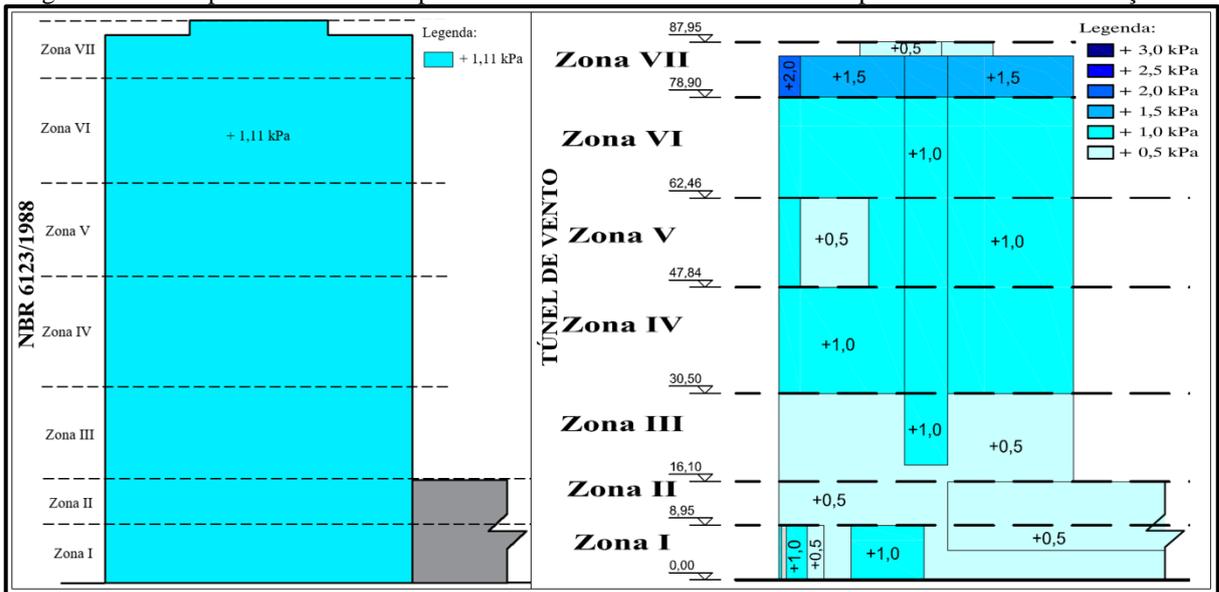
(Fonte: Relatório técnico interno de uso restrito do Laboratório de Aerodinâmica das Construções)

Figura 74 - Sucções estimadas pela NBR e medidas em Túnel de Vento para fachada 1 da edificação C2



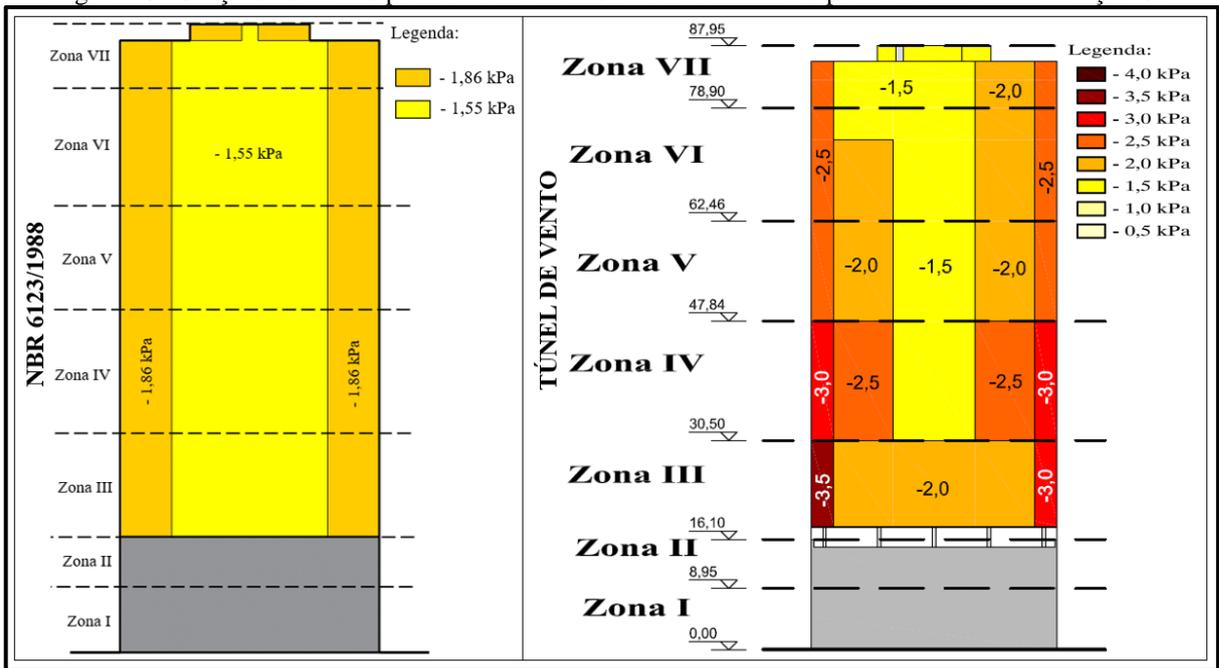
(Fonte: elaborado pelo autor)

Figura 75 - Sobrepressões estimadas pela NBR e medidas em Túnel de Vento para fachada 1 da edificação C2



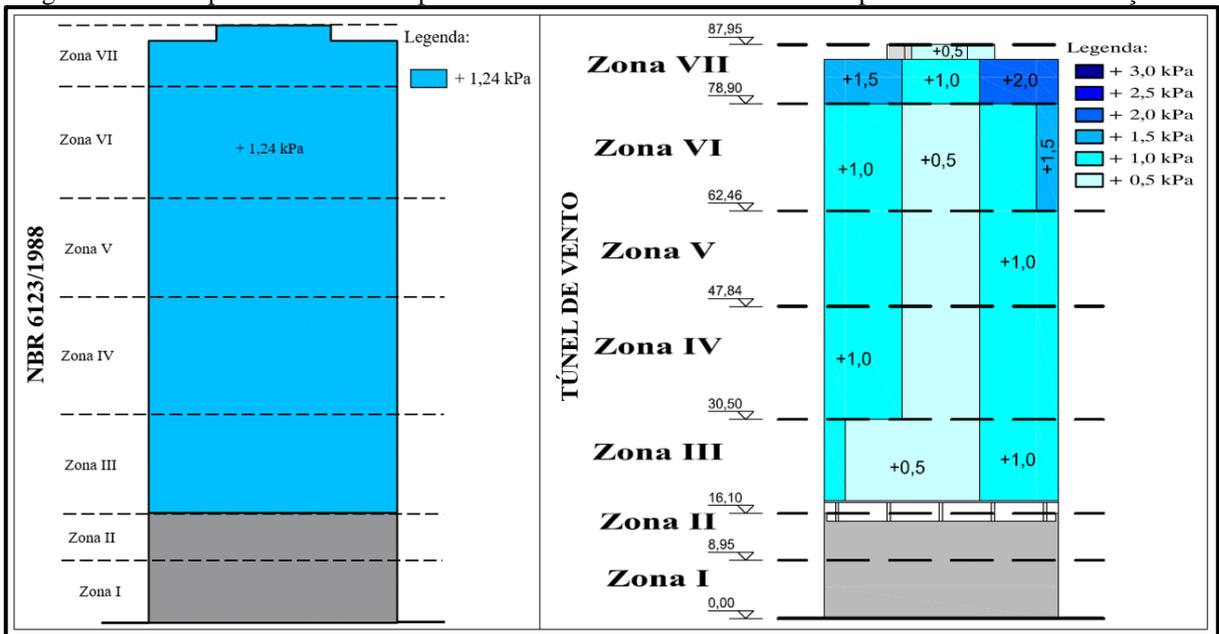
(Fonte: elaborado pelo autor)

Figura 76 - Sucções estimadas pela NBR e medidas em Túnel de Vento para fachada 2 da edificação C2



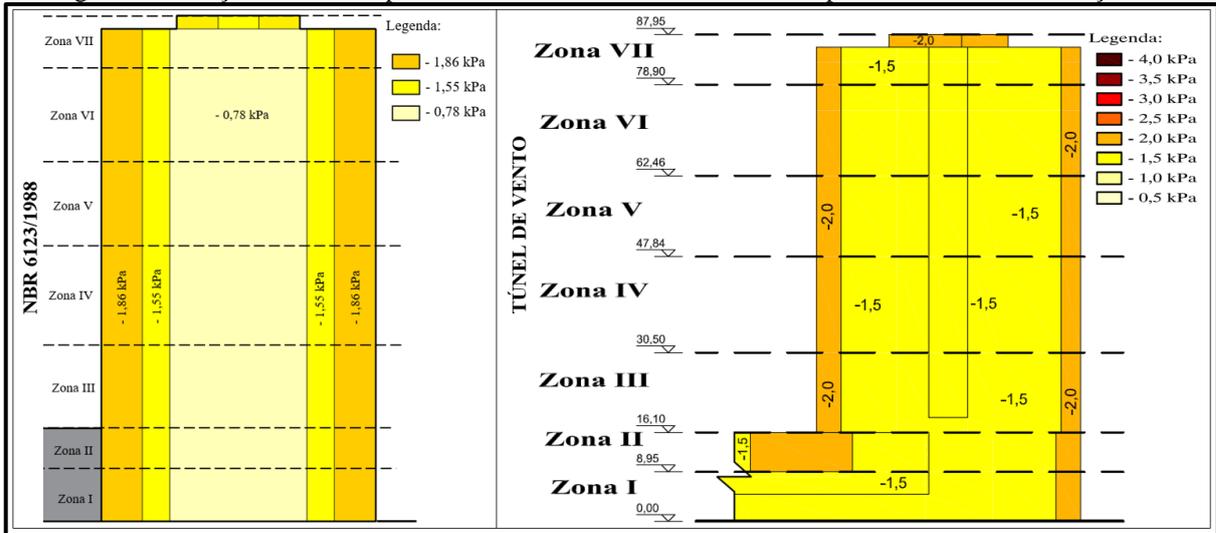
(Fonte: elaborado pelo autor)

Figura 77 - Sobrepressões estimadas pela NBR e medidas em Túnel de Vento para fachada 2 da edificação C2



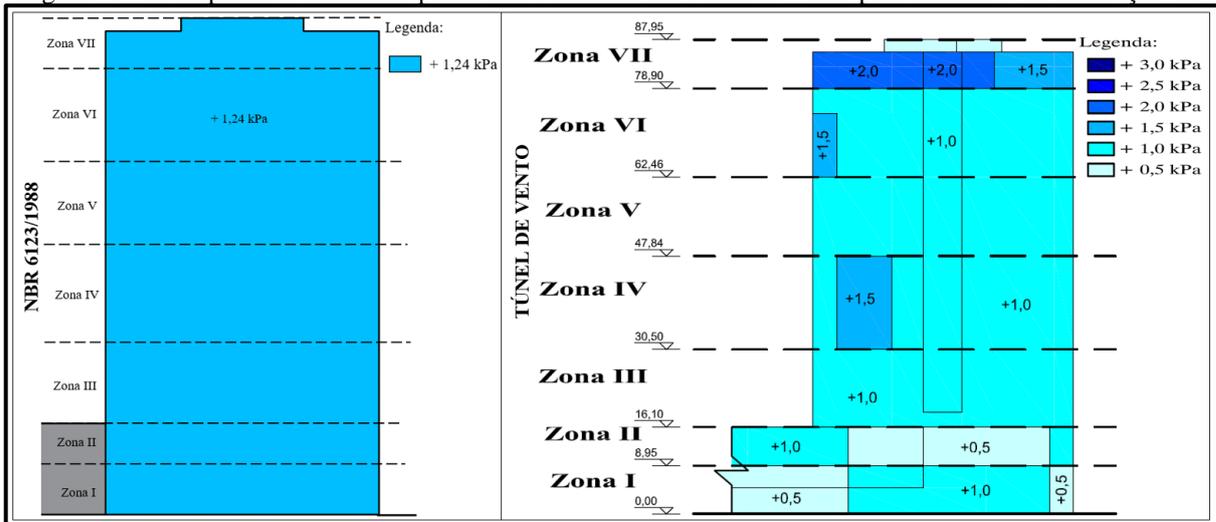
(Fonte: elaborado pelo autor)

Figura 78 - Sucções estimadas pela NBR e medidas em Túnel de Vento para fachada 3 da edificação C2



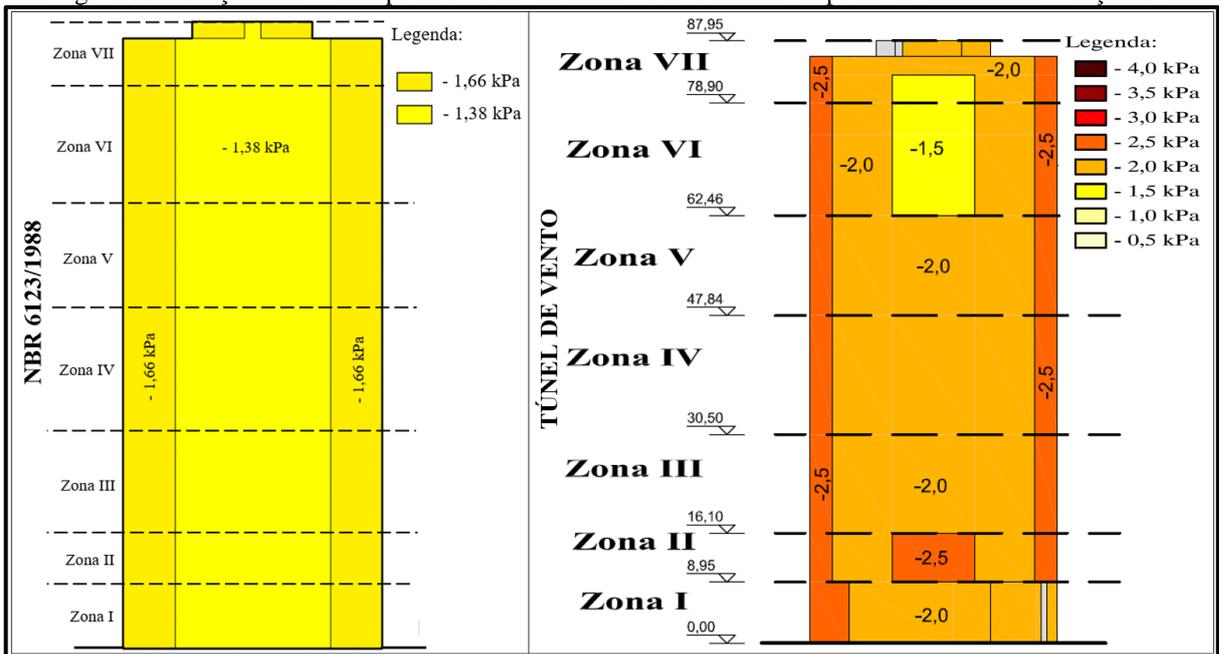
(Fonte: elaborado pelo autor)

Figura 79 - Sobrepressões estimadas pela NBR e medidas em Túnel de Vento para fachada 3 da edificação C2



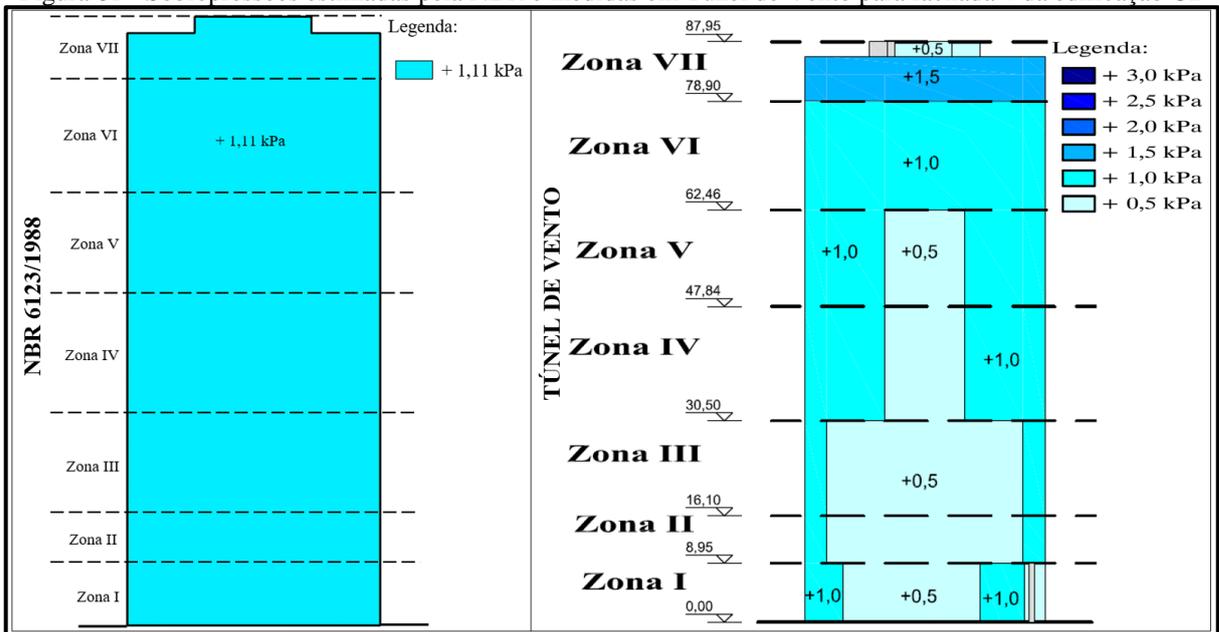
(Fonte: elaborado pelo autor)

Figura 80 - Sucções estimadas pela NBR e medidas em Túnel de Vento para fachada 4 da edificação C2



(Fonte: elaborado pelo autor)

Figura 81 - Sobrepressões estimadas pela NBR e medidas em Túnel de Vento para fachada 4 da edificação C2



(Fonte: elaborado pelo autor)

Quadro 15 - Comparativo dos resultados entre NBR e Túnel de Vento para edificação C2

Edificação C2 - Sucções na fachada 1															Edificação C2 - Sobrepressões na fachada 1				
Zona	Região 1			Região 2			Região 3			Região 4			Região 5			Zona	Região 1		
	NBR [kPa]	Túnel [kPa]	NBR/Túnel		NBR [kPa]	Túnel [kPa]	NBR/Túnel												
VII	1,66	2,50	0,66	1,38	1,50	0,92	0,69	1,50	0,46	1,38	1,50	0,92	1,66	2,50	0,66	VII	1,11	2,00	0,56
VI	1,66	2,50	0,66	1,38	1,50	0,92	0,69	1,50	0,46	1,38	2,00	0,69	1,66	2,50	0,66	VI	1,11	1,00	1,11
V	1,66	2,50	0,66	1,38	1,50	0,92	0,69	1,50	0,46	1,38	2,00	0,69	1,66	2,50	0,66	V	1,11	1,00	1,11
IV	1,66	2,50	0,66	1,38	1,50	0,92	0,69	1,50	0,46	1,38	1,50	0,92	1,66	2,50	0,66	IV	1,11	1,00	1,11
III	1,66	2,50	0,66	1,38	1,50	0,92	0,69	2,00	0,35	1,38	1,50	0,92	1,66	3,00	0,55	III	1,11	1,00	1,11
II	1,66	3,00	0,55	1,38	1,50	0,92	0,69	2,00	0,35	1,38	2,00	0,69	1,66	2,00	0,83	II	1,11	0,50	2,22
I	1,66	2,00	0,83	1,38	1,50	0,92	0,69	2,50	0,28	1,38	1,50	0,92	1,66	1,50	1,11	I	1,11	1,00	1,11

Edificação C2 - Sucções na fachada 2										Edificação C2 - Sobrepressões na fachada 2			
Zona	Região 1			Região 2			Região 3			Zona	Região 1		
	NBR [kPa]	Túnel [kPa]	NBR/Túnel	NBR [kPa]	Túnel [kPa]	NBR/Túnel	NBR [kPa]	Túnel [kPa]	NBR/Túnel		NBR [kPa]	Túnel [kPa]	NBR/Túnel
VII	1,86	2,50	0,74	1,55	2,00	0,78	1,86	2,50	0,74	VII	1,24	2,00	0,62
VI	1,86	2,50	0,74	1,55	2,00	0,78	1,86	2,50	0,74	VI	1,24	1,50	0,83
V	1,86	2,50	0,74	1,55	2,00	0,78	1,86	2,50	0,74	V	1,24	1,00	1,24
IV	1,86	3,00	0,62	1,55	2,50	0,62	1,86	3,00	0,62	IV	1,24	1,00	1,24
III	1,86	3,50	0,53	1,55	2,00	0,78	1,86	3,00	0,62	III	1,24	1,00	1,24
II										II			
I										I			

Edificação C2 - Sucções na fachada 3															Edificação C2 - Sobrepressões na fachada 3				
Zona	Região 1			Região 2			Região 3			Região 4			Região 5			Zona	Região 1		
	NBR [kPa]	Túnel [kPa]	NBR/Túnel		NBR [kPa]	Túnel [kPa]	NBR/Túnel												
VII	1,86	2,00	0,93	1,55	2,00	0,78	0,78	1,50	0,52	1,55	2,00	0,78	1,86	2,00	0,93	VII	1,24	2,00	0,62
VI	1,86	2,00	0,93	1,55	1,50	1,03	0,78	1,50	0,52	1,55	1,50	1,03	1,86	2,00	0,93	VI	1,24	1,50	0,83
V	1,86	2,00	0,93	1,55	1,50	1,03	0,78	1,50	0,52	1,55	1,50	1,03	1,86	2,00	0,93	V	1,24	1,00	1,24
IV	1,86	2,00	0,93	1,55	1,50	1,03	0,78	1,50	0,52	1,55	1,50	1,03	1,86	2,00	0,93	IV	1,24	1,50	0,83
III	1,86	2,00	0,93	1,55	1,50	1,03	0,78	1,50	0,52	1,55	1,50	1,03	1,86	2,00	0,93	III	1,24	1,00	1,24
II	1,86	2,00	0,93	1,55	1,50	1,03	0,78	1,50	0,52	1,55	1,50	1,03	1,86	2,00	0,93	II	1,24	1,00	1,24
I	1,86	1,50	1,24	1,55	1,50	1,03	0,78	1,50	0,52	1,55	1,50	1,03	1,86	2,00	0,93	I	1,24	1,00	1,24

Edificação C2 - Sucções na fachada 4										Edificação C2 - Sobrepressões na fachada 4			
Zona	Região 1			Região 2			Região 3			Zona	Região 1		
	NBR [kPa]	Túnel [kPa]	NBR/Túnel	NBR [kPa]	Túnel [kPa]	NBR/Túnel	NBR [kPa]	Túnel [kPa]	NBR/Túnel		NBR [kPa]	Túnel [kPa]	NBR/Túnel
VII	1,66	2,50	0,66	1,38	2,00	0,69	1,66	2,50	0,66	VII	1,11	1,50	0,74
VI	1,66	2,50	0,66	1,38	2,00	0,69	1,66	2,50	0,66	VI	1,11	1,00	1,11
V	1,66	2,50	0,66	1,38	2,00	0,69	1,66	2,50	0,66	V	1,11	1,00	1,11
IV	1,66	2,50	0,66	1,38	2,00	0,69	1,66	2,50	0,66	IV	1,11	1,00	1,11
III	1,66	2,50	0,66	1,38	2,00	0,69	1,66	2,50	0,66	III	1,11	1,00	1,11
II	1,66	2,50	0,66	1,38	2,50	0,55	1,66	2,50	0,66	II	1,11	1,00	1,11
I	1,66	2,50	0,66	1,38	2,00	0,69	1,66	2,00	0,83	I	1,11	1,00	1,11

(Fonte: elaborado pelo autor)

5.5 EDIFICAÇÃO D

Para esta edificação foi construído um modelo em escala 1/400, possuindo 302 pontos de tomadas de pressão. As pressões foram obtidas com um intervalo de 15° de incidência do vento, girando-se o modelo em 360°. No total foram obtidos 7.248 registros de pressões.

Abaixo é apresentada uma sequência de figuras e quadros que apresentam as dimensões, os ângulos de referência do vento, os resultados obtidos nos ensaios em túnel de vento e através da NBR 6123/1988, assim como as comparações efetuadas para cada fachada da edificação D.

Dessa maneira, segue descrição e numeração de cada figura para facilitar a compreensão e localização das informações.

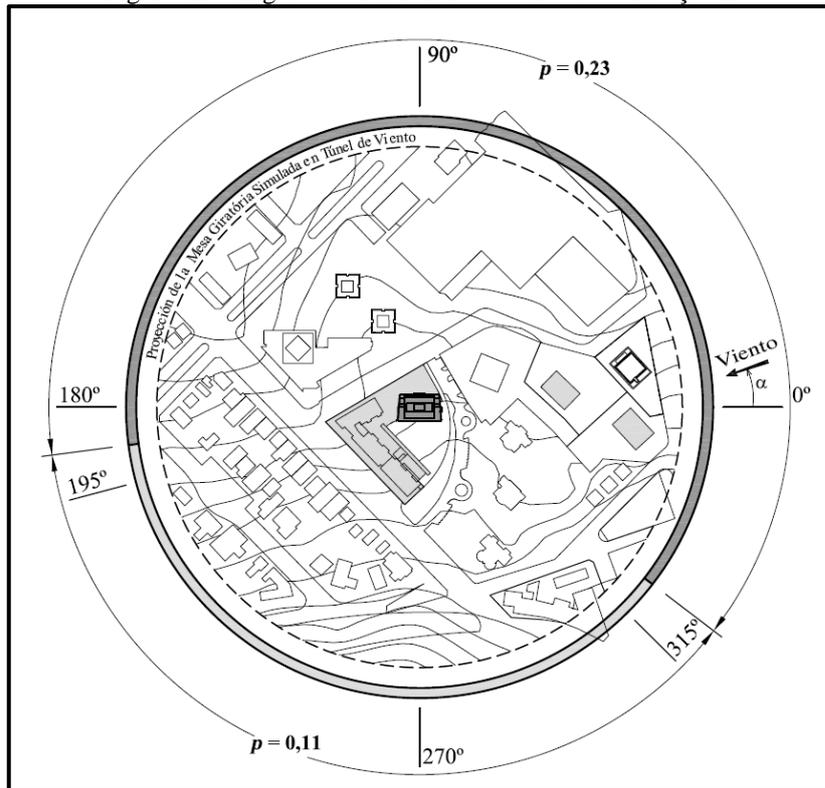
- Quadro 16 (Parâmetros da edificação D): Apresentação dos principais parâmetros utilizados para estimativa e medição das pressões, tanto através da NBR 6123/1988, como através dos ensaios em túnel de vento.
- Figura 82 (Ângulos de referência do vento da edificação D): Ângulos utilizados para determinação de qual categoria de terreno cada fachada está exposta.
- Figura 83 (Fachada frontal e planta baixa da edificação D): Apresenta uma imagem frontal da fachada da edificação D, assim como uma imagem da planta baixa, ambas utilizadas para obtenção das dimensões da edificação necessárias à execução dos cálculos.
- Figuras 84 a 91 (Sucções e sobrepressões estimadas pela NBR e medidas em Túnel de Vento para a edificação D): Nestas imagens são apresentados os resultados obtidos através dos dois métodos (NBR 6123/1988 e Túnel de Vento) para sucções e sobrepressões, em todas as fachadas da edificação D.
- Quadro 17 (Comparativo dos resultados entre NBR 6123/1988 e Túnel de Vento para edificação D): Neste quadro pode-se observar a diferença entre os resultados obtidos por ambos os métodos. Nas células em verde são apresentados os resultados absolutos de ambos os métodos e nas células em amarelo é mostrada uma relação entre esses dois resultados.

Quadro 16 - Parâmetros da edificação D

	Vo [m/s]	S1	S2	S3	Fator Vizinhança	Vk [m/s]	qk [Pa]
NBR	50,5	1	1,272 (Cat I) 1,197 (Cat III)	1	1,207 (até o topo)	64,2 (Cat I) 60,4 (Cat III)	2527,8 (Cat I) 2239,5 (Cat III)
TÚNEL DE VENTO	50,5	1	1,270 (Cat I) 1,170 (Cat III)	1	Não se aplica	64,1 (Cat I) 59,1 (Cat III)	2522,0 (Cat I) 2140,0 (Cat III)

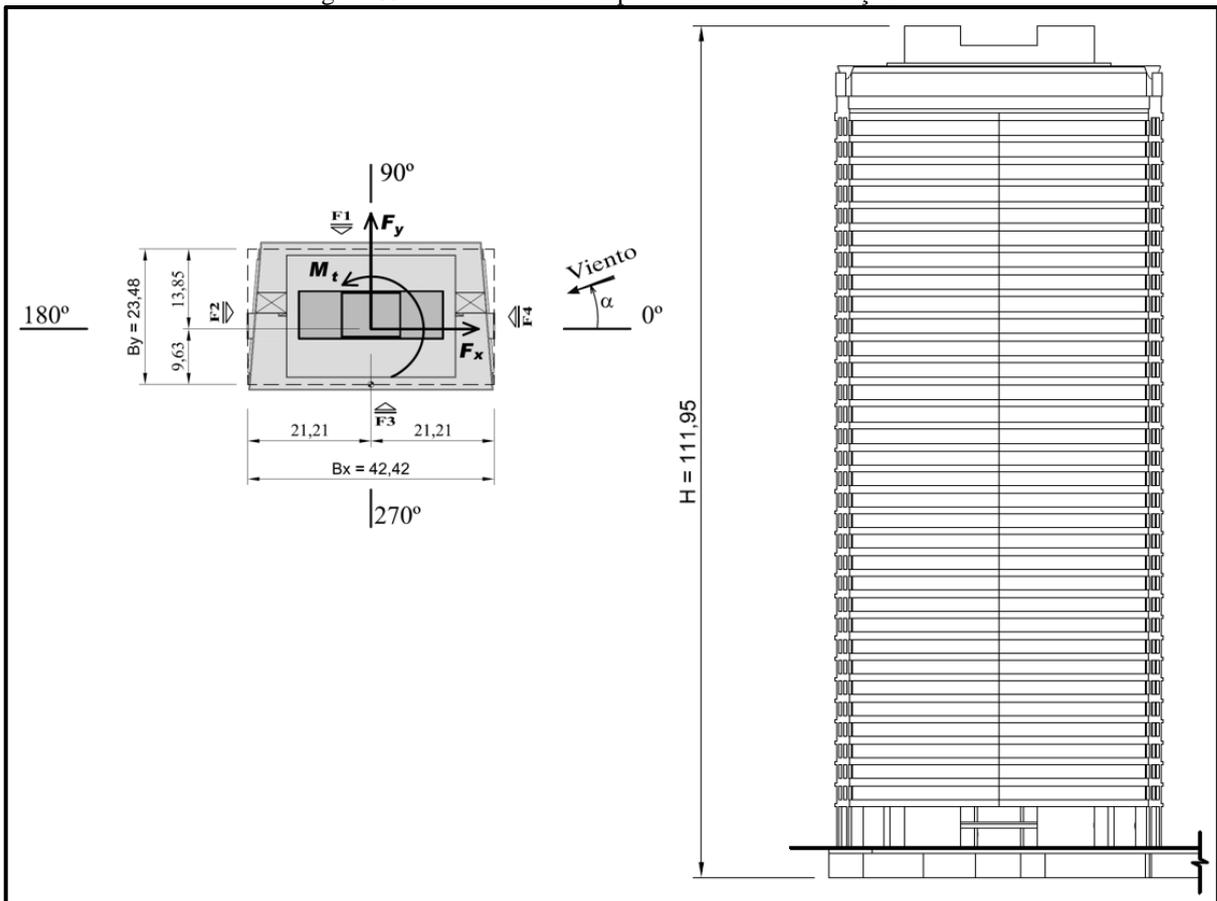
(Fonte: elaborado pelo autor)

Figura 82 - Ângulos de referência do vento da edificação D



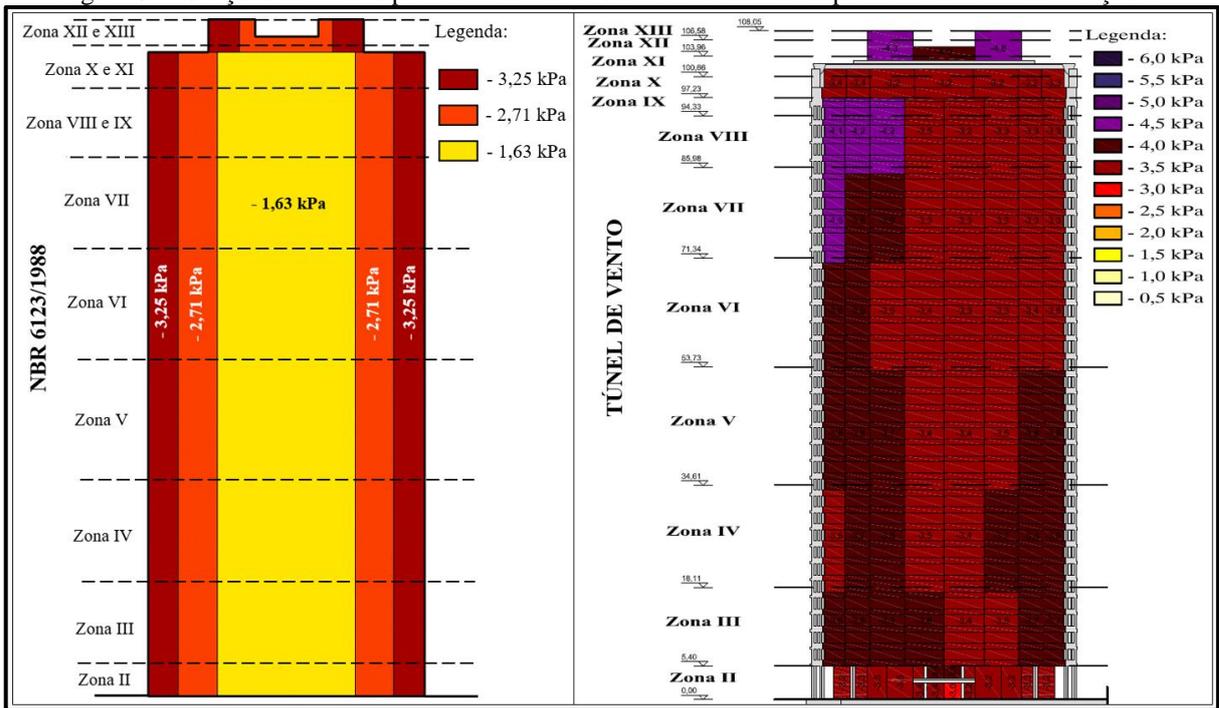
(Fonte: Relatório técnico interno de uso restrito do Laboratório de Aerodinâmica das Construções)

Figura 83 - Fachada frontal e planta baixa da edificação D



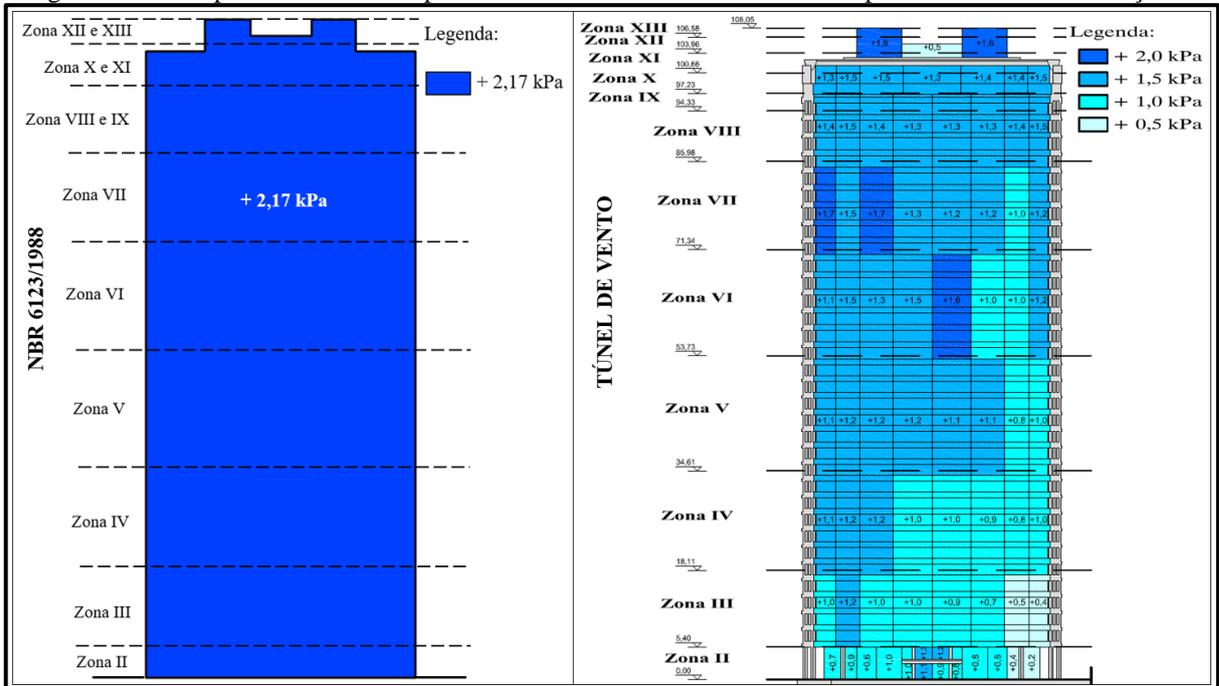
(Fonte: Relatório técnico interno de uso restrito do Laboratório de Aerodinâmica das Construções)

Figura 84 - Sucções estimadas pela NBR e medidas em Túnel de Vento para fachada 1 da edificação D



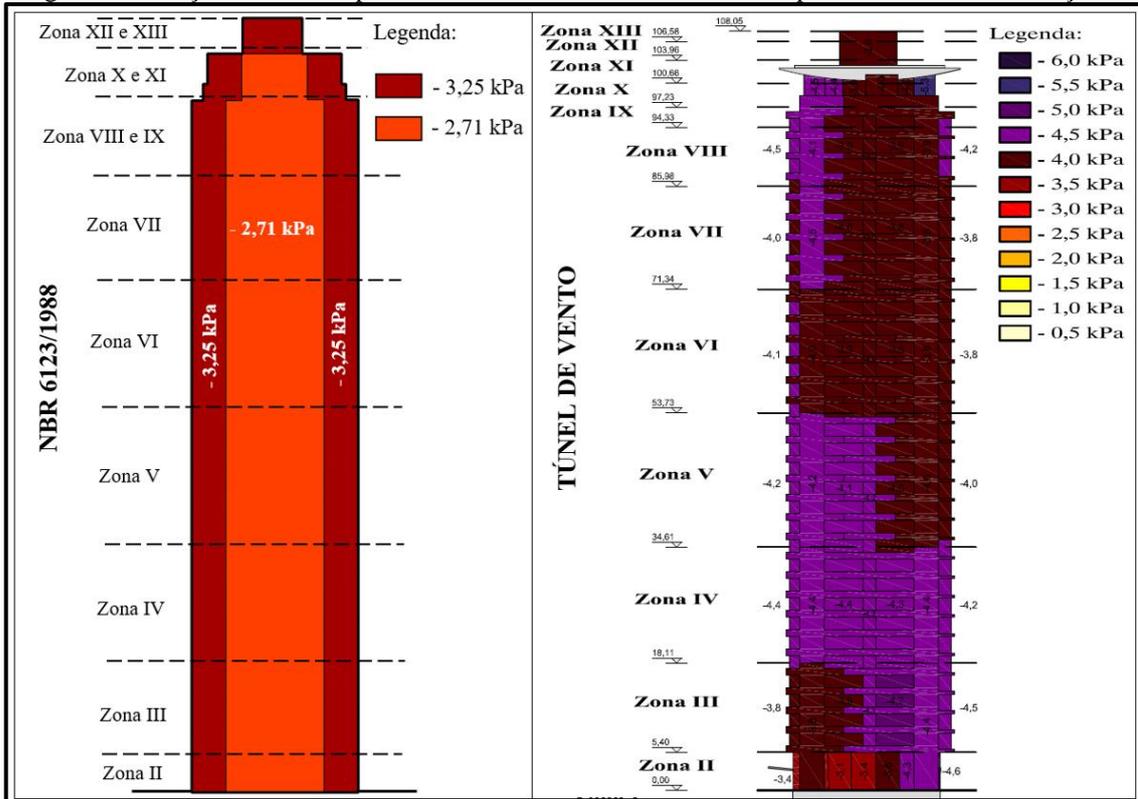
(Fonte: elaborado pelo autor)

Figura 85 - Sobrepressões estimadas pela NBR e medidas em Túnel de Vento para fachada 1 da edificação D



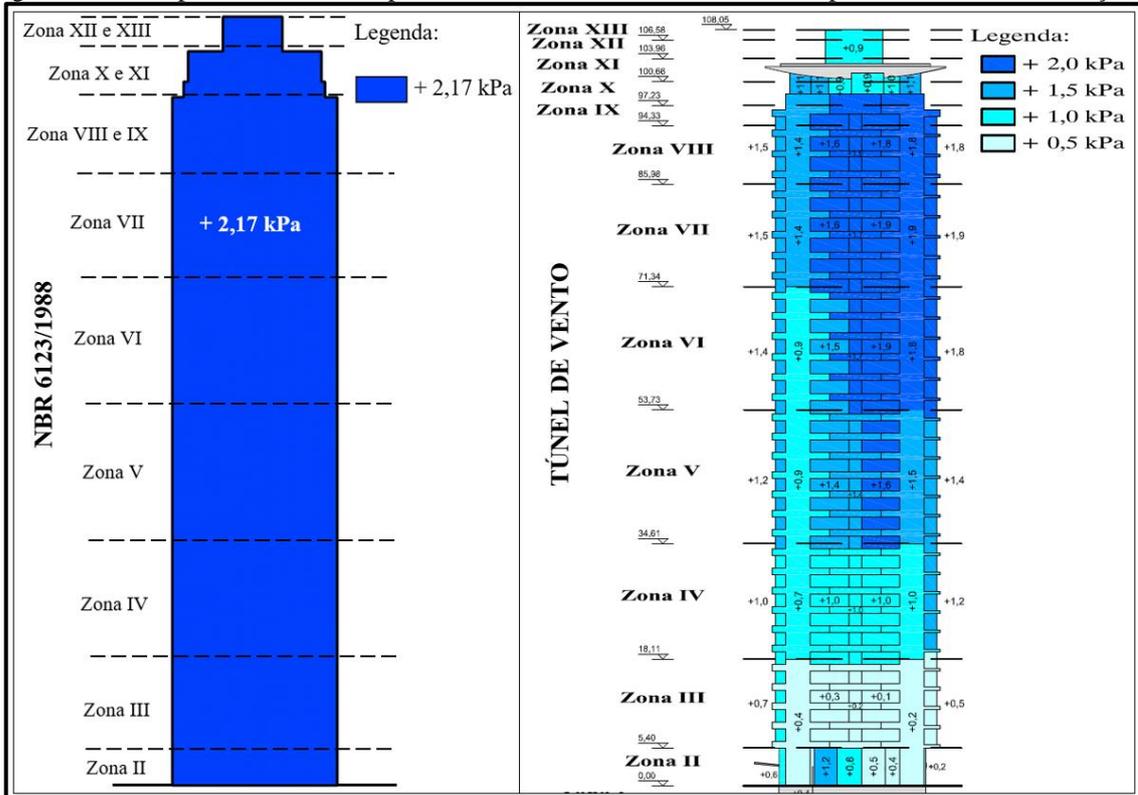
(Fonte: elaborado pelo autor)

Figura 86 - Sucções estimadas pela NBR e medidas em Túnel de Vento para fachada 2 da edificação D



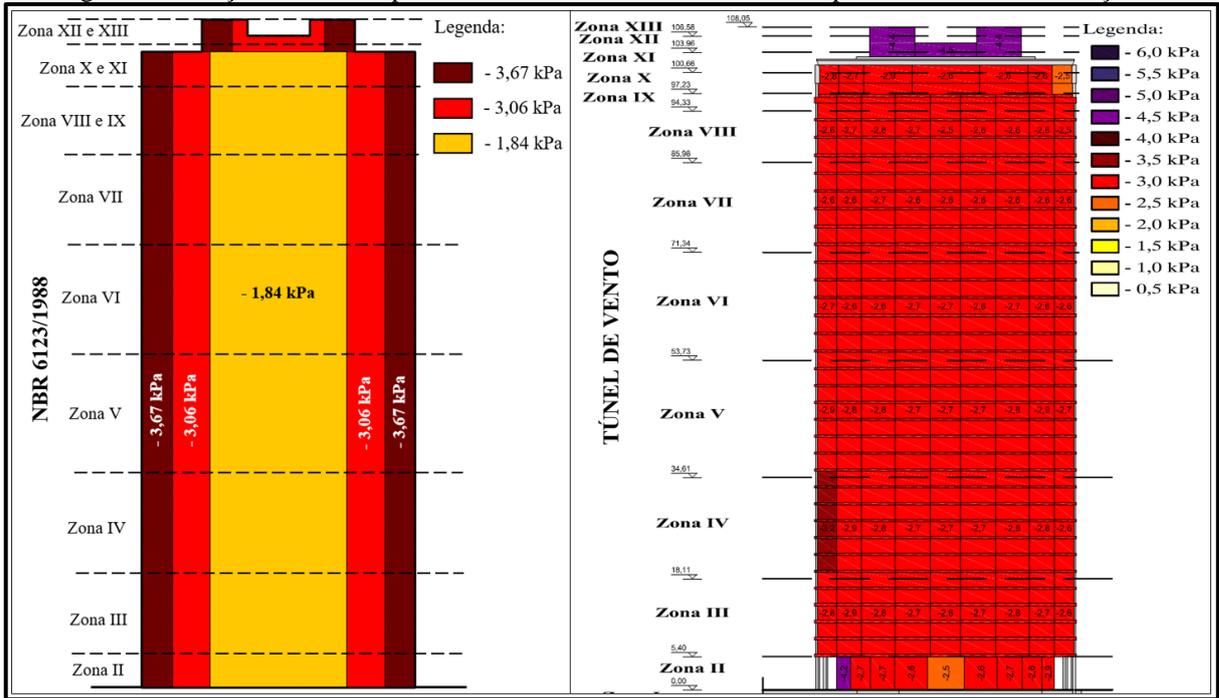
(Fonte: elaborado pelo autor)

Figura 87 - Sobrepressões estimadas pela NBR e medidas em Túnel de Vento para fachada 2 da edificação D



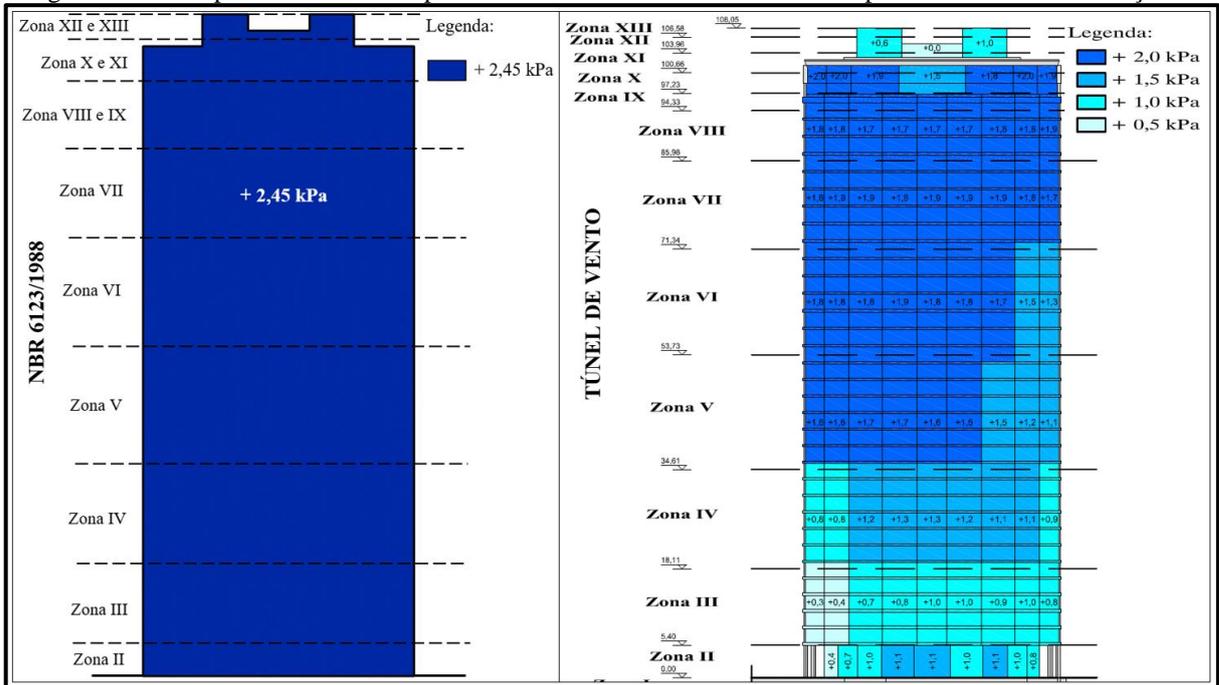
(Fonte: elaborado pelo autor)

Figura 88 - Sucções estimadas pela NBR e medidas em Túnel de Vento para fachada 3 da edificação D



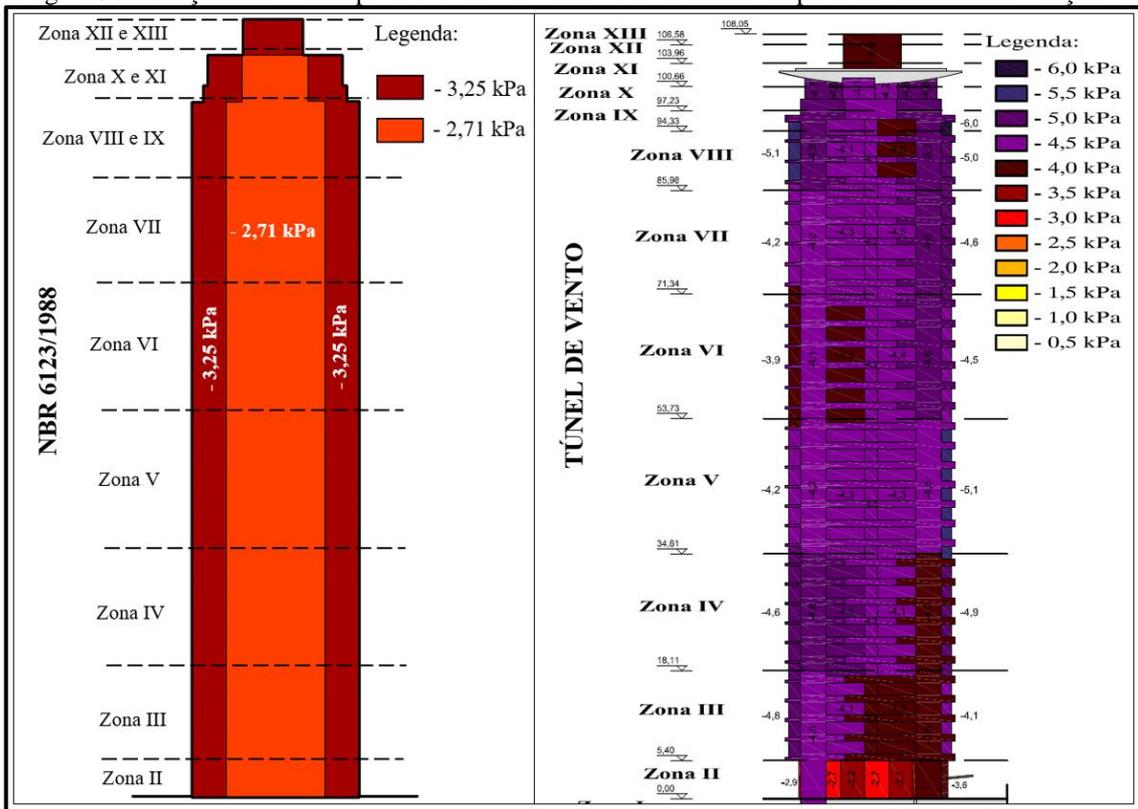
(Fonte: elaborado pelo autor)

Figura 89 - Sobrepressões estimadas pela NBR e medidas em Túnel de Vento para fachada 3 da edificação D



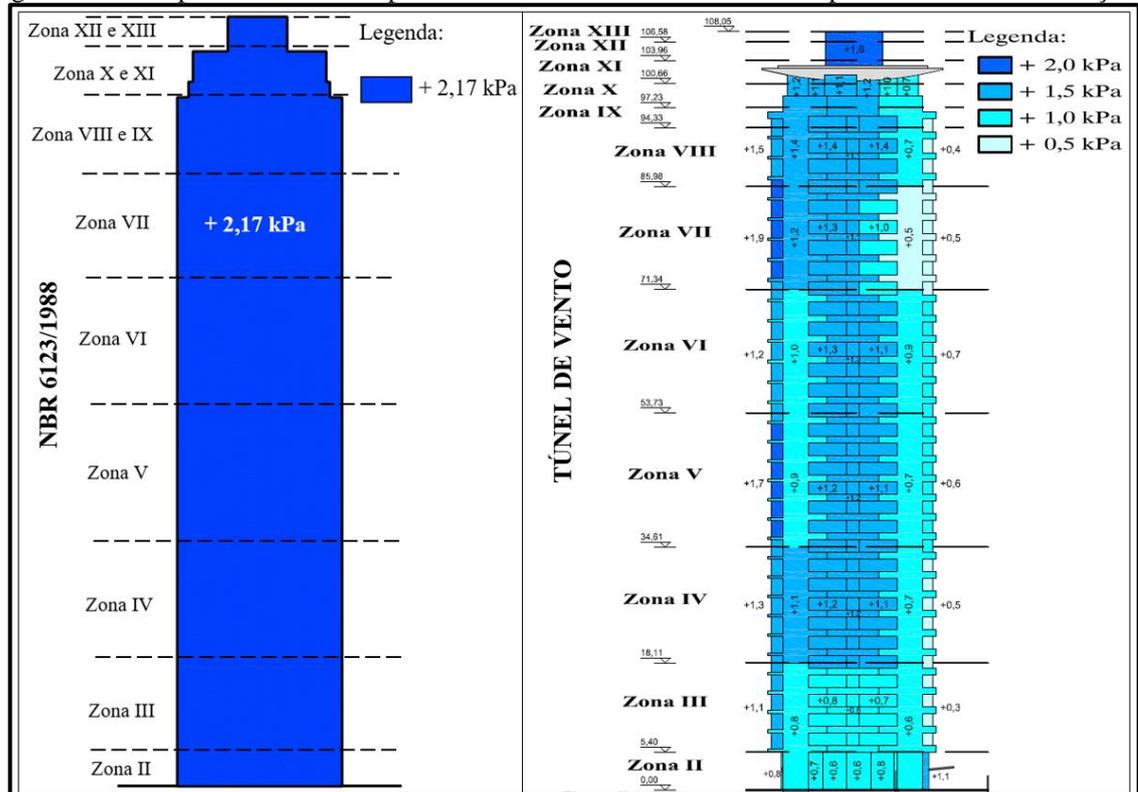
(Fonte: elaborado pelo autor)

Figura 90 - Sucções estimadas pela NBR e medidas em Túnel de Vento para fachada 4 da edificação D



(Fonte: elaborado pelo autor)

Figura 91 - Sobrepressões estimadas pela NBR e medidas em Túnel de Vento para fachada 4 da edificação D



(Fonte: elaborado pelo autor)

Quadro 17 - Comparativo dos resultados entre NBR e Túnel de Vento para edificação D

Edificação D - Sucções na fachada 1																Edificação D - Sobrepressões na fachada 1			
Zona	Região 1			Região 2			Região 3			Região 4			Região 5			Zona	Região 1		
	NBR [kPa]	Túnel [kPa]	NBR/Túnel		NBR [kPa]	Túnel [kPa]	NBR/Túnel												
XII e XIII	3,25	4,30	0,76	2,71	4,30	0,63				2,71	4,80	0,56	3,25	4,80	0,68	XII e XIII	2,17	1,80	1,21
X e XI	3,25	4,30	0,76	2,71	4,30	0,63	1,63	3,20	0,51	2,71	4,80	0,56	3,25	4,80	0,68	X e XI	2,17	1,80	1,21
VIII e IX	3,25	4,10	0,79	2,71	4,20	0,65	1,63	4,20	0,39	2,71	3,30	0,82	3,25	3,30	0,98	VIII e IX	2,17	1,50	1,45
VII	3,25	4,50	0,72	2,71	4,50	0,60	1,63	4,20	0,39	2,71	3,30	0,82	3,25	3,30	0,98	VII	2,17	1,70	1,28
VI	3,25	3,60	0,90	2,71	3,60	0,75	1,63	3,90	0,42	2,71	3,50	0,77	3,25	3,50	0,93	VI	2,17	1,60	1,36
V	3,25	3,80	0,86	2,71	3,80	0,71	1,63	3,70	0,44	2,71	3,80	0,71	3,25	3,80	0,86	V	2,17	1,20	1,81
IV	3,25	3,50	0,93	2,71	3,80	0,71	1,63	3,80	0,43	2,71	3,80	0,71	3,25	3,90	0,83	IV	2,17	1,20	1,81
III	3,25	3,60	0,90	2,71	3,90	0,69	1,63	3,90	0,42	2,71	3,70	0,73	3,25	3,70	0,88	III	2,17	1,20	1,81
II	3,25	3,20	1,02	2,71	3,50	0,77	1,63	3,90	0,42	2,71	3,30	0,82	3,25	3,20	1,02	II	2,17	1,30	1,67

Edificação D - Sucções na fachada 2										Edificação D - Sobrepressões na fachada 2			
Zona	Região 1			Região 2			Região 3			Zona	Região 1		
	NBR [kPa]	Túnel [kPa]	NBR/Túnel	NBR [kPa]	Túnel [kPa]	NBR/Túnel	NBR [kPa]	Túnel [kPa]	NBR/Túnel		NBR [kPa]	Túnel [kPa]	NBR/Túnel
XII e XIII	3,25	3,80	0,86							XII e XIII	2,17	0,90	2,41
X e XI	3,25	4,50	0,72	2,71	4,40	0,62	3,25	5,30	0,61	X e XI	2,17	1,80	1,21
VIII e IX	3,25	4,50	0,72	2,71	4,10	0,66	3,25	4,20	0,77	VIII e IX	2,17	1,80	1,21
VII	3,25	4,50	0,72	2,71	4,50	0,60	3,25	3,80	0,86	VII	2,17	1,90	1,14
VI	3,25	4,10	0,79	2,71	4,00	0,68	3,25	3,80	0,86	VI	2,17	1,90	1,14
V	3,25	4,20	0,77	2,71	4,20	0,65	3,25	4,20	0,77	V	2,17	1,60	1,36
IV	3,25	4,40	0,74	2,71	4,40	0,62	3,25	4,40	0,74	IV	2,17	1,20	1,81
III	3,25	3,80	0,86	2,71	4,70	0,58	3,25	4,50	0,72	III	2,17	0,70	3,10
II	3,25	3,80	0,86	2,71	4,30	0,63	3,25	4,60	0,71	II	2,17	1,20	1,81

Edificação D - Sucções na fachada 3																Edificação D - Sobrepressões na fachada 3			
Zona	Região 1			Região 2			Região 3			Região 4			Região 5			Zona	Região 1		
	NBR [kPa]	Túnel [kPa]	NBR/Túnel		NBR [kPa]	Túnel [kPa]	NBR/Túnel												
XII e XIII	3,67	4,40	0,83	3,06	4,50	0,68				3,06	4,50	0,68	3,67	4,40	0,83	XII e XIII	2,45	1,00	2,45
X e XI	3,67	4,40	0,83	3,06	4,50	0,68	1,84	2,90	0,63	3,06	4,50	0,68	3,67	4,40	0,83	X e XI	2,45	2,00	1,23
VIII e IX	3,67	2,70	1,36	3,06	2,80	1,09	1,84	2,70	0,68	3,06	2,60	1,18	3,67	2,60	1,41	VIII e IX	2,45	1,90	1,29
VII	3,67	2,60	1,41	3,06	2,70	1,13	1,84	2,70	0,68	3,06	2,60	1,18	3,67	2,60	1,41	VII	2,45	1,90	1,29
VI	3,67	2,70	1,36	3,06	2,60	1,18	1,84	2,70	0,68	3,06	2,70	1,13	3,67	2,60	1,41	VI	2,45	1,90	1,29
V	3,67	2,90	1,27	3,06	2,80	1,09	1,84	2,80	0,66	3,06	2,90	1,06	3,67	2,90	1,27	V	2,45	1,70	1,44
IV	3,67	3,20	1,15	3,06	2,90	1,06	1,84	2,80	0,66	3,06	2,80	1,09	3,67	2,80	1,31	IV	2,45	1,30	1,88
III	3,67	2,90	1,27	3,06	2,90	1,06	1,84	2,80	0,66	3,06	2,80	1,09	3,67	2,70	1,36	III	2,45	1,00	2,45
II	3,67	4,20	0,87	3,06	4,20	0,73	1,84	2,70	0,68	3,06	2,90	1,06	3,67	2,90	1,27	II	2,45	1,10	2,23

Edificação D - Sucções na fachada 4										Edificação D - Sobrepressões na fachada 4			
Zona	Região 1			Região 2			Região 3			Zona	Região 1		
	NBR [kPa]	Túnel [kPa]	NBR/Túnel	NBR [kPa]	Túnel [kPa]	NBR/Túnel	NBR [kPa]	Túnel [kPa]	NBR/Túnel		NBR [kPa]	Túnel [kPa]	NBR/Túnel
XII e XIII	3,25	4,00	0,81							XII e XIII	2,17	1,60	1,36
X e XI	3,25	4,80	0,68	2,71	4,60	0,59	3,25	4,80	0,68	X e XI	2,17	1,60	1,36
VIII e IX	3,25	5,10	0,64	2,71	4,80	0,56	3,25	6,00	0,54	VIII e IX	2,17	1,90	1,14
VII	3,25	4,20	0,77	2,71	4,60	0,59	3,25	4,60	0,71	VII	2,17	1,90	1,14
VI	3,25	4,10	0,79	2,71	4,60	0,59	3,25	4,60	0,71	VI	2,17	1,30	1,67
V	3,25	4,20	0,77	2,71	4,50	0,60	3,25	5,10	0,64	V	2,17	1,70	1,28
IV	3,25	4,80	0,68	2,71	4,90	0,55	3,25	4,90	0,66	IV	2,17	1,30	1,67
III	3,25	4,80	0,68	2,71	4,50	0,60	3,25	4,10	0,79	III	2,17	1,10	1,97
II	3,25	4,50	0,72	2,71	4,50	0,60	3,25	3,60	0,90	II	2,17	1,10	1,97

(Fonte: elaborado pelo autor)

5.6 EDIFICAÇÃO E

Para obtenção das pressões atuantes nas fachadas da edificação, foi construído um modelo em escala 1/300, instrumentado com 257 pontos de tomadas de pressão. As pressões foram medidas em um intervalo de 15° e foram totalizados 6.168 registros de pressão.

Abaixo é apresentada uma sequência de figuras e quadros que apresentam as dimensões, os ângulos de referência do vento, os resultados obtidos nos ensaios em túnel de vento e através da NBR 6123/1988, assim como as comparações efetuadas para cada fachada da edificação E.

Dessa maneira, segue descrição e numeração de cada figura para facilitar a compreensão e localização das informações.

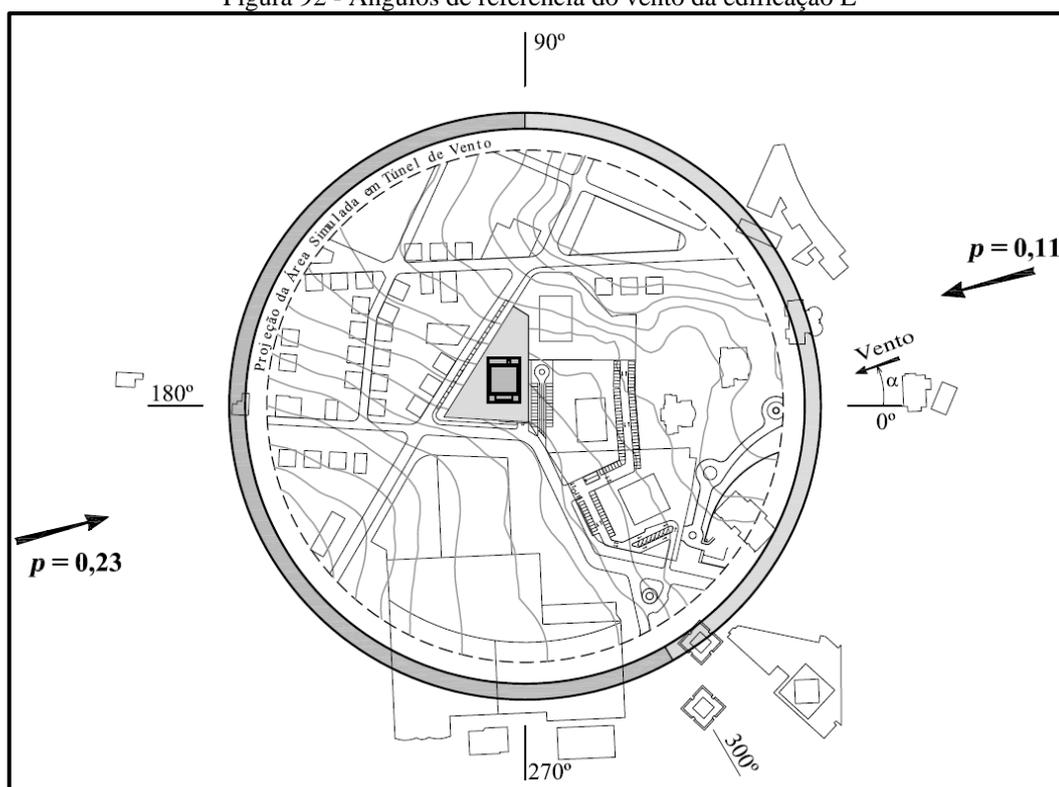
- Quadro 18 (Parâmetros da edificação E): Apresentação dos principais parâmetros utilizados para estimativa e medição das pressões, tanto através da NBR 6123/1988, como através dos ensaios em túnel de vento.
- Figura 92 (Ângulos de referência do vento da edificação E): Ângulos utilizados para determinação de qual categoria de terreno cada fachada está exposta.
- Figura 93 (Fachada frontal e planta baixa da edificação E): Apresenta uma imagem frontal da fachada da edificação E, assim como uma imagem da planta baixa, ambas utilizadas para obtenção das dimensões da edificação necessárias à execução dos cálculos.
- Figuras 94 a 101 (Sucções e sobrepressões estimadas pela NBR e medidas em Túnel de Vento para a edificação E): Nestas imagens são apresentados os resultados obtidos através dos dois métodos (NBR 6123/1988 e Túnel de Vento) para sucções e sobrepressões, em todas as fachadas da edificação E.
- Quadro 19 (Comparativo dos resultados entre NBR 6123/1988 e Túnel de Vento para edificação E): Neste quadro pode-se observar a diferença entre os resultados obtidos por ambos os métodos. Nas células em verde são apresentados os resultados absolutos de ambos os métodos e nas células em amarelo é mostrada uma relação entre esses dois resultados.

Quadro 18 - Parâmetros da edificação E

	Vo [m/s]	S1	S2	S3	Fator Vizinhança	Vk [m/s]	qk [Pa]
NBR	50,5	1	1,272 (Cat I) 1,197 (Cat III)	1	1,3 (até o topo)	64,2 (Cat I) 60,4 (Cat III)	2527,8 (Cat I) 2239,5 (Cat III)
TÚNEL DE VENTO	50,5	1	1,270 (Cat I) 1,170 (Cat III)	1	Não se aplica	64,1 (Cat I) 59,1 (Cat III)	2522,0 (Cat I) 2140,0 (Cat III)

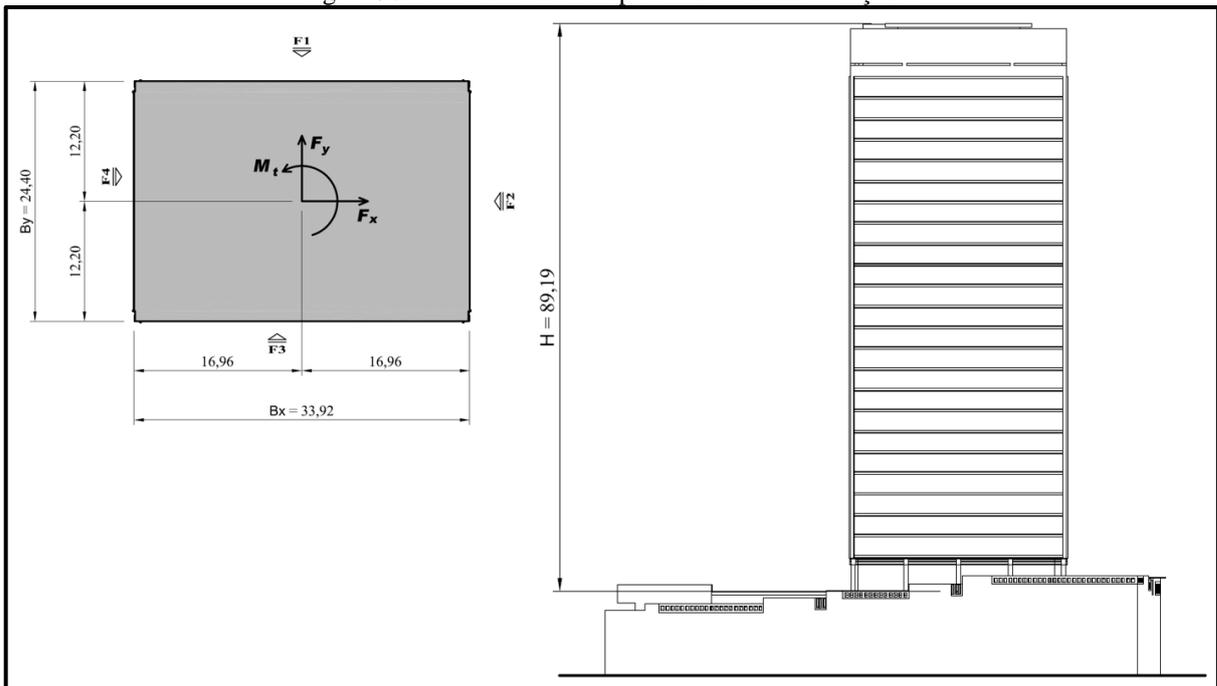
(Fonte: elaborado pelo autor)

Figura 92 - Ângulos de referência do vento da edificação E



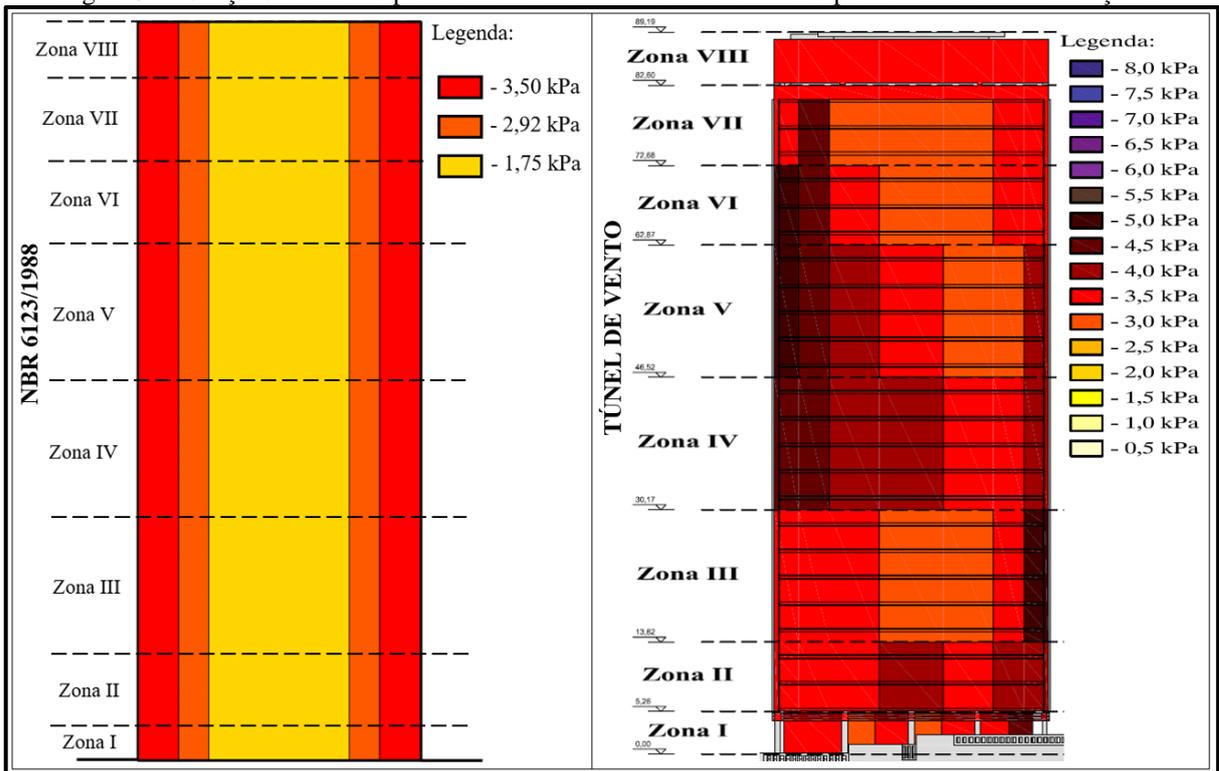
(Fonte: Relatório técnico interno de uso restrito do Laboratório de Aerodinâmica das Construções)

Figura 93 - Fachada frontal e planta baixa da edificação E



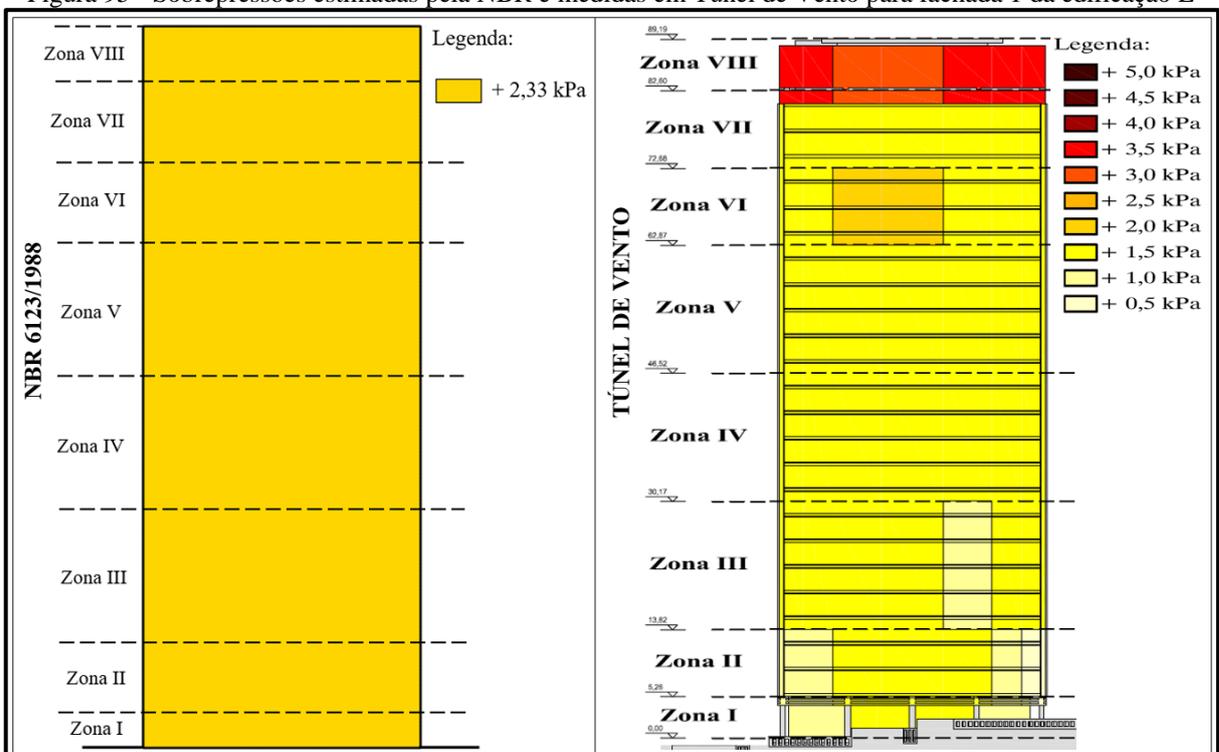
(Fonte: Relatório técnico interno de uso restrito do Laboratório de Aerodinâmica das Construções)

Figura 94 - Sucções estimadas pela NBR e medidas em Túnel de Vento para fachada 1 da edificação E



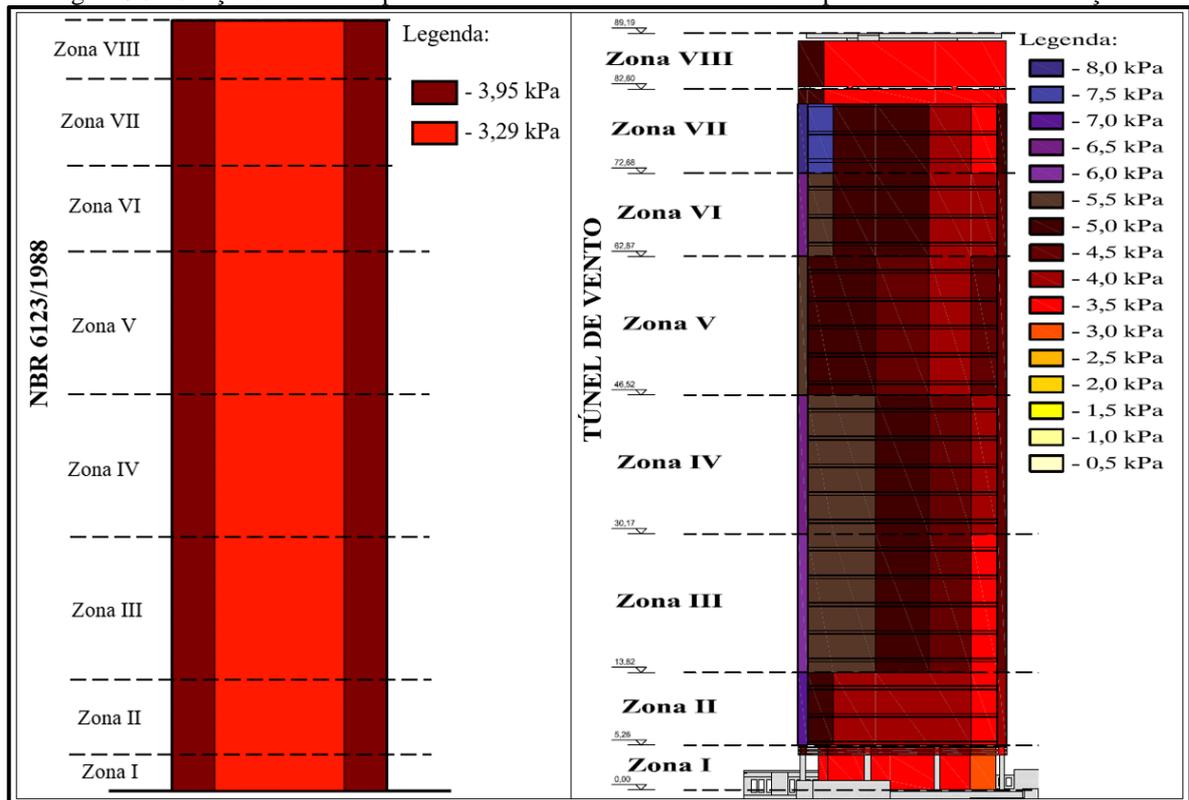
(Fonte: elaborado pelo autor)

Figura 95 - Sobrepressões estimadas pela NBR e medidas em Túnel de Vento para fachada 1 da edificação E



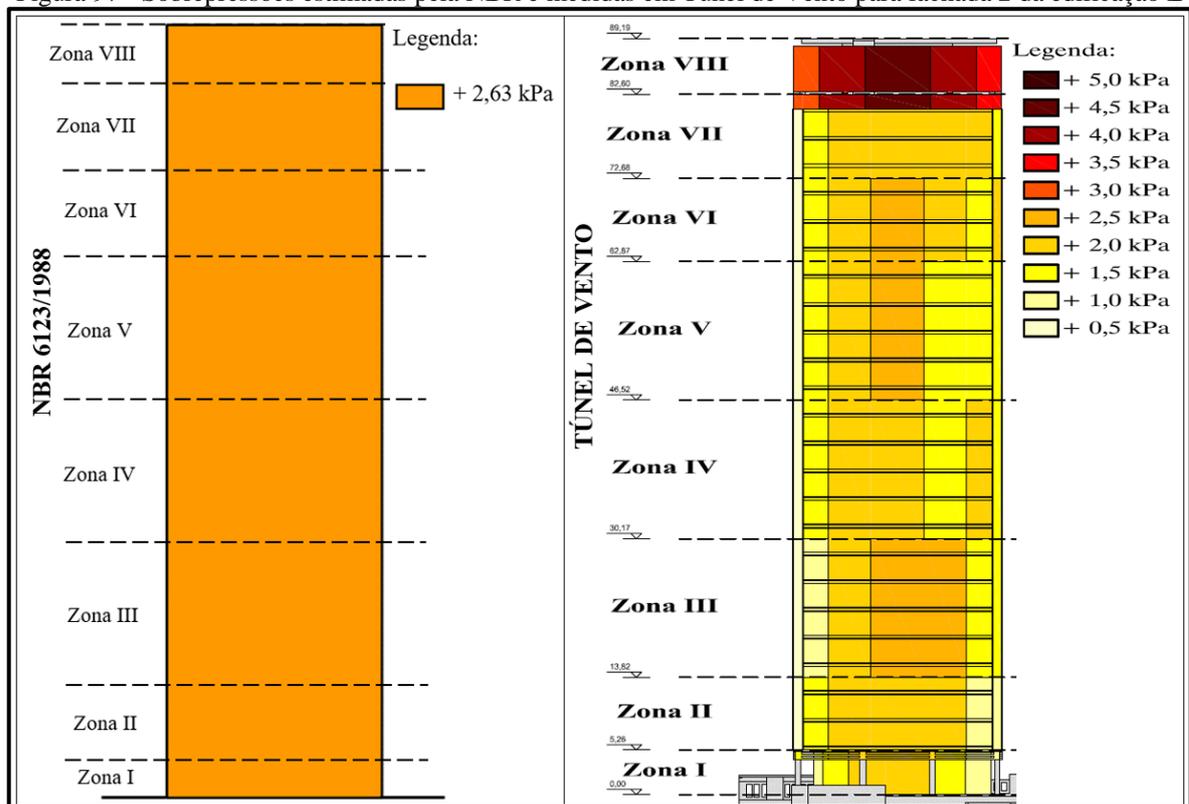
(Fonte: elaborado pelo autor)

Figura 96 - Sucções estimadas pela NBR e medidas em Túnel de Vento para fachada 2 da edificação E



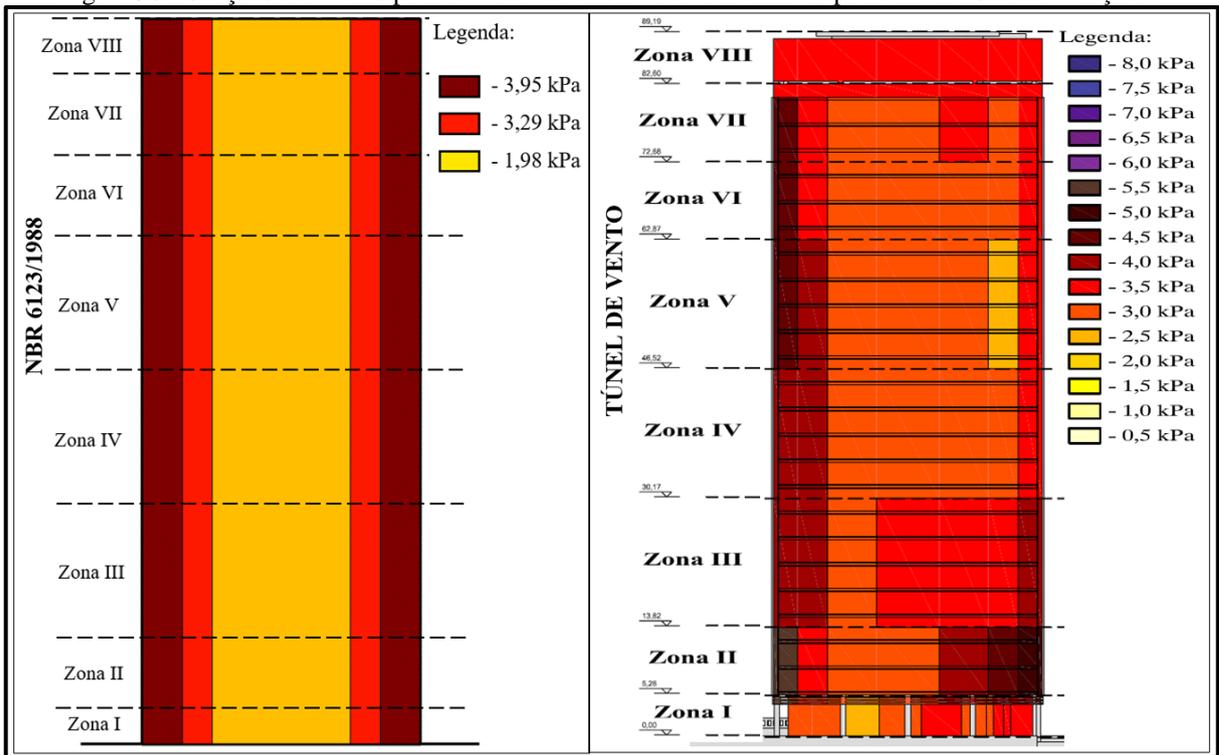
(Fonte: elaborado pelo autor)

Figura 97 - Sobrepressões estimadas pela NBR e medidas em Túnel de Vento para fachada 2 da edificação E



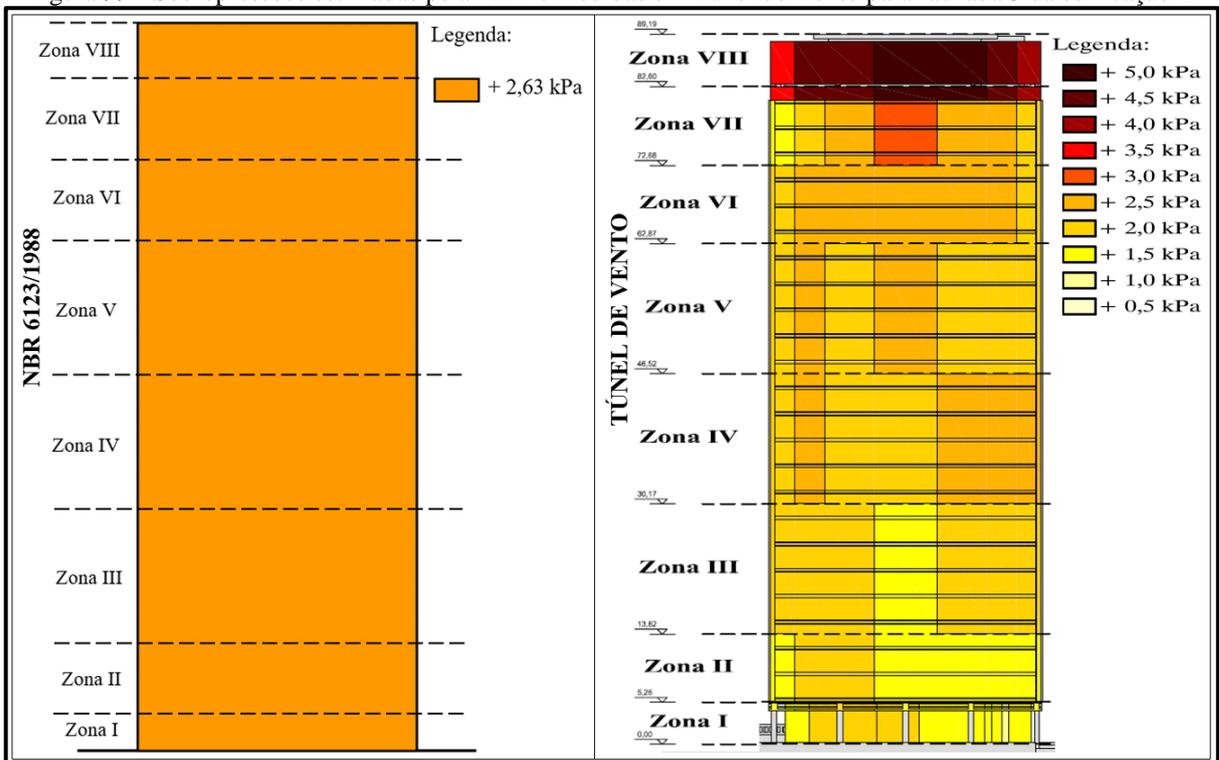
(Fonte: elaborado pelo autor)

Figura 98 - Sucções estimadas pela NBR e medidas em Túnel de Vento para fachada 3 da edificação E



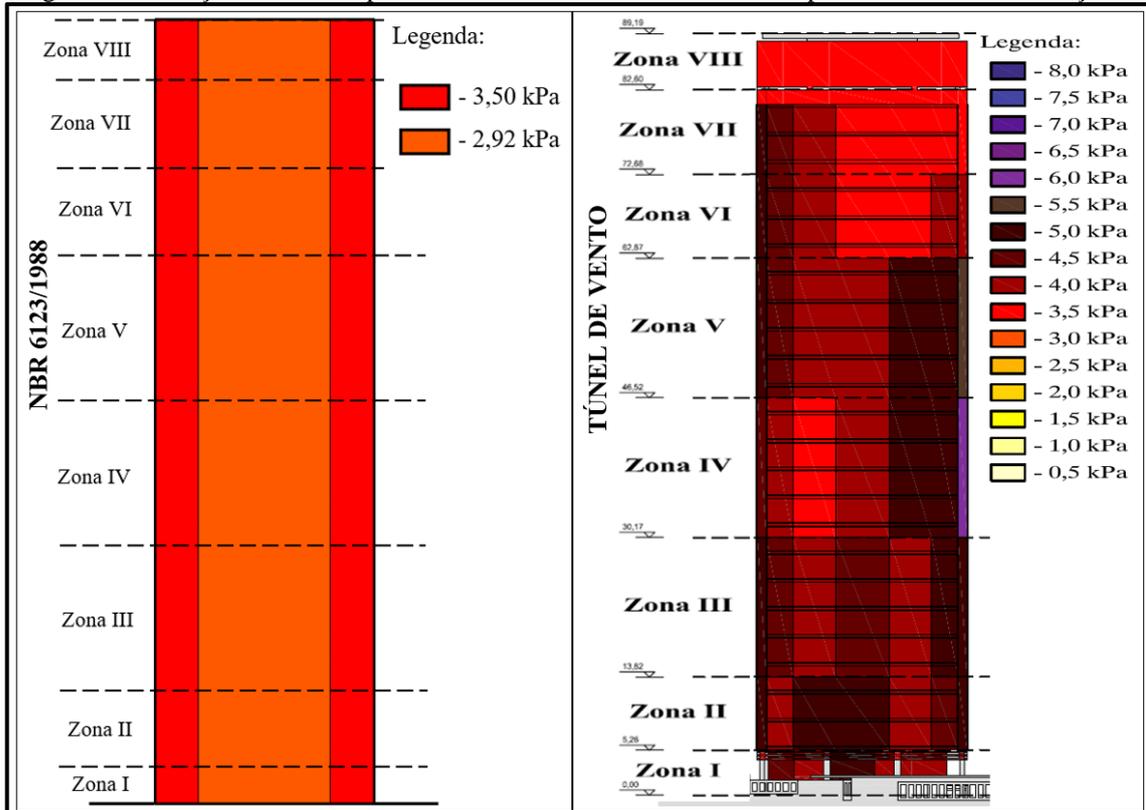
(Fonte: elaborado pelo autor)

Figura 99 - Sobrepressões estimadas pela NBR e medidas em Túnel de Vento para fachada 3 da edificação E



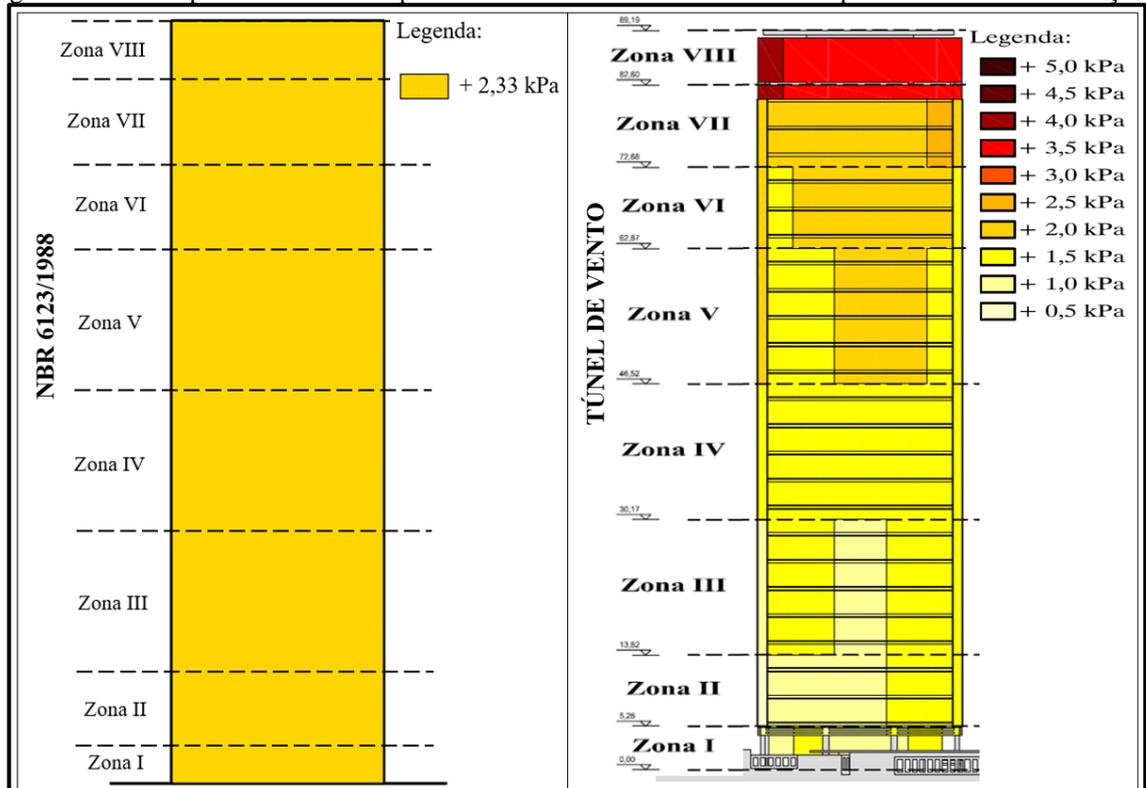
(Fonte: elaborado pelo autor)

Figura 100 - Sucções estimadas pela NBR e medidas em Túnel de Vento para fachada 4 da edificação E



(Fonte: elaborado pelo autor)

Figura 101 - Sobrepressões estimadas pela NBR e medidas em Túnel de Vento para fachada 4 da edificação E



(Fonte: elaborado pelo autor)

Quadro 19 - Comparativo dos resultados entre NBR e Túnel de Vento para edificação E

Edificação E - Sucções na fachada 1															Edificação E - Sobrepressões na fachada 1			
Zona	Região 1			Região 2			Região 3			Região 4			Região 5			Região 1		
	NBR [kPa]	Túnel [kPa]	NBR/Túnel	NBR [kPa]	Túnel [kPa]	NBR/Túnel												
VIII	3,50	3,50	1,00	2,92	3,50	0,83	1,75	3,50	0,50	2,92	3,50	0,83	3,50	3,50	1,00	2,33	3,50	0,67
VII	3,50	4,50	0,78	2,92	4,50	0,65	1,75	3,50	0,50	2,92	3,50	0,83	3,50	3,50	1,00	2,33	3,50	0,67
VI	3,50	5,00	0,70	2,92	4,50	0,65	1,75	3,50	0,50	2,92	3,50	0,83	3,50	3,50	1,00	2,33	2,00	1,17
V	3,50	5,00	0,70	2,92	4,50	0,65	1,75	4,00	0,44	2,92	3,00	0,97	3,50	4,00	0,88	2,33	1,50	1,55
IV	3,50	4,50	0,78	2,92	4,50	0,65	1,75	4,00	0,44	2,92	3,50	0,83	3,50	4,00	0,88	2,33	1,50	1,55
III	3,50	3,50	1,00	2,92	3,50	0,83	1,75	3,50	0,50	2,92	3,50	0,83	3,50	5,00	0,70	2,33	1,50	1,55
II	3,50	3,50	1,00	2,92	3,50	0,83	1,75	4,00	0,44	2,92	4,00	0,73	3,50	4,00	0,88	2,33	1,50	1,55
I	3,50	3,50	1,00	2,92	3,50	0,83	1,75	3,50	0,50	2,92	3,50	0,83	3,50	4,50	0,78	2,33	1,50	1,55

Edificação E - Sucções na fachada 2										Edificação E - Sobrepressões na fachada 2			
Zona	Região 1			Região 2			Região 3			Região 1			
	NBR [kPa]	Túnel [kPa]	NBR/Túnel	NBR [kPa]	Túnel [kPa]	NBR/Túnel	NBR [kPa]	Túnel [kPa]	NBR/Túnel	NBR [kPa]	Túnel [kPa]	NBR/Túnel	
VIII	3,95	5,00	0,79	3,29	3,50	0,94	3,95	3,50	1,13	2,63	4,50	0,58	
VII	3,95	8,00	0,49	3,29	5,00	0,66	3,95	5,00	0,79	2,63	4,50	0,58	
VI	3,95	6,50	0,61	3,29	5,00	0,66	3,95	4,50	0,88	2,63	2,50	1,05	
V	3,95	5,50	0,72	3,29	5,00	0,66	3,95	4,50	0,88	2,63	2,50	1,05	
IV	3,95	6,50	0,61	3,29	5,50	0,60	3,95	4,50	0,88	2,63	2,00	1,32	
III	3,95	6,00	0,66	3,29	5,50	0,60	3,95	5,00	0,79	2,63	2,50	1,05	
II	3,95	6,50	0,61	3,29	4,00	0,82	3,95	4,00	0,99	2,63	2,00	1,32	
I	3,95	3,50	1,13	3,29	3,50	0,94	3,95	3,50	1,13	2,63	2,00	1,32	

Edificação E - Sucções na fachada 3															Edificação E - Sobrepressões na fachada 3			
Zona	Região 1			Região 2			Região 3			Região 4			Região 5			Região 1		
	NBR [kPa]	Túnel [kPa]	NBR/Túnel	NBR [kPa]	Túnel [kPa]	NBR/Túnel												
VIII	3,95	3,50	1,13	3,29	3,50	0,94	1,98	3,50	0,57	3,29	3,50	0,94	3,95	3,50	1,13	2,63	5,00	0,53
VII	3,95	5,00	0,79	3,29	3,50	0,94	1,98	3,50	0,57	3,29	3,50	0,94	3,95	3,50	1,13	2,63	5,00	0,53
VI	3,95	5,00	0,79	3,29	3,50	0,94	1,98	3,00	0,66	3,29	3,00	1,10	3,95	3,50	1,13	2,63	2,50	1,05
V	3,95	5,00	0,79	3,29	4,00	0,82	1,98	3,00	0,66	3,29	3,00	1,10	3,95	3,50	1,13	2,63	2,50	1,05
IV	3,95	4,00	0,99	3,29	4,00	0,82	1,98	3,00	0,66	3,29	3,00	1,10	3,95	3,50	1,13	2,63	2,50	1,05
III	3,95	4,00	0,99	3,29	4,00	0,82	1,98	3,50	0,57	3,29	3,50	0,94	3,95	4,00	0,99	2,63	2,00	1,32
II	3,95	5,50	0,72	3,29	3,50	0,94	1,98	4,00	0,50	3,29	4,50	0,73	3,95	5,00	0,79	2,63	2,00	1,32
I	3,95	3,00	1,32	3,29	3,00	1,10	1,98	3,50	0,57	3,29	3,50	0,94	3,95	3,50	1,13	2,63	2,00	1,32

Edificação E - Sucções na fachada 4										Edificação E - Sobrepressões na fachada 4			
Zona	Região 1			Região 2			Região 3			Região 1			
	NBR [kPa]	Túnel [kPa]	NBR/Túnel	NBR [kPa]	Túnel [kPa]	NBR/Túnel	NBR [kPa]	Túnel [kPa]	NBR/Túnel	NBR [kPa]	Túnel [kPa]	NBR/Túnel	
VIII	3,50	3,50	1,00	2,92	3,50	0,83	3,50	3,50	1,00	2,33	4,00	0,58	
VII	3,50	5,00	0,70	2,92	4,00	0,73	3,50	3,50	1,00	2,33	4,00	0,58	
VI	3,50	5,00	0,70	2,92	4,00	0,73	3,50	4,00	0,88	2,33	2,00	1,17	
V	3,50	5,00	0,70	2,92	5,00	0,58	3,50	5,50	0,64	2,33	2,00	1,17	
IV	3,50	4,50	0,78	2,92	5,00	0,58	3,50	6,00	0,58	2,33	1,50	1,55	
III	3,50	5,00	0,70	2,92	4,50	0,65	3,50	5,00	0,70	2,33	1,50	1,55	
II	3,50	5,00	0,70	2,92	5,00	0,58	3,50	5,00	0,70	2,33	1,50	1,55	
I	3,50	4,50	0,78	2,92	5,00	0,58	3,50	4,50	0,78	2,33	1,50	1,55	

(Fonte: elaborado pelo autor)

6 ANÁLISE DOS RESULTADOS

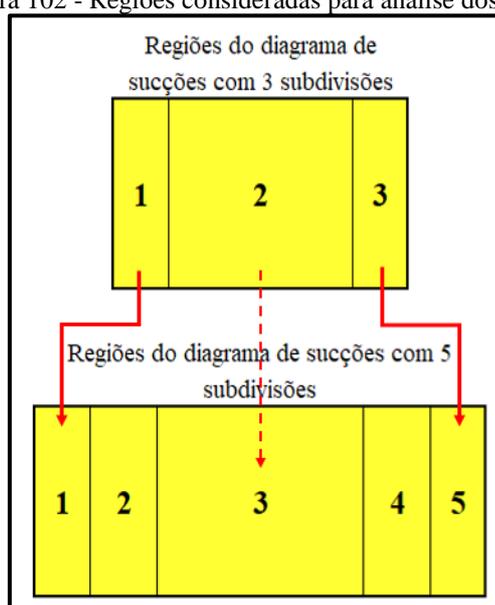
Realizados todos os cálculos necessários e feitas todas as comparações dos resultados obtidos entre a estimativa da NBR e os ensaios em túnel de vento, é possível e interessante que seja feita uma análise geral dos resultados obtidos. Neste sentido, as figuras e tabelas abaixo permitem uma avaliação geral dos resultados.

No total foram realizadas 1.152 comparações entre NBR e túnel de vento, sendo que 904 tratam-se de sucções na fachada e 248 tratam-se de sobrepressões, representando, assim, 78,47% e 21,53% dos resultados, respectivamente.

6.1 SUCCÕES EXTERNAS NAS FACHADAS

Destaca-se que para viabilizar a análise dos dados em termos de sucções nas fachadas, os valores presentes nas regiões 1, 2 e 3 do diagrama de sucções com 3 subdivisões estão contidos nas regiões 1, 3 e 5 do diagrama de sucções com 5 subdivisões, mantendo suas características originais de regiões de bordas (1 e 3) e região central (2), conforme pode ser observado na figura 102.

Figura 102 - Regiões consideradas para análise dos dados



(Fonte: elaborado pelo autor)

No quadro 20, pode-se observar alguns dados gerais sobre os resultados das sucções e suas respectivas regiões.

Quadro 20 - Dados gerais da sucção por região

SUCÇÃO	Região 1	Região 2	Região 3	Região 4	Região 5	GERAL	
Nº comparações	248	82	244	82	248	904	
Mínimo [NBR/Túnel]	0,474	0,550	0,276	0,460	0,420	0,276	
Máximo [NBR/Túnel]	2,283	1,189	2,082	1,413	2,491	2,491	
NBR ≤ Túnel	Qtde	149	54	195	54	160	67,70%
	% sobre região	60,08%	65,85%	79,92%	65,85%	64,52%	
	% sobre geral	24,35%	8,82%	31,86%	8,82%	26,14%	
NBR > Túnel	Qtde	99	28	49	28	88	32,30%
	% da região	39,92%	34,15%	20,08%	34,15%	35,48%	
	% geral	33,90%	9,59%	16,78%	9,59%	30,14%	

(Fonte: elaborado pelo autor)

Percebe-se o elevado número de resultados, obtidos através da estimativa realizada pela NBR, abaixo dos valores obtidos em ensaios em túnel de vento, sendo a região central (3) aquela com a maior concentração destes resultados. Com o auxílio do quadro 21 e da figura 103 pode-se ter uma ideia das amplitudes das diferenças entre túnel de vento e NBR, em kPa, e quais as regiões de maior ocorrência. Observa-se a ocorrência de elevadas diferenças entre NBR e túnel de vento, como, por exemplo, o valor de 4,05 kPa presente na região 1 de borda, sendo, inclusive, maior do que o valor total de grande parte das demais pressões. Este, assim como os demais pontos da fachada onde há uma diferença entre os valores obtidos em norma e aqueles obtidos no túnel, poderia ser o local de algum dano a estrutura da edificação, ao elemento de revestimento e, conseqüentemente, à um usuário da edificação ou pedestre que a circunda.

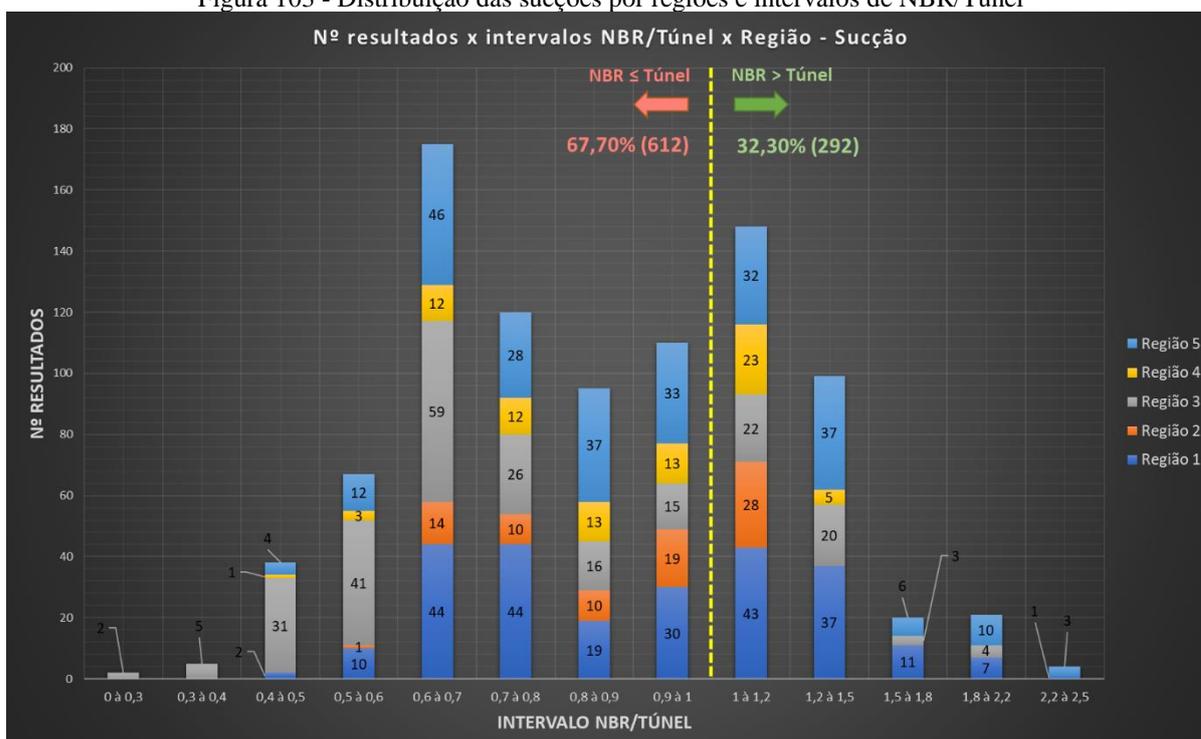
Observa-se, na figura 103 e no quadro 21, que grande parte dos resultados analisados se encontra na faixa da razão NBR/Túnel de 0,4 a 0,9, com ênfase no intervalo 0,6 a 0,7. Ou seja, uma significativa porção dos resultados obtidos em norma giram em torno da metade daqueles obtidos em túnel de vento e estão localizados em todas as regiões da fachada. Isto corrobora o fato de que a norma não apresentou estimativas satisfatórias, pois, as estimativas obtidas através da NBR 6123/1988, na análise das sucções, poderiam comprometer a segurança da edificação caso fossem adotadas em projetos de elementos de revestimento e/ou vedação.

Quadro 21 - Diferenças entre Túnel e NBR em valores absolutos [kPa]

	SUCCÃO		Região 1			Região 2			Região 3				
	Intervalo NBR/Túnel	Frequência	Diferença entre Túnel e NBR [kPa]			Frequência	Diferença entre Túnel e NBR [kPa]			Frequência	Diferença entre Túnel e NBR [kPa]		
			Mín	Máx	Média		Mín	Máx	Média		Mín	Máx	Média
NBR ≤ Túnel	0 à 0,3	0				0				2	1,81	2,17	1,99
	0,3 à 0,4	0				0				5	1,31	2,57	1,89
	0,4 à 0,5	2	1,84	4,05	2,95	0				31	0,76	2,27	1,48
	0,5 à 0,6	10	1,03	1,64	1,23	1	0,90	0,90	0,90	41	0,67	2,21	1,38
	0,6 à 0,7	44	0,69	2,55	1,18	14	0,62	1,79	1,35	59	0,57	1,79	1,00
	0,7 à 0,8	44	0,53	1,55	0,89	10	0,40	1,14	0,73	26	0,34	1,08	0,59
	0,8 à 0,9	19	0,34	0,75	0,49	10	0,27	0,71	0,53	16	0,24	0,71	0,38
0,9 à 1	30	0,00	0,35	0,15	19	0,04	0,21	0,13	15	0,01	0,24	0,17	
NBR > Túnel	1 à 1,2	43	0,01	0,47	0,25	28	0,05	0,46	0,14	22	0,06	0,30	0,20
	1,2 à 1,5	37	0,36	1,07	0,68	0				20	0,39	0,69	0,50
	1,5 à 1,8	11	0,91	1,14	1,01	0				3	0,79	0,89	0,82
	1,8 à 2,2	7	1,21	1,44	1,34	0				4	1,09	1,19	1,14
	2,2 à 2,5	1	1,54	1,54	1,54	0				0			
NBR ≤ Túnel	0 à 0,3	0				0							
	0,3 à 0,4	0				0							
	0,4 à 0,5	1	1,62	1,62	1,62	4	1,53	2,03	1,86				
	0,5 à 0,6	3	0,90	2,09	1,69	12	1,19	2,75	1,54				
	0,6 à 0,7	12	0,62	1,44	0,77	46	0,69	2,05	1,12				
	0,7 à 0,8	12	0,40	1,21	0,82	28	0,53	1,35	0,89				
	0,8 à 0,9	13	0,27	0,59	0,51	37	0,34	0,75	0,47				
	0,9 à 1	13	0,04	0,24	0,16	33	0,00	0,35	0,14				
NBR > Túnel	1 à 1,2	23	0,05	0,46	0,16	32	0,01	0,45	0,26				
	1,2 à 1,5	5	0,46	0,66	0,54	37	0,36	1,07	0,74				
	1,5 à 1,8	0				6	0,91	1,14	1,03				
	1,8 à 2,2	0				10	1,21	1,44	1,26				
	2,2 à 2,5	0				3	1,54	1,64	1,61				

(Fonte: elaborado pelo autor)

Figura 103 - Distribuição das sucções por regiões e intervalos de NBR/Túnel



(Fonte: elaborado pelo autor)

6.2 SOBREPRESSÕES EXTERNAS NAS FACHADAS

Em termos de sobrepessões nas fachadas a norma apresentou um número maior de resultados superiores aos obtidos em túnel de vento, conforme pode ser observado no quadro 22 e na figura 104. Destaca-se que quase 80% dos resultados obtidos em norma foram superiores, apontando uma grande diferença com relação às sucções, avaliadas no item 6.1.

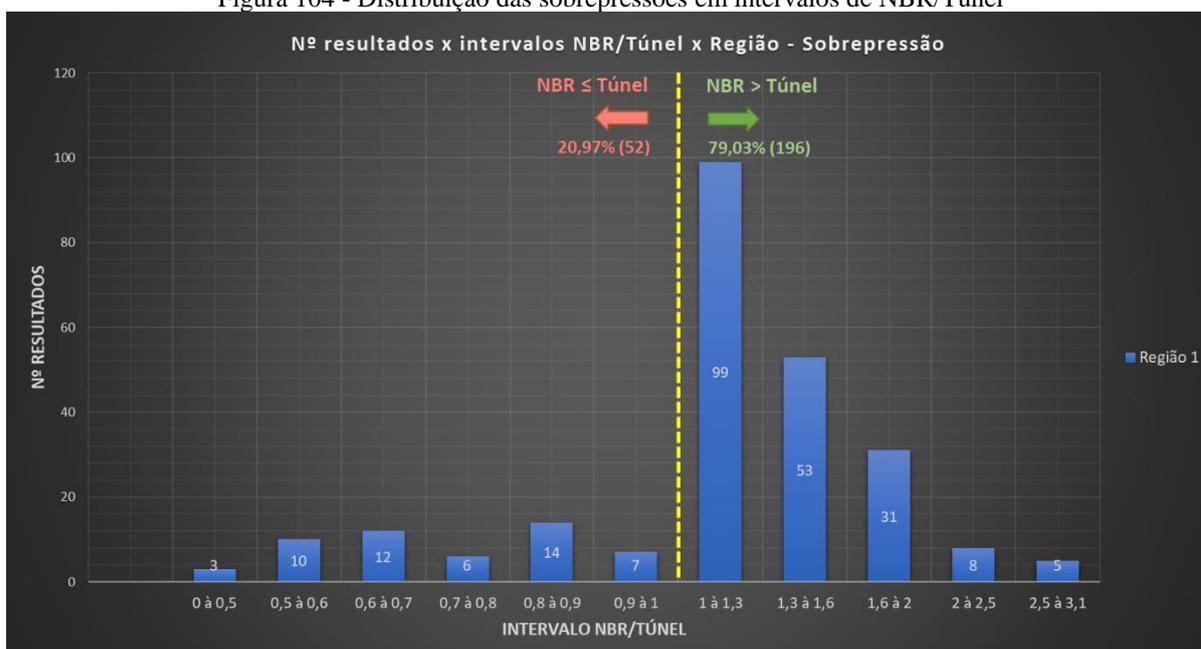
Quadro 22 - Dados gerais da sobrepessão e diferença entre Túnel e NBR em valores absolutos [kPa]

SOBREPRESSÃO		Região 1				
		Intervalo NBR/Túnel	Frequência	Diferença entre Túnel e NBR [kPa]		
				Mín	Máx	Média
Nº comparações	248					
Mínimo [NBR/Túnel]	0,44					
Máximo [NBR/Túnel]	3,1					
NBR ≤ Túnel						
	52					
	20,97%					
NBR > Túnel						
	196					
	79,03%					

SOBREPRESSÃO		Região 1				
		Intervalo NBR/Túnel	Frequência	Diferença entre Túnel e NBR [kPa]		
				Mín	Máx	Média
NBR ≤ Túnel		0 à 0,5	3	1,02	1,12	1,05
		0,5 à 0,6	10	0,62	2,37	1,59
		0,6 à 0,7	12	0,46	1,17	0,89
		0,7 à 0,8	6	0,37	0,59	0,50
		0,8 à 0,9	14	0,12	0,37	0,23
		0,9 à 1	7	0,02	0,17	0,08
NBR > Túnel		1 à 1,3	99	0,02	0,55	0,23
		1,3 à 1,6	53	0,38	0,83	0,60
		1,6 à 2	31	0,68	1,15	0,84
		2 à 2,5	8	0,61	1,45	1,09
		2,5 à 3,1	5	1,13	1,47	1,21

(Fonte: elaborado pelo autor)

Figura 104 - Distribuição das sobrepessões em intervalos de NBR/Túnel



(Fonte: elaborado pelo autor)

Observa-se, ainda, na figura 104, que em grande parte das comparações efetuadas os resultados obtidos pela norma ficaram bem próximos daqueles obtidos em túnel de vento, estando localizadas dentro do intervalo de razão NBR/Túnel de 1 a 1,3 a totalidade de 99 comparações.

Desta forma, a NBR 6123/1988 apresentou estimativas melhores nas sobrepressões quando comparadas às sucções, principalmente na avaliação da segurança da edificação.

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

De modo geral, com a realização deste trabalho pode-se responder à questão inicialmente formulada e cumprir com os objetivos propostos. Conclui-se que a NBR 6123/1988 não apresentou uma estimativa satisfatória quando comparada com os resultados obtidos em túnel de vento, principalmente na análise das sucções nas fachadas das edificações. Por se tratar de uma metodologia de cálculo que engloba um número restrito de edificações, e não teria como abranger todas as possibilidades presentes neste tipo de projeto, a NBR acaba não sendo a ferramenta mais indicada quando se busca resultados otimizados para projetos de elementos de revestimento e vedação.

A primeira hipótese que pode explicar as diferenças encontradas é o fato do túnel de vento utilizar um fator de pico que ocorre em um intervalo muito curto de tempo para a determinação das pressões nas fachadas, conforme expresso no item 4.4.2, enquanto a NBR utiliza uma velocidade básica que ocorre em um intervalo de 3 segundos. Assim, este fator de pico acaba gerando pressões mais elevadas, porém que ocorrem em intervalo de tempo muito pequeno. Seria interessante que fossem realizados estudos que demonstrem o quão danosa esta pressão de pico é à estrutura de modo geral e aos elementos de vedação/revestimento, com isso os coeficientes da norma poderiam ser, possivelmente, corrigidos e aumentaríamos o nível de segurança dos projetos que envolvem à análise do vento nas edificações.

O segundo fator que pode contribuir para a diferença entre os valores da norma e do túnel de vento é o fato da norma não considerar a vizinhança da edificação como o túnel de vento considera. Este é um ponto que talvez a norma não consiga considerar, pois, o número de possibilidades de disposição da vizinhança no entorno de uma edificação é infinito, fazendo com que não seja possível apresentar uma metodologia única de cálculo que contemple todas as variações possíveis.

Assim, até o momento, o túnel de vento se mostra a melhor alternativa à análise dos efeitos do vento sobre as edificações. De posse de resultados mais próximos dos reais, os projetistas e executores de obras civis podem contribuir para a criação de estruturas mais seguras e também de edificações que tragam mais conforto aos usuários. Porém, uma revisão dos coeficientes utilizados na NBR 6123/1988, assim como seus pontos de aplicação, também se faz necessária.

REFERÊNCIAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6123**: forças devidas ao vento em edificações. Rio de Janeiro, 1988.
- BLESSMANN, J. **Acidentes causados pelo vento**. 4. ed. Porto Alegre: Ed. UFRGS, 2001.
- BLESSMANN, J. **Aerodinâmica das construções**. 3. ed. Porto Alegre: Ed. UFRGS, 2011.
- LOREDO-SOUZA, A. M. et al. **Simulação da camada limite atmosférica em túnel de vento**. ABCM, Porto Alegre, 2004.
- NÚÑEZ, Gustavo Javier Zani; LOREDO-SOUZA, A. M.; ROCHA, M. M. **Uso do Túnel de Vento como Ferramenta de Projeto no Design Aerodinâmico**. Revista Design & Tecnologia, v. 04, p. 10-23, 2012.
- CARPEGIANI, E. A. **Determinação dos efeitos estáticos de torção em edifícios altos devidos à ação do vento**. 2004. 154 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2004.