



INTEGRANDO EFICIÊNCIA ESTRUTURAL E DESIGN ESTÉTICO: UMA ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DO VENTO EM EDIFICAÇÕES DE PEQUENO PORTE

**Anne Caroline Daniel¹, Fernando Francisco Ferreira Júnior², Jaqueline Iorrane de
Carvalho³, Julio Cesar de Oliveira Matos⁴, Maurício Antônio de Paiva Souza⁵, Paulo
Eduardo Pereira de Carvalho⁶**

(annecarolinedaniel@gmail.com¹, fernandoferreirajr.eng@gmail.com²,
jiorrane.carvalho@gmail.com³, juliodeom122@gmail.com⁴, mauricio19972008@hotmail.com⁵,
duuhfox@hotmail.com⁶)

Professora orientadora: Sheila Leal Loureiro

Coordenação de curso de Engenharia Civil

Resumo

Este artigo destaca a importância de compreender os efeitos das forças do vento em edifícios de pequeno porte de até 4 pavimentos de concreto armado, com ênfase na norma ABNT NBR 6123:1998 – Forças devidas ao vento em edificações, ressaltando a influência de fatores como tamanho, forma e localização. Explora-se a variedade de ventos e sua relação com danos específicos, enfatizando a relevância dos cálculos do vento e da resistência dos materiais. E por meio de uma pesquisa qualitativa aplicada a análise da carga do vento em edifícios de pequeno porte, destacando a importância de fatores como velocidade do vento, rugosidade do terreno e escolha de materiais. Examina métodos de cálculo, incluindo o Método do Coeficiente de Pressão, o Método Analítico da Carga do Vento e o Teste do Túnel de Vento. Enfatiza a necessidade de equilibrar resistência e estética, especialmente em edifícios com orçamentos limitados. Conclui que o projeto dessas estruturas requer abordagem multidisciplinar, considerando aspectos estruturais, espaciais, estéticos e orçamentais. A resistência ao vento é crucial, demandando inovação e criatividade para garantir edificações seguras e duráveis.

Palavras-chave: Influência do vento. Edifícios de pequeno porte. Estrutural.

1. INTRODUÇÃO

O vento é um fenômeno natural que pode ter um impacto significativo em pequenos edifícios. As forças do vento podem causar danos a pequenos

edifícios, incluindo telhados, paredes e janelas. Além disso, os efeitos em edifícios pequenos dependem de vários fatores, tais como o tamanho, forma e localização do edifício. (MONTEIRO, 2022).

Existem diferentes tipos de ventos, incluindo ventos constantes, tempestuosos e turbulentos. Os ventos constantes sopram a uma velocidade e direção constantes, enquanto os ventos tempestuosos têm aumentos repentinos de velocidade. Os ventos turbulentos são caracterizados por padrões caóticos e irregulares. Cada tipo de vento possui características diferentes que podem afetar pequenas construções de maneiras diferentes. Como as rajadas de vento podem causar mais danos aos telhados, enquanto ventos turbulentos podem causar mais danos às paredes (AMORIM, 2017).

A velocidade do vento é a taxa na qual o ar passa por um ponto. Quanto mais rápida for a velocidade do vento, maior será a pressão que ele exerce sobre uma estrutura. A pressão do vento é a força por unidade de área que o vento exerce sobre uma superfície. O impacto da velocidade e pressão do vento em pequenos edifícios pode ser significativo, especialmente durante eventos climáticos extremos, como furacões e tornados (DAL PRÁ, 2022).

O projeto do edifício desempenha um papel crucial na resistência ao vento. Arquitetos e engenheiros devem considerar vários fatores ao projetar edifícios que possam resistir às forças do vento. Esses fatores incluem a forma, tamanho, altura e localização do edifício. Além disso, os materiais utilizados na construção também podem afetar a resistência do edifício ao vento. (SILVA, 2015).

A manutenção e inspeção regulares de pequenos edifícios são essenciais para garantir a sua resistência ao vento. Os sinais de danos causados pelo vento incluem rachaduras nas paredes, materiais de telhado danificados e janelas quebradas. As medidas que podem ser tomadas para manter e inspecionar pequenos edifícios quanto à resistência ao vento incluem aparar árvores e vegetação ao redor do edifício, proteger objetos soltos e verificar se há sinais de danos após um evento de vento (DA FONSECA *et al.*, 2018).

A questão direcionadora deste artigo é: Fornecer uma compreensão dos desafios e analisar como as forças do vento interagem com as edificações de pequeno porte de até 4 pavimentos em concreto armado, o qual não pode ser subestimado a importância de considerar todos estes fatores ao projetar e

construir pequenos edifícios para garantir a sua resistência ao vento de acordo com a norma ABNT NBR 6123:1988 – Forças devidas ao vento em edificações. Além disso, busca destacar abordagens práticas, enfatizando a importância de equilibrar elementos estruturais, estéticos e orçamentais.

2. DESENVOLVIMENTO

A carga do vento refere-se à força exercida pelo vento sobre uma estrutura, que pode variar dependendo da localização, formato e altura do edifício. Em edifícios pequenos, a análise da carga de vento é crucial para garantir a segurança e estabilidade da estrutura. A carga do vento pode causar danos significativos a estruturas, levando a potenciais riscos de segurança e a reparações dispendiosas. Portanto, é essencial considerar a carga do vento no projeto e construção de pequenos edifícios. (BLESSMANN, 2005).

A ABNT NBR 6123:1988 – Forças devidas aos ventos em edificações apresenta métodos para o cálculo da carga do vento na estrutura.

2.1 ABNT NBR 6123:1988 – Forças devidas aos ventos em edificações

Esta norma descreve as condições necessárias para o cálculo das forças associadas à ação estática e dinâmica do vento. Para esse fim foram adotadas as seguintes definições e conceitos: a região “barlavento” refere-se à direção de onde o vento sopra em relação à edificação, enquanto a região “sota-vento” refere-se à direção oposta. Porém, em alguns casos, pode ocorrer o contrário, causando sucção ou pressão negativa na superfície, conforme ilustrado na Figura 1 (ABNT, 1988 – Forças devidas ao vento em edificações).

Figura 1 – Ilustração da ação externa do vento em edificações



Fonte: (DA FONSECA, 2018)

As pressões dinâmicas do vento são aquelas associadas ao movimento do ar em torno de um objeto ou estrutura quando o vento flui em torno de um objeto, ele exerce forças e pressões devido à sua velocidade e direção. Essas pressões dinâmicas podem ser transformadas em forças estáticas por meio de um processo chamado de conversão de pressão dinâmica em carga estática. Sendo assim para compreender o efeito do vento é necessário conhecer a força atuante na direção do vento, conhecida como força de arrasto (F_a) que é determinada a partir da equação apresentada na ABNT NBR 6123:1988 – Forças devidas ao vento em edificações.

$$F_a = C_a \times q \times A_e \quad (1)$$

Onde:

F_a - força de arrasto;

C_a - coeficiente de arrasto;

q - pressão de obstrução;

A_e - área da superfície perpendicular à direção de vento;

A pressão de obstrução do vento, também conhecida como pressão de obstrução ou pressão de estagnação, refere-se à pressão gerada quando o vento encontra um obstáculo. Essa pressão ocorre devido ao desvio e ao redirecionamento do ar ao redor da superfície do obstáculo.

A pressão de obstrução (q) é determinada através da equação apresentada pela ABNT NBR 6123:1988 - Forças devido ao vento em edificações deduzida a partir do teorema de Bernoulli.

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

Onde:

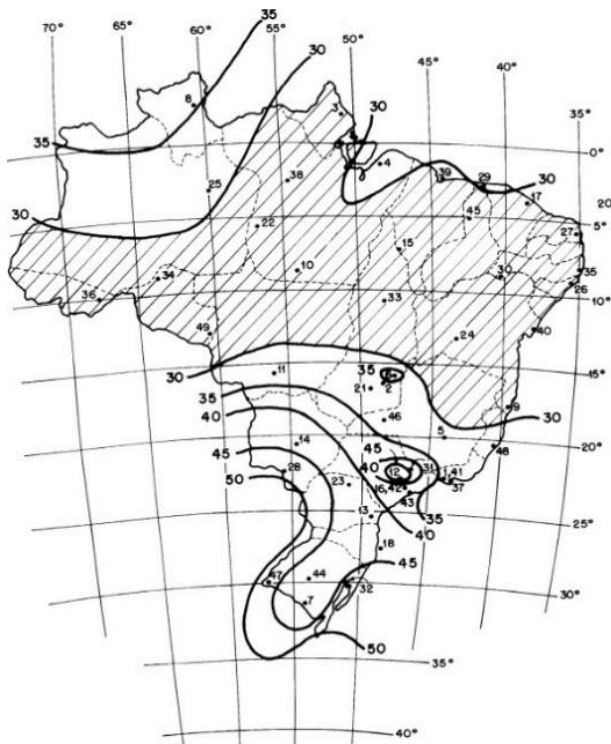
q - pressão de obstrução(N/m²);

V_k^2 - velocidade característica do vento(m/s);

De acordo com Costa (2013) a velocidade básica do vento é, por definição, a velocidade de uma rajada com duração de três segundos, com probabilidade de ser superada uma vez a cada 50 anos, a 10 metros acima do terreno, em campo aberto e plano.

A isopleta de velocidade basica do vento na figura 2 apresentada pela ABNT NBR 6123:1988 – Forças devidas ao vento em edificações, mostra alguns valores pré calculados para utilizarmos.

Figura 2 - abaixo apresenta valores V_0 no Brasil.



Fonte: (ABNT NBR 6123:1988 – Forças devidas ao vento em edificações)

Mesmo assim para realizar o cálculo não é necessario apenas a velocidade básica, precisamos realizar a correção da velocidade básica, para obtermos a velocidade característica, utilizando os seguintes fatores, rugosidade do terreno,

topografia, dimensões da edificação e um fator estatístico, apresentados pela norma ABNT NBR 6123:1988 – Forças devidas ao vento em edificações.

$$V_k = V_0 * S_1 * S_2 * S_3 \quad (3)$$

Onde:

V_k – Velocidade característica;

S_1 – Fator topográfico

S_2 – Depende da rugosidade do terreno, dimensões da edificação e altura sobre o terreno;

S_3 – Fator estatístico;

V_0 – Velocidade básica do vento

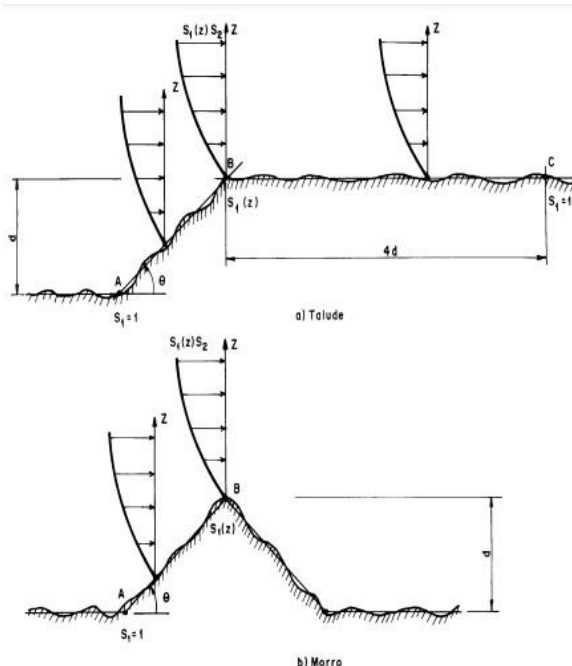
O fator topográfico leva em consideração as variações do relevo do terreno e é determinado do seguinte modo:

a) terreno plano ou fracamente acidentado: $S_1 = 1,0$;

b) taludes e morros:

Taludes e morros alongados nos quais pode ser admitido um fluxo de ar bidimensional soprando no sentido indicado na Figura 3.(ABNT NBR 6123:1988 – Forças devidas ao vento em edificações).

Figura 3 – Fator topográfico $S_1(z)$, em taludes e morros.



Fonte: (ABNT NBR 6123:1988 – Forças devidas ao vento em edificações)

O ponto A (morros) e nos pontos A e C (taludes): $S_1 = 1,0$

Onde:

z = altura medida a partir da superfície do terreno no ponto considerado

d = diferença de nível entre a base e o topo do talude ou morro

θ = inclinação média do talude ou encosta do morro

Nota: Entre A e B e entre B e C, o fator S_1 é obtido por interpolação linear.

Vales profundos, protegidos de ventos de qualquer direção: $S_1 = 0,9$.
(ABNT NBR 6123:1988 - Forças devido ao vento em edificações).

Conforme descrito na norma ABNT NBR 6123:1988 – Forças devidas ao vento em edificações, o fator S_2 é essencial para o estudo da interferência do vento em edificações.

O fator S_2 considera o efeito combinado da 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. Em ventos fortes em estabilidade neutra, a velocidade do vento aumenta com a altura acima do terreno. Este aumento depende da rugosidade do terreno e do intervalo de tempo considerado na determinação da velocidade.

A rugosidade do terreno (Fator S_2) também é utilizado para realizar a correção do V_k (Velocidade característica) . Sendo dividido em 5 categorias:

- Categoria I: Superfícies lisas de grandes dimensões, com mais de 5 km de extensão, medida na direção e sentido do vento incidente. Exemplos:
 - Mar calmo ;
 - Lagos e rios;
 - Pântanos sem vegetação.
- Categoria II: Terrenos abertos em nível ou aproximadamente em nível, com poucos obstáculos isolados, tais como árvores e edificações baixas. Exemplos:
 - Zonas costeiras planas;
 - Pântanos com vegetação rala;
 - Campos de aviação;
 - Pradarias e charnecas;
 - Fazendas sem sebes ou muros.

A cota média do topo dos obstáculos é considerada inferior ou igual a 1,0 m.

- Categoria III: Terrenos planos ou ondulados com obstáculos, tais como sebes e muros, poucos quebra-ventos de árvores, edificações baixas e esparsas. Exemplos:

Granjas e casas de campo, com exceção das partes com matos;

- Fazendas com sebes e/ou muros;

- Subúrbios a considerável distância do centro, com casas baixas e esparsas.

- A cota média do topo dos obstáculos é considerada igual a 3,0 m.

- Categoria IV: Terrenos cobertos por obstáculos numerosos e pouco espaçados, em zona florestal, industrial ou urbanizada.

Exemplos:

- Zonas de parques e bosques

com muitas árvores;

- Cidades pequenas e seus arredores;

- Subúrbios densamente construídos de grandes cidades;

- Áreas industriais plena ou parcialmente desenvolvidas;

A cota média do topo dos obstáculos é considerada igual a 10 m.

- Categoria V: Terrenos cobertos por obstáculos numerosos, grandes, altos e pouco espaçados.

Exemplos:

- Florestas com árvores altas, de copas isoladas;

- Centros de grandes cidades;

- Complexos industriais bem desenvolvidos.

A cota média do topo dos obstáculos é considerada igual ou superior a 25 m, de acordo com as dimensões da edificação.

A velocidade do vento varia continuamente, e seu valor médio pode ser calculado sobre qualquer intervalo de tempo. Foi verificado que o intervalo mais curto das medidas usuais (3 s) corresponde a rajadas cujas dimensões envolvem convenientemente obstáculos de até 20 m na direção do vento médio.

Quanto maior o intervalo de tempo usado no cálculo da velocidade média, tanto maior a distância abrangida pela rajada.

Para a definição das partes da edificação a considerar na determinação das ações do vento, é necessário considerar características construtivas ou estruturais que originem pouca ou nenhuma continuidade estrutural ao longo da edificação, tais como:

- Edificações com juntas que separem a estrutura em duas ou mais partes estruturalmente independentes;
- Edificações com pouca rigidez na direção perpendicular à direção do vento e, por isso, com pouca capacidade de redistribuição de cargas (ABNT NBR 6123:1988 - Forças devido ao vento em edificações).

Segundo a norma NBR 6123:1988 – Força devidas aos ventos em edificações, podemos classificar as edificações de acordo com sua altura .

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 m.

Classe B: Toda edificação ou parte de edificação para a qual a maior dimensão horizontal ou vertical da superfície frontal esteja entre 20 m e 50 m.

Classe C: Toda edificação ou parte de edificação para a qual a maior dimensão horizontal ou vertical da superfície frontal exceda 50 m (ABNT NBR 6123:1988 - Forças devido ao vento em edificações).

Para realizarmos o calculo da velocidade do vento em uma altura acima do nível geral do terreno , utilizamos a seguinte equação para obter o fator S_2 .

$$S_2 = b \times F_r \times \left(\frac{z}{10}\right)^p \quad (4)$$

F_r - Fator de rajada, sendo sempre o correspondente à categoria II

b - parâmetros meteorológicos

p - expoente da lei potencial de variação de S_2

z - altura medida a partir da superfície do terreno no ponto considerado

Sendo que o fator de rajada F_r é sempre o correspondente à categoria II. A expressão acima é aplicável até a altura Z_g , que define o contorno superior da camada atmosférica.

Os parâmetros que permitem determinar S_2 para as cinco categorias desta norma são apresentados na Tabela 1.

Tabela 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
		p	0,085	0,09	0,10
III	350	b	0,94	0,94	0,93
		p	0,10	0,105	0,115
IV	420	b	0,86	0,85	0,84
		p	0,12	0,125	0,135
V	500	b	0,74	0,73	0,71
		p	0,15	0,16	0,175

Fonte: (ABNT NBR 6123:1988 – Forças devidas ao vento em edificações)

Os valores de S_2 para as diversas categorias de rugosidade do terreno e classes de dimensões das edificações definidas nesta norma são dados na Tabela 2. Para estudo dos elementos de vedação, é recomendado usar o fator S_2 correspondente ao topo da edificação. Esta recomendação é baseada no fato de que na fachada de barlavento e nas fachadas laterais o vento é defletido para baixo, com consequente aumento da pressão dinâmica na parte inferior da edificação. Pela mesma razão, o fator S_2 é considerado constante até 10 m de altura na categoria V. (ABNT NBR 6123:1988 - Forças devido ao vento em edificações).

Tabela 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: (ABNT NBR 6123:1988 – Forças devidas ao vento em edificações)

Também faz parte da ABNT NBR 6123:1988 – Forças devidas ao vento em edificações, a aplicação do fator S_3 .

O fator estatístico S_3 é baseado em conceitos estatísticos, e considera o grau de segurança requerido e a vida útil da edificação. Segundo a norma, a velocidade básica V_0 é a velocidade do vento que apresenta um período de recorrência médio de 50 anos. A probabilidade de que a velocidade V_0 seja igualada ou excedida neste período é de 63%. O nível de probabilidade (0,63) e a vida útil (50 anos) adotados são considerados adequados para edificações normais destinadas a moradias, hotéis, escritórios, etc. (grupo 2). Na falta de uma norma específica sobre segurança nas edificações ou de indicações correspondentes na norma estrutural, os valores mínimos do fator S_3 são os indicados na Tabela 3. (ABNT NBR 6123:1988 - Forças devido ao vento em edificações).

Tabela 3 – Valores mínimos do fator estatísticos 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: (ABNT NBR 6123:1988 – Forças devidas ao vento em edificações)

2.2 Fatores que afetam o impacto do vento em edifício pequenos

Segundo a norma ABNT NBR 6123:1988 – Forças devidas ao vento em edificações, Silva (2015) menciona que a altura e a forma de um edifício também são fatores importantes que afetam o impacto do vento em edifícios pequenos. Os edifícios mais altos são mais suscetíveis às cargas do vento devido à sua maior área de superfície e altura acima do solo. O formato do edifício também pode afetar o fluxo e a pressão do vento, com edifícios curvos ou arredondados sofrendo menos cargas de vento do que aqueles com cantos agudos ou superfícies planas. Além disso, a flexibilidade, rigidez e características de amortecimento do edifício também podem influenciar a sua resposta às cargas do vento. A localização e o terreno circundante de um edifício também podem afetar o impacto do vento em edifícios pequenos. Edifícios localizados em áreas com ventos de alta velocidade, como regiões costeiras ou áreas com tempestades frequentes, são mais suscetíveis às cargas do vento. O terreno circundante também pode afetar o fluxo e a pressão do vento, com edifícios localizados em áreas com obstruções, como colinas ou árvores, enfrentando mais turbulência e cargas de vento. Os tipos de materiais utilizados na construção do edifício também pode afetar a sua resposta às cargas do vento.

2.3 Seleção de materiais para resistência ao vento

A seleção de materiais é crucial para garantir a resistência ao vento de

pequenos edifícios. O impacto do vento nos materiais e estruturas pode causar danos significativos e até mesmo falhas. Portanto, é essencial escolher materiais que possam suportar as forças exercidas pelo vento e manter a sua integridade estrutural. A seleção de materiais adequados também pode contribuir para reduzir o impacto ambiental do edifício (KRZISCH et al., 2021).

Ao selecionar materiais para pequenos edifícios resistentes ao vento, vários fatores devem ser considerados. Isso inclui a resistência, rigidez, ductilidade e durabilidade do material. A resistência do material à corrosão, fogo e umidade também é essencial. A localização do edifício e as condições climáticas locais, incluindo a velocidade e direção do vento, também devem ser levadas em consideração. Outros fatores a considerar incluem a disponibilidade e o custo do material, bem como o seu impacto ambiental. Ao considerar cuidadosamente estes fatores, engenheiros e arquitetos podem selecionar os materiais mais adequados para pequenos edifícios resistentes ao vento, garantindo a sua longevidade e segurança (KRZISCH et al., 2021).

Cada material tem suas vantagens e desvantagens, e a escolha do material depende de vários fatores, como localização do edifício, projeto e uso pretendido. Por exemplo, o concreto armado é conhecido por sua resistência e durabilidade, tornando-o uma escolha popular para edifícios altos. O aço também é resistente e leve, o que o torna adequado para edifícios com grandes vãos. A madeira é um material renovável e sustentável, frequentemente utilizado em edifícios baixos (DAL PRÁ, 2022).

Projetar um pequeno edifício resistente ao vento requer uma consideração cuidadosa de vários fatores, incluindo o projeto do telhado que usualmente é usado a madeira como matéria prima. O telhado é uma das partes mais vulneráveis de um edifício quando se trata de danos provocados pelo vento. Para minimizar o impacto do vento na cobertura, é essencial escolher um material de cobertura adequado que resista a ventos fortes. As coberturas metálicas são uma escolha popular para pequenos edifícios devido à sua durabilidade e resistência aos danos do vento. Além disso, a inclinação do telhado deve ser suficientemente íngreme para minimizar o impacto do vento e evitar que a água se acumule no telhado. O projeto de paredes e o projeto

da fundação também são de suma importância em um projeto residencial (SILVEIRA, 2022).

O design das paredes é outra consideração crítica para pequenos edifícios resistentes ao vento. As paredes devem ser fortes o suficiente para resistir às cargas do vento e evitar o desabamento do edifício. As paredes de alvenaria são uma excelente opção para pequenas construções, pois oferecem excelente resistência às cargas do vento. No entanto, podem ser caras e o seu peso pode exigir suporte estrutural adicional. Outra opção é utilizar paredes de concreto armado, que oferecem excelente resistência e durabilidade. Também é essencial garantir que as paredes estejam adequadamente ancoradas à fundação para evitar que sejam levantadas pelo vento (DAL PRÁ, 2022).

Edifícios com perfis aerodinâmicos, caracterizados por formas curvas ou arredondadas, geralmente sofrem menos cargas de vento em comparação com edifícios retangulares com superfícies retas que oferecem maior resistência. Isto indica que o esforço aerodinâmico é determinado pelo perfil e forma do edifício, o que impacta significativamente os efeitos da pressão do vento na estrutura, aumentando-os ou diminuindo-os (MONTEIRO, 2022).

2.4 Métodos de cálculos da carga de vento

O impacto do vento nas pequenas construções é um aspecto importante da engenharia civil, especialmente com a tendência de verticalização das cidades e da construção. Os métodos de cálculo da carga de vento são essenciais para determinar as forças exercidas em uma estrutura e projetá-la para suportar tais forças. Um desses métodos é o método do coeficiente de pressão, que utiliza coeficientes de pressão para determinar as cargas de vento que atuam em um edifício. Este método baseia-se na suposição de que a pressão do vento sobre uma superfície é proporcional à pressão atmosférica local e ao quadrado da velocidade do vento. Os coeficientes de pressão são obtidos a partir de testes em túnel de vento ou métodos analíticos (SILVA, 2015).

Outro método de cálculo da carga de vento para edifícios pequenos é o

método analítico de carga de vento. Este método envolve o uso de equações matemáticas para determinar as cargas de vento que atuam em uma estrutura. As equações consideram fatores como formato, altura e localização do edifício, bem como velocidade e direção do vento. O método analítico de carga de vento é útil para edifícios pequenos com formas simples e pode ser usado como alternativa ao Método do Coeficiente de Pressão (LOREDO-SOUZA *et al.*, 2020).

Ainda de acordo com Silva (2015), além do método do coeficiente de pressão, o teste de túnel de vento é um terceiro método usado para calcular cargas de vento em pequenos edifícios. Este método envolve a criação de um modelo em escala do edifício e o teste em um túnel de vento para simular os efeitos do vento. O teste em túnel de vento fornece dados precisos e confiáveis sobre as cargas de vento que atuam em um edifício e pode ser usado para validar os resultados obtidos por outros métodos. Este método é particularmente útil para pequenos edifícios com formas complexas ou irregularidades (LOREDO-SOUZA *et al.*, 2020).

Desta forma, os métodos de cálculo da carga de vento são essenciais no projeto de pequenos edifícios que possam suportar as forças exercidas pelo vento. O método do coeficiente de pressão, o método analítico da carga do vento e o teste do túnel de vento são três métodos que podem ser usados para calcular as cargas do vento em pequenos edifícios. Cada método tem suas vantagens e limitações, e a escolha do método depende das características da edificação e do nível de precisão exigido para o projeto (AMORIM, 2017).

De acordo com AMORIN (2017), as características dos edifícios pequenos são particularmente susceptíveis aos danos provocados pelo vento e é essencial incorporar características resistentes ao vento durante a sua concepção e construção. Uma dessas características é a utilização de sistemas de contraventamento, que transferem cargas laterais para a fundação e proporcionam estabilidade à edificação. Os sistemas de contraventamento podem ser instalados de várias formas, incluindo contraventamento diagonal, molduras de portal e paredes de cisalhamento. Esses sistemas distribuem as cargas do vento para a fundação, reduzindo o risco de danos estruturais e colapso. Ao incorporar sistemas de

contraventamento em projetos de pequenos edifícios, a resistência geral do edifício ao vento pode ser melhorada, garantindo a segurança dos seus ocupantes.

Projetar pequenos edifícios resistentes ao vento apresenta vários desafios, sendo o espaço limitado para sistemas de contraventamento um dos mais significativos. Ao contrário das estruturas maiores, os edifícios pequenos não podem acomodar sistemas de contraventamento volumosos, tornando difícil distribuir as cargas do vento e resistir às forças laterais para fornecer resistência adequada ao vento e, ao mesmo tempo, minimizar o espaço necessário (DAL PRÁ, 2022).

Equilibrar a resistência do vento com a estética é outro desafio significativo no projeto de pequenos edifícios. Os edifícios pequenos são frequentemente concebidos para serem visualmente atraentes, com fachadas complexas e formas únicas. No entanto, estas características de projeto podem comprometer a resistência do edifício ao vento, tornando-o mais suscetível às cargas do vento (SILVEIRA, 2022).

Alcançar um equilíbrio entre a estética e a resistência ao vento requer uma compreensão profunda das cargas do vento e dos seus efeitos nos materiais e estruturas de construção. Esta compreensão pode informar decisões de projeto, como o uso de materiais com alta resistência ao vento e a incorporação de características estruturais que melhoram a resistência ao vento sem comprometer a estética (DAL PRÁ, 2022).

As restrições de custos e orçamentais também constituem desafios significativos na concepção de pequenos edifícios resistentes ao vento. Os edifícios pequenos são muitas vezes construídos com um orçamento apertado, limitando a utilização de materiais de alto desempenho e sistemas estruturais avançados. Esta limitação pode comprometer a resistência do edifício ao vento, tornando-o mais vulnerável às cargas e danos causados pelo vento (AMORIM, 2017).

Para superar este desafio na limitação, engenheiros e arquitetos devem encontrar soluções económicas que equilibrem a resistência do vento com as restrições orçamentais. Isto pode envolver a utilização de materiais alternativos, como concreto pré-moldado ou madeira, ou a otimização de sistemas estruturais para reduzir a utilização e o custo de materiais. Em última

análise a concepção de pequenos edifícios resistentes ao vento requer uma abordagem multidisciplinar que considere restrições estruturais, espaciais, estéticas e orçamentais (KRZISCH *et al.*, 2021).

3. METODOLOGIA



Fonte: Própria autoria

De acordo com o autor Prodanov, Freitas 2013:

[...] elaborada a partir de material já publicado, constituído principalmente de: livros, revistas, publicações em periódicos e artigos científicos, jornais, boletins, monografias, dissertações, teses, material cartográfico, internet, com o objetivo de colocar o pesquisador em contato direto com todo material já escrito sobre o assunto da pesquisa. Na pesquisa bibliográfica, é importante que o pesquisador verifique a veracidade dos dados obtidos, observando as possíveis incoerências ou contradições que as obras possam apresentar (PRODANOV; FREITAS, 2013, p. 54).

Dessa forma, quanto aos meios este artigo pode ser classificado como uma pesquisa bibliográfica de dados coletados em livros, artigos científicos e com base nas diretrizes da ABNT NBR 6123:1988 - Forças devido ao vento em edificações. Os livros oferecem uma ampla gama de tópicos oferecendo uma compreensão mais ampla dos assuntos. Os artigos apresentaram resultados, métodos e ideias de vários assuntos. Por outro lado, a norma ABNT NBR 6123:1988 - Forças devido ao vento em edificações estabelece regulamentações nacionais que orientam as práticas a serem seguidas.

Quanto a classificação da pesquisa apresentada neste artigo, podemos definir o tipo de pesquisa como aplicada que, segundo Silveira (2011), visa a gerar conhecimentos para aplicação prática e dirigida à solução de problemas específicos. Objetiva resolver um problema concreto e imediato da sociedade.

Este artigo se adequa, logo, como aplicada, pois, possui a finalidade de fazer investigações quanto as definições do vento e sua influência em edifícios de pequeno porte, visando a sua importância em ser considerado nos cálculos de acordo com a ABNT NBR 6123:1988 - Forças devidas ao vento em edificações, com o propósito de aumentar a vida útil dos edifícios e a segurança dos usuários.

Denzin e Lincoln (2006) complementam que a pesquisa qualitativa é uma atividade situada que localiza o observador no mundo; consiste em um conjunto de práticas materiais e interpretativas que dão visibilidade ao mundo em uma série de representações, incluindo as notas de campo, entrevistas, fotografias. Busca-se entender o fenômeno em termo dos significados que as pessoas a ele conferem. A competência da pesquisa qualitativa será o mundo da experiência vivida, pois é nele que a crença individual, ação e cultura entre cruzam-se (DENZIN; LINCOLN, 2006).

Assim sendo, pode-se classificar este artigo como qualitativa, conforme a análise da influência do vento em edifícios de pequeno porte, opiniões de autores perante ao tema. Além disso a análise de dados numéricos de acordo com a ABNT NBR 6123:1988 - Forças devidas ao vento em edificações, para a classificação do vento de acordo com sua velocidade, localização, classe de agressividade e fenômenos necessários para calcular por meio de tabelas e dados estatísticos a sua influência nos edifícios.

Os estudos explicativos exigem, ainda, uma estruturação maior do que os outros referidos tipos de pesquisa, pois implicam, em sua finalidade, a exploração, a descrição e correlação ou associação de variáveis, eventos, acontecimentos ou fenômenos pesquisados, para que, desta forma, seja possível a explicação destes (SAMPLIERI; COLLADO; LUCIO, 2013).

A classificação em relação aos fins deste artigo portanto, é dado como pesquisa explicativa, por indentificar variáveis que influenciam e colaboram para o acontecimento de fenômenos em relação ao vento nas edificações de

pequeno porte. Considerando os parametros determinados na norma ABNT NBR 6123:1988 - Forças devidas ao vento em edificações para identificação dos fatores e eventos, sendo assim possível ser considerado seus efeitos nesses edificios.

Conforme Gil 2008 o universo ou população :

É um conjunto definido de elementos que possuem determinadas características” e a amostra consiste em um “subconjunto do universo ou da população, por meio do qual se estabelecem ou se estimam as características desse universo ou população (Gil, 2008, p. 89-90).

Nesse caso, o universo pode ser considerado como todas as edificações existentes, uma vez que o tema do artigo se concentra na influência do vento nesse tipo das edificações. Enquanto a amostra seria o grupo específico de edifícios de pequeno porte usados para realizar o estudo sobre a influência do vento.

Outra justificativa para o uso de documentos em pesquisa é que ele permite acrescentar a dimensão do tempo à compreensão do social. “A análise documental favorece a observação do processo de maturação ou de evolução de indivíduos, grupos, conceitos, conhecimentos, comportamentos, mentalidades, práticas, entre outros”. (CELLARD, 2008).

Sendo assim quanto a coleta e análise de dados este artigo pode ser classificado como uma análise documental. A pesquisa foi conduzida por meio de observações sistemáticas, analisando documentos como artigos, livros e normas, os quais representam o principal embasamento. Essas fontes forneceram os dados essenciais para a análise da norma ABNT NBR 6123:1988 - Forças devidas ao vento em edificações que regulamenta os parâmetros de cálculo das forças do vento e seus efeitos nas estruturas.

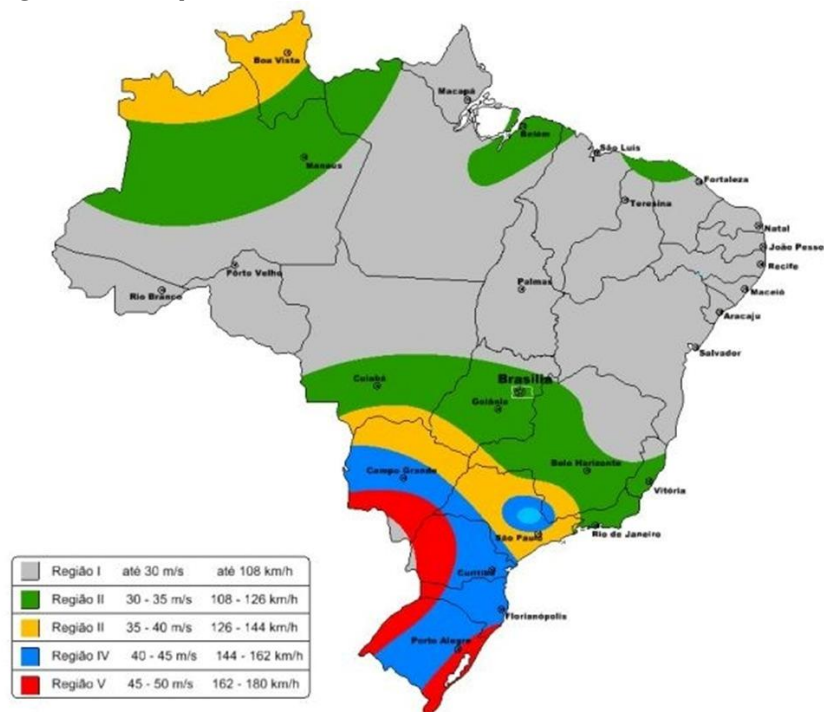
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

O projeto de pequenos edifícios resistentes ao vento demanda considerações abrangentes, conforme estabelecido pela norma ABNT NBR 6123:1988 – Forças devidas ao vento em edificações. Aspectos como altura, forma, localização e materiais são cruciais. A escolha cuidadosa de materiais, considerando

resistência, rigidez e durabilidade, é essencial, com opções como concreto armado, aço e madeira sendo adequadas para diferentes contextos. O design do telhado e das paredes também desempenha um papel vital na resistência ao vento. Métodos de cálculo, como o do coeficiente de pressão, o analítico e o teste de túnel de vento, são fundamentais para determinar as cargas de vento. A incorporação de sistemas de contraventamento é recomendada para reforçar a estabilidade estrutural. Contudo, desafios como restrições de espaço, equilíbrio entre estética e resistência, e limitações orçamentais exigem uma abordagem multidisciplinar para o projeto de sucesso.

Os resultados da análise da carga do vento em edifícios de pequeno porte, conforme as diretrizes da ABNT NBR 6123:1988 – Forças devidas ao vento em edificações, revelam a importância de considerar diversos fatores, como a velocidade básica do vento, rugosidade do terreno, topografia e dimensões da edificação. Como por exemplo na figura 3 - Isopleta de Velocidade básica do vento, apresentada na norma fornecem dados essenciais para os cálculos de velocidade do vento .

Figura 3- Isopleta de Velocidade básica do vento



Fonte: (Linkedin- Engenheiro Luiz Guilherme Zacchi)

A interpretação desses resultados destaca a relevância da rugosidade do terreno,

onde diferentes categorias, como superfícies lisas ou áreas industriais, influenciam na correção da velocidade básica. Além disso, o fator topográfico considera taludes, morros e vales profundos, impactando diretamente na determinação das forças do vento.

No que diz respeito à resistência dos edifícios de pequeno porte ao vento, a escolha de materiais é crucial. Abordando a resistência, rigidez, ductilidade e durabilidade dos materiais, mencionando exemplos como concreto armado, aço e madeira. Destaca-se a necessidade de considerar a localização do edifício e as condições climáticas locais na seleção dos materiais.

Os desafios de equilibrar estética e resistência ao vento são evidenciados, especialmente em edifícios de pequeno porte com orçamentos limitados. A discussão ressalta a importância de soluções econômicas, como o uso de materiais alternativos, para garantir a resistência necessária sem comprometer as restrições financeiras.

Em relação ao coeficiente de arrasto e também aos métodos de cálculo da carga de vento, foi abordado o Método do Coeficiente de Pressão, o Método Analítico da Carga do Vento e o Teste do Túnel de Vento.

De acordo com a figura 4 e figura 5 abaixo, temos um exemplo de como pode ser calculado os coeficientes de arrasto de um edifício a partir de um software estrutural, baseado na ABNT NBR 6123:1988 – Forças devidas ao vento em edificações, para cada ângulo de incidência do vento.

Figura 4 – Entrada de dados de vento – manual (a) e por tabelas de túnel de vento (b)

Dados do edifício: Projeto EXEMPLO CONCRETO ARMADO - 0001

Gerais | Modelo | Pavimentos | Materiais | Cobrimentos | Cargas | Critérios | Gerenciamento |

Verticais | Vento | Adicionais | Adicionais-2 | Combinações |

V0 - Velocidade básica	35 m/s
S1 - Fator do terreno	1,00
S2 - Categoria de rugosidade	IV
S2 - Classe da edificação	A
S3 - Fator estatístico	1,00

Cota inicial para aplicação de vento

Inserir [] Apagar [] Calcular CAs []

☐ Excentricidade em todos os casos 15,0 %

☐ Casos de vento nas plantas de formas

Tabelas de excentricidades e forças impostas

[] Excentricidades do caso selecionado

[] Ler tabelas de túnel de vento - planilha SDF

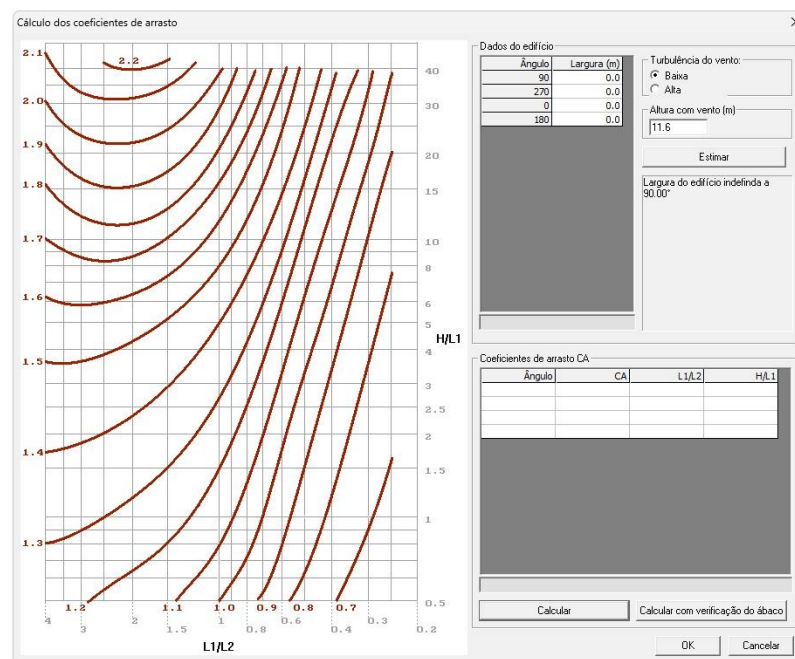
[] Ler tabelas de túnel de vento - FTV XML

Avançado...

Forneca as variáveis para cálculo de vento conforme a norma ou especifique valores especiais ou de ensaio no item "Excentricidades".

Fonte: (Extraído do TQS)

Figura 5 – Caracterização dos coeficientes de arrasto a partir da norma



Fonte: (Extraído do TQS)

Outro ponto importante para cálculo da força do vento, são as pressões que afetam as edificações. Os coeficiente de pressão são dados pelas pressões internas e externas e são utilizados para cálculo na seguinte equação:

$$\Delta p = \Delta p_e - \Delta p_i$$

Onde:

Δp_e – pressão efetiva externa

Δp_i – pressão efetiva interna

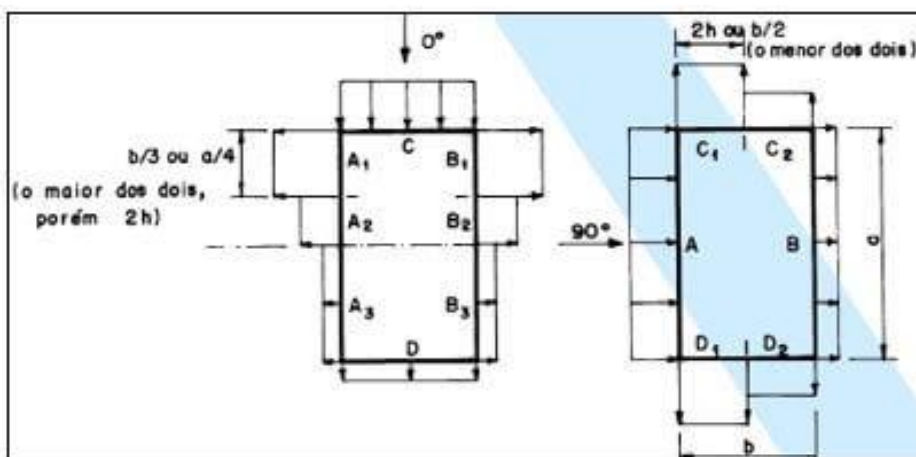
Os coeficientes de pressão e forma são derivados conforme estabelecido na norma, sendo influenciados principalmente pela tipologia, configuração e altura do edifício. O capítulo 6 da ABNT NBR 6123:1988 – Forças devidas ao vento em edificações, dedica-se exclusivamente à definição desses coeficientes. Além disso, as tabelas 1 e 2 disponibilizam os valores correspondentes aos coeficientes de pressão e forma externos para edificações retangulares, conforme ilustrado nas imagens fornecidas.

Figura 1 - Tabela com coeficientes de pressão e forma para edificações retangulares.

Tabela 4 - Coeficientes de pressão e de forma, externos, para paredes de edificações de planta retangular									
Altura relativa		Valores de C_{pe} para							
		$\alpha = 0^\circ$				$\alpha = 90^\circ$			
		$A_1 \neq B_1$	$A_2 \neq B_2$	C	D	A	B	$C_1 \neq D_1$	$C_2 \neq D_2$
 $0,2 \leq b \leq h$ (o menor dos dois) $\frac{h}{b} \leq \frac{1}{2}$	$1 \leq \frac{a}{b} \leq \frac{3}{2}$	-0,8	-0,5	+0,7	-0,4	+0,7	-0,4	-0,8	-0,4
	$2 \leq \frac{a}{b} \leq 4$	-0,8	-0,4	+0,7	-0,3	+0,7	-0,5	-0,9	-0,5
 $\frac{1}{2} \leq \frac{h}{b} \leq \frac{3}{2}$	$1 \leq \frac{a}{b} \leq \frac{3}{2}$	-0,9	-0,5	+0,7	-0,5	+0,7	-0,5	-0,9	-0,5
	$2 \leq \frac{a}{b} \leq 4$	-0,9	-0,4	+0,7	-0,3	+0,7	-0,5	-0,9	-0,5
 $\frac{3}{2} \leq \frac{h}{b} \leq 3$	$1 \leq \frac{a}{b} \leq \frac{3}{2}$	-1,0	-0,6	+0,8	-0,6	+0,8	-0,6	-1,0	-0,6
	$2 \leq \frac{a}{b} \leq 4$	-1,0	-0,5	+0,8	-0,3	+0,8	-0,6	-1,0	-0,6

Fonte: (ABNT NBR 6123:1988 – Forças devidas ao vento em edificações)

Figura 2 - Distribuição da pressão do vento no corpo de formato retangular.



Fonte: (ABNT NBR 6123:1988 – Forças devidas ao vento em edificações)

Para projetar as pressões do vento em uma estrutura, são necessários vários dados de um edifício como localização, ocupação, terreno e dimensões. Embora vários softwares possuem o cálculo de vento integrados em seu sistema, é necessário que os profissionais façam cálculos manuais deste procedimento para verificação e validação dos dados obtidos no software.

Portanto, este estudo contribui para o entendimento dos desafios que são as restrições espaciais, estruturais, estéticas e orçamentais. As considerações essenciais no projeto de edifícios de pequeno porte resistentes ao vento se dão devido a análise detalhada da carga do vento sendo crucial para garantir a segurança e estabilidade de edifícios pequenos. Fatores como forma, altura, localização e materiais utilizados desempenham papéis essenciais no impacto do vento nas estruturas. A seleção cuidadosa de materiais, considerando resistência, rigidez e durabilidade, é vital para enfrentar as cargas do vento. A base sólida para pesquisas futuras e práticas de engenharia seriam a exploração contínua na otimização de sistemas estruturais para maximizar a resistência ao vento, minimizando custos e uso de materiais e também investigações sobre o impacto de novos materiais e tecnologias na resistência ao vento de edifícios pequenos.

5. CONCLUSÕES

Diante da análise aprofundada sobre a influência do vento em edifícios de pequeno porte, é possível destacar conclusões relevantes para o entendimento e abordagem prática desse fenômeno. As forças do vento, que consistem nas pressões e tensões exercidas pelo vento sobre uma estrutura, pode ocasionar danos em componentes como telhado, paredes e janelas. Os efeitos abordados variam de acordo com fatores como tamanho, forma, localização e altura do edifício, bem como o terreno circundante. Os métodos de cálculo, como o Método do Coeficiente de Pressão, o Método Analítico da Carga do Vento e o Teste do Túnel de Vento, oferecem abordagens distintas, cada uma com suas vantagens e limitações. A escolha entre esses métodos deve considerar as características específicas da edificação e o nível de precisão exigido para o projeto.

Observou-se que a resistência ao vento em edifícios de pequeno porte é uma preocupação fundamental, especialmente diante da tendência de verticalização das cidades e da crescente complexidade arquitetônica. A incorporação de sistemas de contraventamento é essencial para proporcionar estabilidade à edificação, distribuindo as cargas laterais para a fundação e minimizando riscos estruturais. No entanto, a limitação de espaço em edifícios menores demanda abordagens criativas, como contraventamento diagonal e amarrações de tensão.

A relação entre resistência ao vento e estética revela um desafio significativo, uma vez que a busca por designs visualmente atraentes pode comprometer a capacidade do edifício de suportar cargas do vento. Encontrar um equilíbrio entre esses elementos requer uma compreensão profunda das cargas do vento e suas interações com materiais e estruturas de construção.

Outro ponto de destaque é a consideração das restrições de custos e orçamentais. Edifícios pequenos frequentemente enfrentam limitações financeiras, o que pode impactar na escolha de materiais e sistemas estruturais. Encontrar soluções econômicas que equilibrem a resistência do vento com restrições orçamentais é crucial para garantir a segurança da edificação.

Conclui-se, portanto, que o projeto de edifícios de pequeno porte resistentes

ao vento demanda uma abordagem multidisciplinar que leve em consideração não apenas aspectos estruturais, mas também questões espaciais, estéticas e orçamentais. A implementação de práticas e métodos eficazes, aliada à inovação e criatividade, é essencial para garantir edificações seguras e duráveis em face das cargas do vento. Essas conclusões não apenas sintetizam os principais pontos discutidos, mas também apontam para a importância contínua da pesquisa e desenvolvimento nesse campo, visando aprimorar as práticas de projeto e construção de edifícios pequenos.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMORIM, Mariana Mendes. **Análise da influência do vento em edificações de pequeno porte**. 2017. Trabalho de Conclusão de Curso.

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

BLESSMANN, Joaquim. **Introdução ao estudo das ações dinâmicas do vento**. 2ª edição—Porto Alegre: Editora da UFRGS, 2005.

BLESSMANN, Joaquim. **O vento na engenharia estrutural**. Porto Alegre: Ed.Universidade/UFRGS, 1995.

CELLARD, A. A análise documental. In: POUPART, J. et al. **A pesquisa qualitativa: enfoques epistemológicos e metodológicos**. Petrópolis, Vozes, 2008

DA FONSECA, Beatris Souza et al. Influência da ação do vento em edificações de pequeno porte. **Anais do fórum de iniciação científica do UNIFUNEC**, v. 9, n. 9, 2018.

DALFOVO, Michael Samir; LANA, Rogério Adilson; SILVEIRA, Amélia. Métodos quantitativos e qualitativos: um resgate teórico. **Revista interdisciplinar científica aplicada**, v. 2, n. 3, p. 1-13, 2008.

DAL PRÁ, Felipe. **Ação do vento e do desaprumo: estudo de caso em uma edificação**. 2022.

GIL, A. C. **Métodos e técnicas de pesquisa social**. 6. ed. São Paulo: Atlas, 2008.

GIL, A. C. **Métodos e técnicas de pesquisa social**. 7. ed. Rio de Janeiro: Atlas, 2019.

KRZISCH, Helmut Martinez et al. **Influência do vento no consumo de aço empilares de um edifício de concreto armado**. 2021.

LOREDO-SOUZA, Acir Mércio et al. Modelagem de edifícios altos em túnel

de vento. **Concreto e Construções**, v. 99, p. 48-63, 2020.

MONTEIRO, Ana Clara Silva. Uma análise dos fatores aerodinâmicos e da causas estruturais nos acidentes causados pelo vento em edificações. 2022

PRODANOV, C. C.; FREITAS, E. C. **Metodologia do trabalho científico: métodos e técnicas da pesquisa e do trabalho acadêmico.** Novo Hamburgo, RS: Feevale, 2013.

SAMPIERI, R. H.; COLLADO, C. F.; LUCIO, M. P. B. **Metodologia da pesquisa.** 5.ed. Porto Alegre: Penso, 2013.

SILVA, Flávio Roberto. **Estudo da influência do vento em edifícios de concreto armado.** 2015. Trabalho de Conclusão de Curso.

SILVEIRA, C. R. Metodologia da Pesquisa. **Revista Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia**, Santa Catarina. 2011.

SILVEIRA, Micael de Moura. **Simulação numérica de ventos em edificações: uma análise de risco.** 2022.