

SOFTWARE PARA ANÁLISE E DIMENSIONAMENTO DA AÇÃO DO VENTO EM EDIFICAÇÕES COM TELHADOS TIPO DUAS ÁGUAS

Gustavo Mendonça Arcemide¹
Leonardo dos Santos Neves²
Vinicius Slompo Pinto³

RESUMO

Esforços de pressão atuam sobre todas as edificações decorrentes da ação do vento. Mediante a essas cargas atuantes, o principal objetivo deste trabalho foi o desenvolvimento de um *software* capaz de analisar o carregamento de vento nas edificações e dimensionar para telhados tipo duas águas. Através dos recursos técnicos dispostos pela ABNT NBR 6123:1988 e utilizando as linguagens de programação *Delphi* e *PostgreSQL* foi elaborado um *software* que apresenta os coeficientes de pressões exercidos nas edificações. Foi obtido, através da análise de três cenários distintos, a magnitude de esforços gerados pelo vento de acordo com a variação dos parâmetros dimensionais da edificação e seu entorno, mostrando a criticidade de cada parte da estrutura quanto às cargas de vento. Conclui-se, por meio de gráficos delimitados, quais modelos de edificações carecem de mais prioridade quanto a quantificação das cargas do vento e quais modelos são menos suscetíveis a essas pressões.

Palavras-chave: Vento. Dimensionamento. *Software*.

1 INTRODUÇÃO

O vento é definido como o curso das massas de ar presentes na atmosfera, que podem alterar seu movimento em função de diferentes pressões e temperaturas. As ações que o vento aplica nas edificações devem ser adequadamente quantificadas em função da estabilidade da estrutura (PITTA, 2013).

O vento aplica cargas laterais em todas as estruturas e é responsável por eventos desastrosos como, por exemplo, colapsos causados por tornados ou furacões. Portanto, o cálculo do vento nas edificações deve ser determinado

¹ Graduando em Engenharia Civil no Centro Universitário UNIFAFIBE de Bebedouro, SP. E-mail: gustavomendonca2009@hotmail.com.

² Graduando em Engenharia Civil no Centro Universitário UNIFAFIBE de Bebedouro, SP. E-mail: leo.neves2299@gmail.com.

³ Professor Mestre no Centro Universitário UNIFAFIBE de Bebedouro, SP. E-mail: vinicius.slompo.p@gmail.com.

adequadamente, tornando-se uma das principais ações a ser definida em um projeto estrutural (FERREIRA, 2013; NASCIMENTO *et. al.*, 2016).

Para o cálculo da ação do vento nas edificações, além do comportamento do vento propriamente dito, é necessário considerar fatores aerodinâmicos oriundos das características do terreno e formato da estrutura, uma vez que são aspectos capazes de alterar o movimento dessa ação (GONÇALVES *et. al.*, 2007).

No Brasil, as avaliações realizadas em estruturas submetidas às ações do vento são orientadas e padronizadas através da norma ABNT NBR 6123:1988 – Forças devidas ao vento em edificações, que oferece condições para que o engenheiro trabalhe com as especificações solicitadas em cada modelo de edificação.

O presente trabalho tem como objetivo o desenvolvimento de um *software* capaz de dimensionar e analisar a ação do vento nas edificações, padronizado pela norma ABNT NBR 6123:1988.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

O comportamento do vento é estudado conforme seus aspectos naturais e sua interação com as estruturas. Os tópicos a seguir tratam sobre as principais considerações a respeito do vento.

2.1 DEFINIÇÃO DE VENTO

O vento tem como sua origem as diferentes pressões atmosféricas, que são originadas a partir do aquecimento das massas de ar. Porém, para que aconteça a movimentação dessas massas, é necessário estabelecer uma diferença de pressões entre duas regiões, onde ocorre o deslocamento de ar das regiões de alta pressão para as regiões de baixa pressão (BLESSMANN, 1995 *apud* BERNARDES, 2013).

A sensibilidade de cada pessoa à natureza possibilita a compreensão do quanto o vento pode afetar objetos, pessoas e também as edificações. Em projetos estruturais, os ventos mais fortes são interesse do engenheiro, já que são os responsáveis por vários eventos danosos à edifícios. Nessas situações é comum ocorrer ruínas parciais ou totais das estruturas em virtude da ação do vento (GONÇALVES *et al.*, 2007).

A viscosidade é a capacidade de resistência que o fluido apresenta ao escoamento. Essa propriedade analisa o comportamento dos fluidos em contato com

as superfícies que se deparam, portanto, ela é responsável por controlar a velocidade de deformação dos fluídos. Para facilitar o tratamento teórico nessa análise, é adotado o conceito do fluido (BLESSMANN, 1990a apud BERNARDES, 2013).

Brunetti (2008) define fluido ideal como um fluido com viscosidade nula, que escoar sem perdas de energia por atrito. Sabe-se que nenhum fluido apresenta esta propriedade, porém, para efeito de cálculo, admitir essa possibilidade torna o estudo teórico mais prático e os resultados experimentais são próximos dos resultados que utilizam essa consideração.

Blessmann (1995) *apud* Almeida e Vidoto (2013) estabelece que a determinação da velocidade média do vento é realizada para intervalos de tempo de 10 minutos a 1 hora, indicando flutuações geradas instantaneamente que são conhecidas por rajadas ou turbulências. Ressalta-se ainda que é necessário obter a velocidade média, já que os anemômetros (aparelhos capazes de medir a velocidade dos ventos) não realizam a captação instantaneamente.

2.2 O VENTO NAS EDIFICAÇÕES

No cenário da Engenharia Civil, fatores naturais podem afetar consideravelmente as estruturas projetadas, como as intensidades elevadas dos ventos que podem causar tornados e furacões. Esses fenômenos são capazes de destruir variadas edificações em um curto período de tempo. Porém, a determinação da ação do vento não deve ser desconsiderada, mesmo em regiões menos vulneráveis a pressões elevadas dessa ação, pois o vento está constantemente aplicando cargas horizontais sobre qualquer tipo de estrutura, deformando-as de forma visível ou não (NASCIMENTO *et al*, 2016).

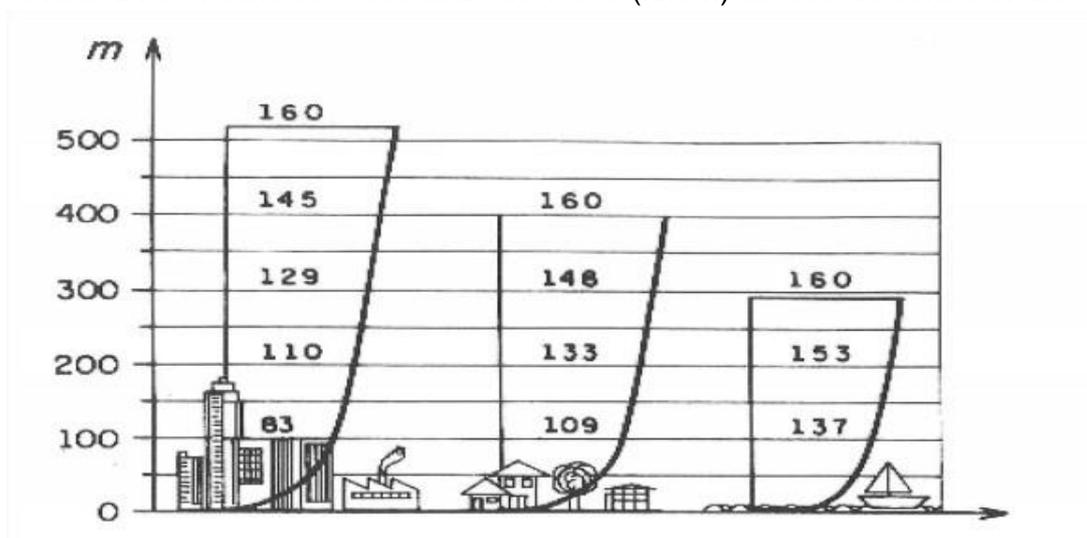
A extensão dos danos que o vento pode causar nas edificações dependem de sua velocidade, rigidez e forma da estrutura, características do terreno e a influência das estruturas adjacentes. O atrito entre a superfície do terreno e o vento é um fator que pode alterar consideravelmente a velocidade do vento (GILBERT; UANG; LEET, 2009).

Bênia (2013) destaca que a presença de edifícios vizinhos é uma importante consideração no estudo da ação do vento nas edificações, já que, considerando fatores aerodinâmicos, o movimento das massas de ar pode ser alterado sobre um

edifício devido sua proximidade com outro. A pressão gerada pelo vento pode ser drasticamente aumentada ou diminuída em razão dessa aproximação, podendo até mesmo, um edifício servir de bloqueio a outro, dependendo de suas posições.

Em função dessa consideração, Davenport (1963) propõe o conceito de velocidade gradiente, que ilustra a influência da altura nas propriedades do vento, de forma que, acima de determinadas alturas, não haverá alterações significativas na velocidade do vento. Destaca-se que até essas alturas seu comportamento é influenciado pelas formas e saliências dos obstáculos do terreno, ou seja, a rugosidade superficial, de acordo com a altitude local (Figura 1).

FIGURA 1 - Perfis de velocidade do vento (km/ h) de acordo com a altura



Fonte: Gonçalves *et al* (2007, p.12)

Os variados efeitos que o vento pode causar depende não unicamente das características dessa ação e de sua intensidade, mas também das condições do objeto no qual são exercidas pressões. Da mesma maneira, as construções que apresentam alguma irregularidade não necessitam de tempestades ou furacões para culminarem a um colapso, pois elas são mais suscetíveis a sofrerem danos consideráveis com ventos de baixas intensidades (BLESSMANN, 2000 *apud* GONÇALVES *et al*, 2007).

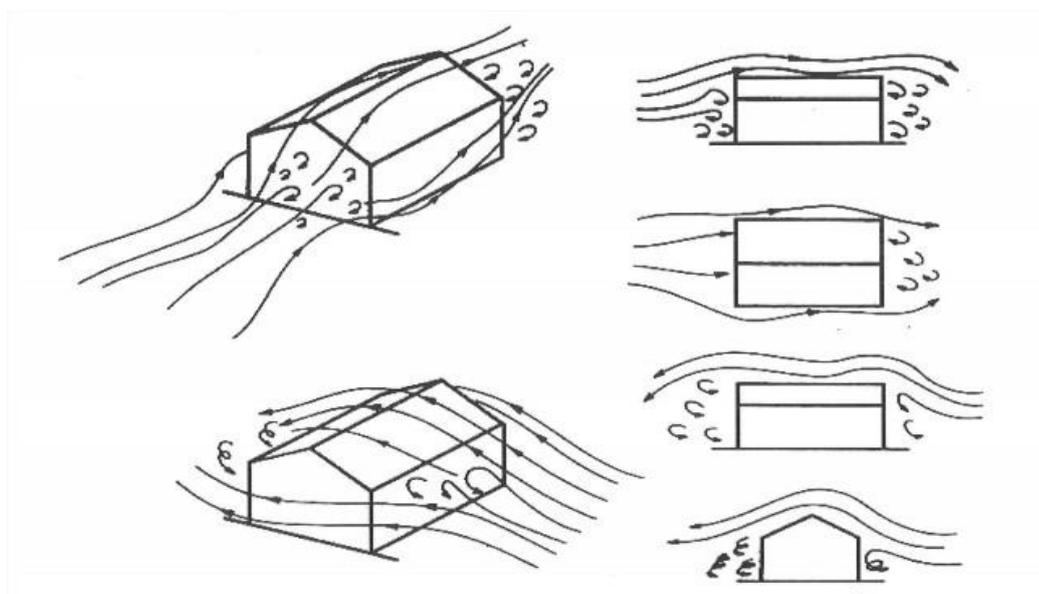
As rajadas apresentam velocidade superior à média das massas ambientes, e apesar das curtas durações, possuem intensidade para atingir todo o entorno das edificações. Quanto mais curta for a duração das rajadas, mais intensa ela se torna, portanto elas devem ser consideradas para a quantificação das pressões laterais

formadas pela ação do vento, sejam em construções de grande ou pequeno porte (PITTA, 2013).

As pressões geradas pelo vento não são distribuídas uniformemente sobre as superfícies, já que essa ação aplica efeitos variados de acordo com sua intensidade, forma e posição das estruturas. Em razão disso, algumas seções da edificação podem sofrer mais do que outras, os efeitos gerados pelo movimento do vento (MENDIS *et al*, 2007).

O vento age nas edificações de acordo com o seu escoamento, como demonstrado na Figura 2, em que Gonçalves *et al*. (2007) demonstra a alteração da trajetória do vento devido as formas e obstáculos decorrentes. É possível visualizar em uma cobertura tipo duas águas, por exemplo, as linhas que traçam essa trajetória. Esse conceito é denominado linhas de fluxo.

FIGURA 2 - Linhas de fluxo em cobertura tipo duas águas

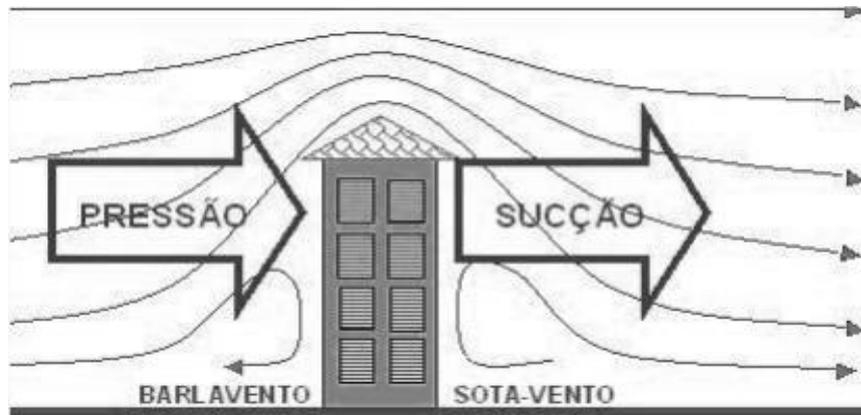


Fonte: Gonçalves *et al* (2007, p.14)

As propriedades do vento estão associadas aos fluidos em geral, porém possuem suas próprias características de comportamento, adotando-se algumas definições. Citam-se como exemplos as definições de barlavento que se trata da região em que o vento atua em relação à edificação e sota-vento que se trata da região oposta ao sentido que o vento atua (FERREIRA, 2013).

A Figura 3 demonstra as regiões de barlavento e sota-vento em relação à edificação.

FIGURA 3 - Regiões de barlavento e sota-vento nas edificações

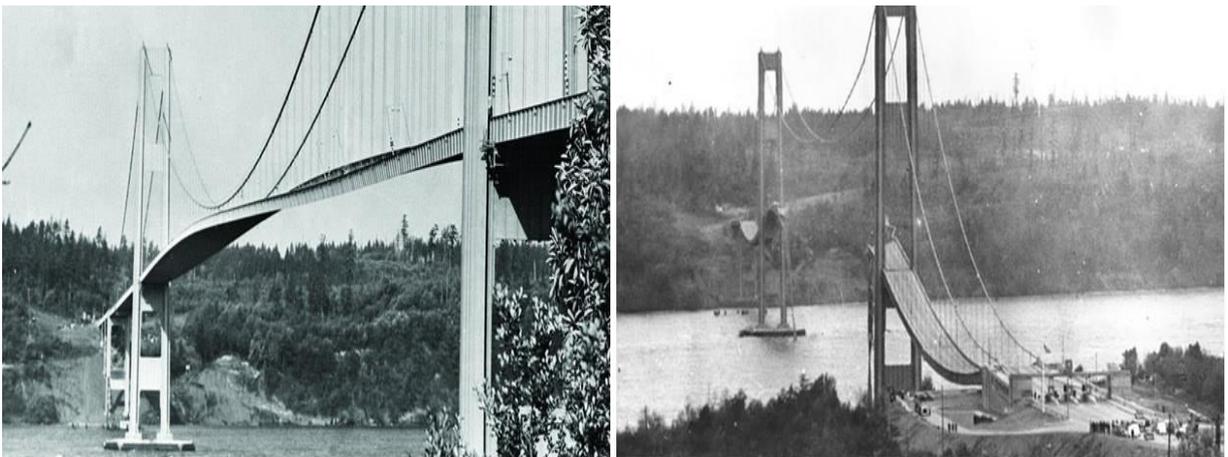


Fonte: Ferreira (2013, p.25)

2.3 ACIDENTES CAUSADOS PELO VENTO

Um exemplo conhecido de acidente causado pela ação do vento é o colapso da Ponte *Tacoma Narrows*, que foi inaugurada em julho de 1940, localizada sobre o Estreito de Tacoma, Washington, EUA. Rajadas de ventos de aproximadamente 70 km/h atingiram a ponte, promovendo oscilações que a levaram à ruína em novembro do mesmo ano (FERREIRA, 2013).

FIGURA 4 – Queda da ponte Tacoma Narrows



Fonte: Ammann, Kármán e Woodruff (1941, p. 6-15)

A grande maioria das edificações que sofrem danos nesse cenário são construções mal executadas, que foram desenvolvidas de maneira inadequada, sem contraventamentos, mal ancoradas, com paredes e telhados mal construídos, fundações mal dimensionadas ou mesmo utilizando concreto de má qualidade. Uma

estrutura bem dimensionada, padronizada rigidamente pelas normas referentes a ação do vento, não deve ser afetada por ventos de baixa intensidade, somente sendo passível a danos mediante a altas pressões (GONÇALVES *et al*, 2007).

O desprendimento de telhados de edifícios é um evento comum após fortes rajadas de vento ou tempestades. Devido à alta velocidade do vento, ocorre uma diminuição de pressão entre o telhado e a estrutura, dilatando e levantando-se as telhas, principalmente nos casos de irregularidades, em que estas foram fixas incorretamente (GILBERT; UANG; LEET, 2009).

Em edificações altas e esbeltas como prédios, coberturas, pontes e galpões altos, o cálculo da ação do vento se torna a etapa mais significativa do projeto, já que as pressões que atuam em sua longa altura pode ser o principal causador de colapsos e instabilidades estruturais (TAKANO, 2019).

Uma forma de amenizar os efeitos que o vento pode causar nas estruturas é o emprego de novas formas estruturais e arquitetônicas em projetos, que são elaboradas com geometria aerodinâmica favoráveis, materiais de alta resistência e baixo atrito. Além disso, menciona-se que essas novas tecnologias devem ser utilizadas em conjunto com as quantificações exatas, para que assim seja possível o controle do efeito do vento sobre edificações (CARNEIRO; MARTINS, 2008).

2.4 CONSIDERAÇÃO DO VENTO EM PROJETO

As ações que o vento aplica nas edificações são responsáveis por gerar tensões, deformações e vibrações que podem trazer desconforto, além de comprometer a segurança dos indivíduos. A consideração de cargas de vento nos projetos estruturais diminui a taxa de acidentes e instabilidades, além de prolongar a vida útil da edificação (NASCIMENTO, 2007).

Edificações altas que ocupam pequenas áreas do terreno são cada vez mais empregadas, e devido às suas características, carecem de dimensionamentos de coeficientes precisos de segurança. Sendo assim é necessário investigar o comportamento do vento atuante de cada região, analisando sua intensidade, duração média de rajadas e velocidade (FERREIRA, 2005).

Para Ferreira (2013), as edificações apresentam procedimentos e prescrições individuais, portanto, as opções que a norma oferece ao engenheiro estão ligadas às formas e frequências que a ação do vento causa sobre a edificação em análise. As

orientações da ABNT NBR 6123:1988 consideram somente a variação da intensidade e direção de ação de efeitos estáticos, produzindo uma velocidade média do vento, necessária para a quantificação das pressões geradas.

A realização do cálculo das velocidades máximas do vento é feito observando a velocidade de uma rajada de 3 segundos, excedida em média uma vez em 50 anos, a 10 metros acima do terreno, em campo aberto e plano é a partir dessa análise que se obtém informações sobre a velocidade de vários locais e os fatores estáticos empregados (GONÇALVES *et al*, 2007).

É de interesse ao engenheiro estrutural características meteorológicas e aerodinâmicas do local da ocupação. Gonçalves *et al* (2007) determina que a velocidade a ser empregada considera os seguintes fatores estáticos:

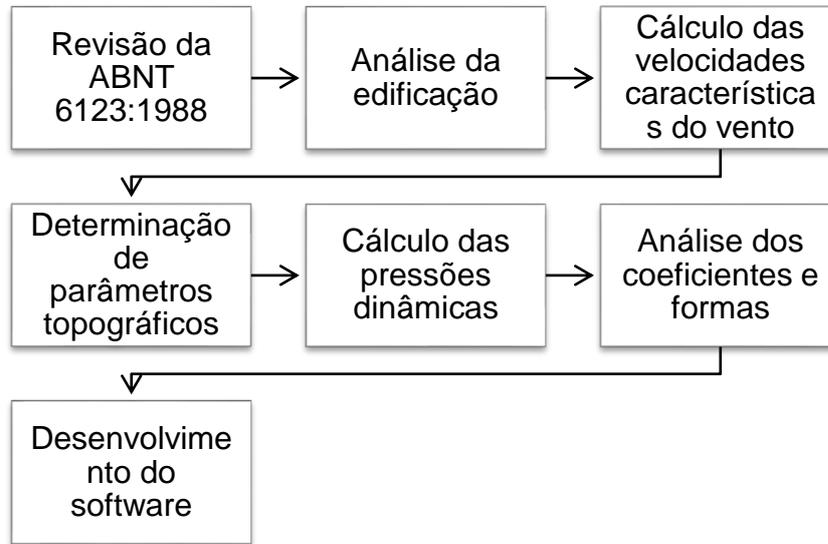
- Rugosidade do terreno (obstáculos interferem na passagem do vento);
- Tipo do terreno (plano, morro, etc.);
- Altura da edificação;
- Local do projeto;
- Tipo da ocupação.

A partir dessas considerações é possível determinar os coeficientes de velocidades do vento, considerando também as peculiaridades de cada projeto. Logo, nota-se que a norma não cobre configurações para todos os tipos de edificações, então o projetista deve recorrer à ensaios específicos e principalmente, o bom senso (PITTA, 2013).

3 METODOLOGIA

Neste tópico são explicitados os procedimentos realizados para a determinação da ação do vento nas edificações, segundo a Norma Técnica ABNT NBR 6123:1988. O fluxograma a seguir apresenta o desenvolvimento e análises requisitadas pelo dimensionamento.

FIGURA 5 - Fluxograma das etapas de desenvolvimento



Fonte: Autoria própria

O presente trabalho, além das apresentações teóricas sobre a ação do vento nas edificações, também se dispôs de uma metodologia quantitativa mediante à padronização da norma técnica utilizada para posteriormente realizar o desenvolvimento do *software* proposto.

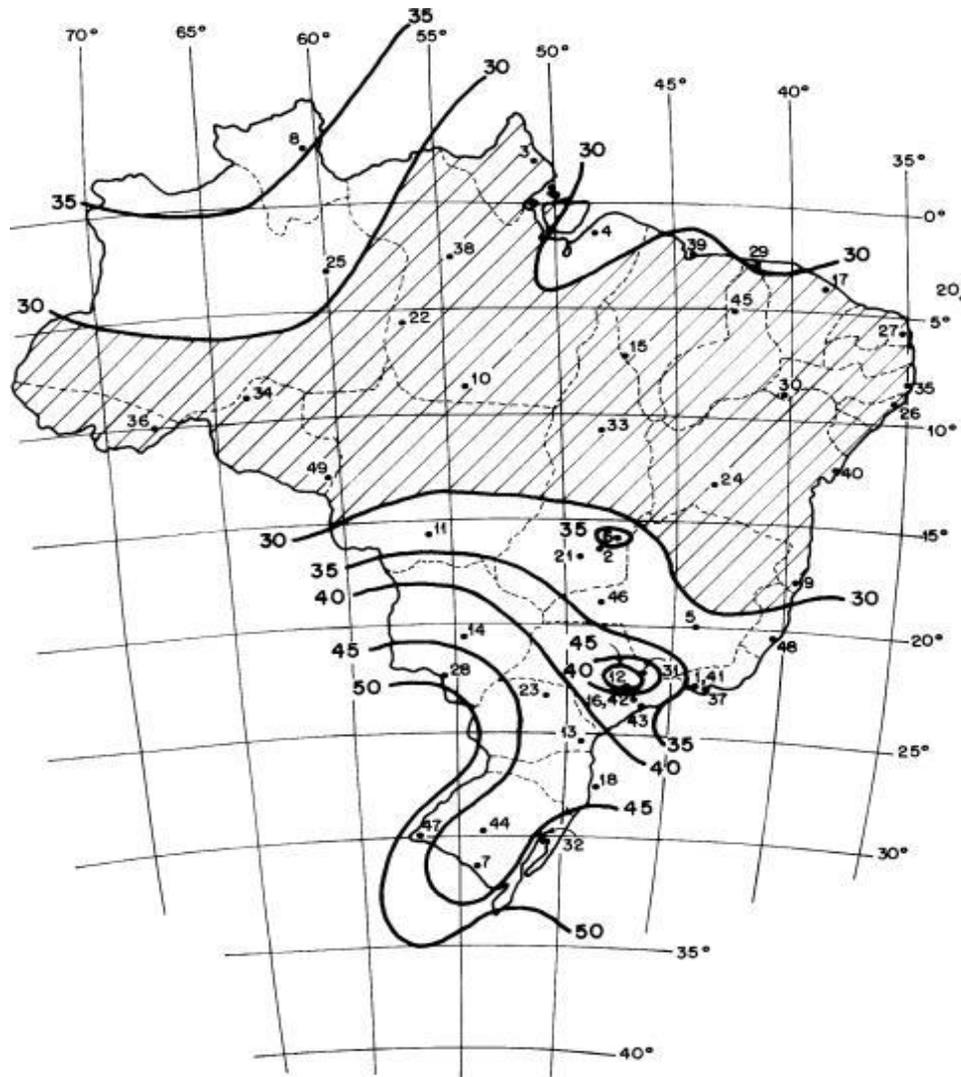
3.1 DETERMINAÇÃO DA VELOCIDADE DO VENTO

A ABNT NBR 6123:1988 determina que a força que o vento aplica nas estruturas podem afetar mais algumas áreas da edificação do que outras. Devido a isso, a força do vento deve ser calculada separadamente para as paredes, telhados e para os elementos de vedação e suas fixações (telhas, vidros, esquadrias, etc.) após a realização de todos os cálculos se faz uma análise como um todo da estrutura e seus esforços.

O primeiro passo que a norma sugere é o determinar as velocidades básicas do vento e em seguida os fatores S_1 , S_2 e S_3 , variantes que têm seu valor de acordo com as considerações da topografia local, rugosidade do terreno e conceitos estatísticos da edificação. A fórmula (1) demonstra esse equacionamento:

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

FIGURA 6 - Isopletas de velocidades básicas do vento (m/s)



Fonte: ABNT (1988, p.6)

A determinação da velocidade básica V_0 está diretamente ligada às condições naturais do vento atuante em cada região. A norma ABNT NBR 6123:1988 coloca à disposição valores de velocidades básicas, na região brasileira, em formas de “Isopletas”, conforme demonstra a Figura 6.

3.2 AÇÃO ESTÁTICA DO VENTO NAS EDIFICAÇÕES

Deve-se calcular a pressão de obstrução, sendo um parâmetro “q”, calculado em função da massa específica do ar e a velocidade característica obtida anteriormente. Esse parâmetro define o Ponto de Estagnação, no qual a velocidade

do fluido é nula e só existe pressão estática, sendo que a pressão estática esta perpendicular à superfície da estrutura, portanto, o coeficiente de pressão (C_p) é determinado pela diferença do coeficiente de pressão externa (C_{pe}) e o coeficiente de pressão interna (C_{pi}).

A partir disso a força resultante é determinada pelo produto entre o coeficiente de pressão (C_p - soma vetorial de C_{pe} e C_{pi}), a pressão de obstrução (q) e a área da superfície estudada (A), como demonstra a fórmula (2):

$$F = C_p \cdot q \cdot A \quad (2)$$

3.2.1 Força de arrasto e coeficientes de arrasto

O dimensionamento das ações do vento com características globais é realizado em função da força de arrasto, que é a componente da força global na direção do vento. É fundamental para o Engenheiro de estruturas, pois permite determinar ações que são aplicadas em toda estrutura e é obtida pela seguinte equação:

$$F_a = C_a \cdot q \cdot A \quad (3)$$

Onde:

F_a = Força de arrasto;

C_a = Coeficiente de arrasto;

q = Pressão de obstrução;

A = Área da superfície de referência para cada caso.

A ABNT NBR 6123:1988 recomenda diversos valores de coeficiente de arrasto (C_a) por meio de gráficos e tabelas, devendo-se observar o tipo de estrutura que está sendo projetada e considerar principalmente as condições de turbulência ou não turbulência do vento que incide sobre a edificação.

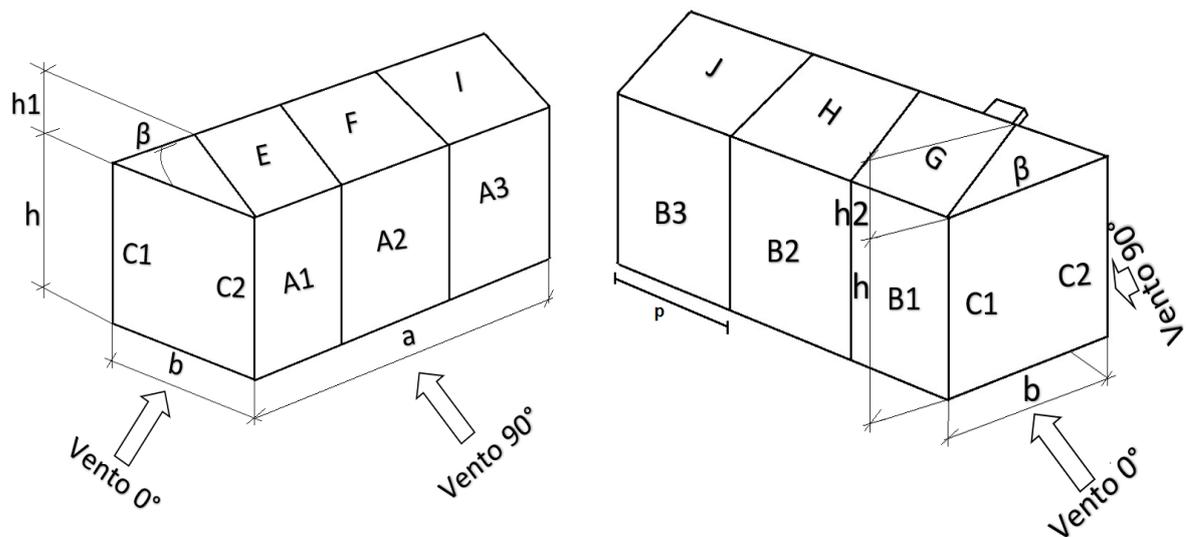
3.3 DESENVOLVIMENTO DO SOFTWARE

Padronizado pelos conceitos recomendados pela norma técnica ABNT NBR 6123:1988, o presente trabalho utilizou das plataformas *Delphi 10* e *PostgreSQL* para elaborar um *software* que oferece a proposta de realizar as equações apresentadas,

e por fim dimensionar e analisar a força do vento nas estruturas, limitando-se a edificações com telhado tipo duas águas.

Para a obtenção dos valores dos esforços de pressão, o *software* dispõe-se de etapas em que o usuário insere diretamente as dimensões da estrutura que está sendo dimensionada, conforme exemplifica a Figura 7.

FIGURA 7 - Dimensões da edificação



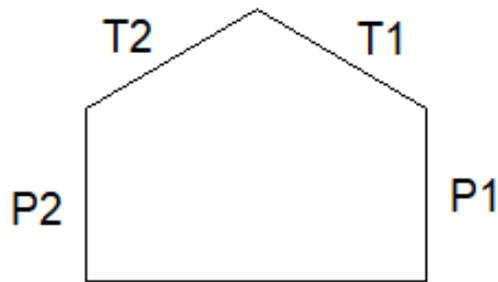
Fonte: Autoria própria

Sendo:

- a = Maior dimensão da edificação;
- a1 = Dimensão da face A1 e B1 da edificação;
- a2 = Dimensão da face A2 e B3 da edificação
- b = Menor dimensão da edificação;
- h = Altura até o beiral da edificação;
- h1 = Altura da cobertura;
- β = Ângulo de inclinação da cobertura;
- p = Distância entre pórticos;

Os esforços finais podem ser visualizados diretamente nas faces onde o vento atua. Essas faces são as paredes (P1 e P2) e os telhados (T1 e T2), conforme ilustra a Figura 8.

FIGURA 8 - Representação das faces

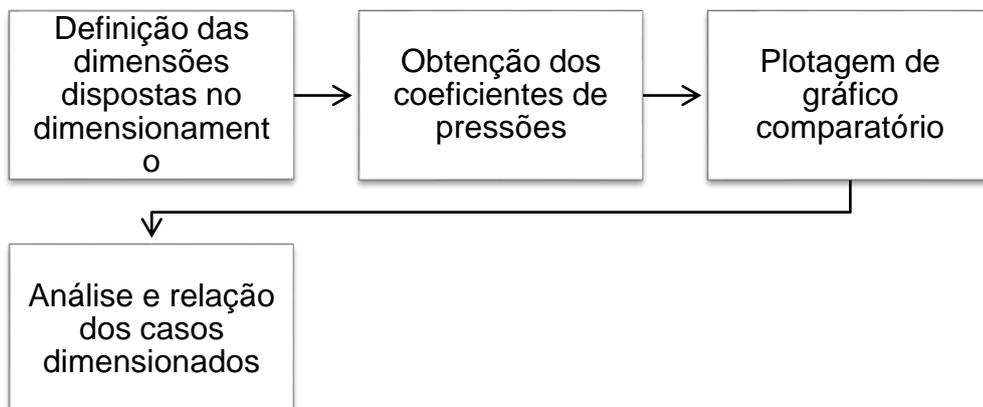


Fonte: Autoria própria

3.4 APLICAÇÃO DE ESTUDO EM CASO FICTÍCIO

Utilizou-se o *software* elaborado a fim de dimensionar os esforços em relação à ação do vento. Essa aplicação foi realizada por meio de estruturas e ambientes fictícios, em que foram determinados parâmetros para três cenários distintos, com proporções comumente utilizadas em estruturas reais. A aplicação foi realizada com dimensões fixas para possibilitar obter os diferentes resultados de pressões do vento, identificando variações discrepantes na qual as edificações podem ficar mais suscetíveis às cargas críticas. A Figura 9, a seguir, demonstra as etapas realizadas em cada um dos cenários.

FIGURA 9 - Etapas do dimensionamento



Fonte: Autoria própria

É importante salientar que o *software* desenvolvido não possui dimensionamentos automáticos para as aberturas da edificação, portanto, cabe ao usuário inserir dados quanto às informações das faces estruturais.

Os cálculos foram efetuados através das informações inseridas quanto à edificação (coeficientes apresentados na Figura 7) e dimensionados para ventos na direção de 0° e 90° . Optou-se por cenários distintos com geometrias usuais nos dimensionamentos, variando-se os parâmetros referentes à altura, largura e comprimento das edificações, a fim de analisar a ação do vento em cada um dos possíveis cenários.

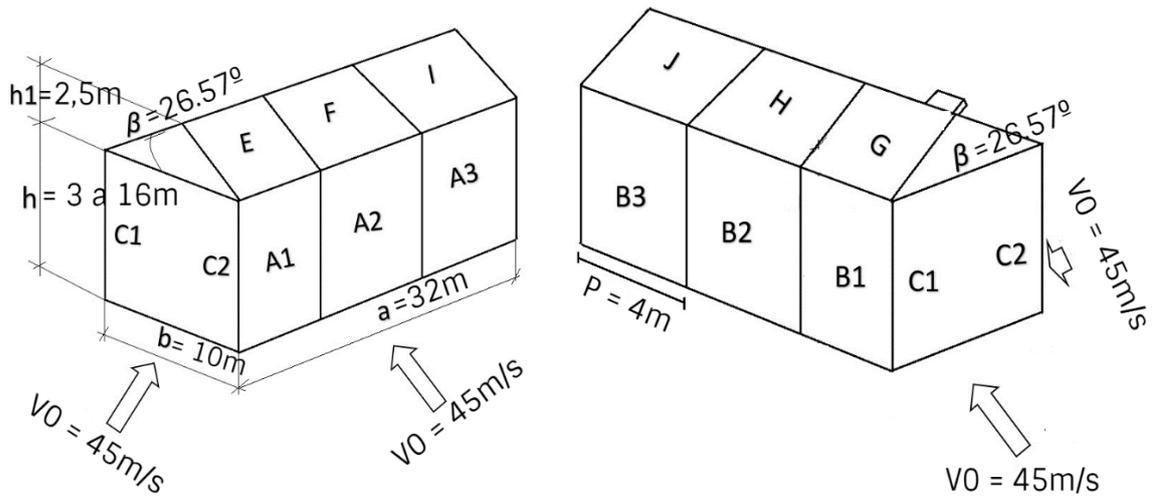
3.4.1 Primeiro cenário – Galpões Industriais

A primeira análise foi realizada considerando dados dimensionais referentes a galpões industriais com tendências mais esbeltas, ou seja, estruturas que são altas e finas, variando, portanto, sua altura (h) apresentando dimensões laterais mais compactas. Adotou-se inicialmente o parâmetro (h) equivalente a 3 metros, se estendendo até 16 metros de maneira crescente a cada 0,25 metros.

Nesse dimensionamento, o restante dos parâmetros foram valores fixos, de acordo com a Figura 10, sendo (b) = 10 metros, (a) = 32 metros, (h_1) = 2,5 metros com a angulação (β) = $26,57^\circ$ e considerando uma distância entre pórticos (p) = 4 metros. A análise foi efetivada com uma velocidade básica de vento (V_0) = 45 m/s, pois além de ser a velocidade básica da região de Bebedouro – SP no qual foi desenvolvido o experimento também é um número considerado alto em território nacional utilizado propositalmente em função de calcular as proporções das pressões em uma categoria de edificação mais suscetível a pressões horizontais.

Quanto aos fatores estáticos, foi optado para (S_1) um terreno plano, a rugosidade (S_2) foi dimensionada para um terreno coberto por vários obstáculos e com poucos espaçamentos, em zona urbanizada, e, para o fator (S_3) utilizou-se o grupo 3, cujo engloba edificações e instalações industriais com baixo fator de ocupação. Considerou-se também para o (C_{pi}) a presença de duas faces opostas igualmente permeáveis e duas faces opostas igualmente impermeáveis.

FIGURA 10 - Parâmetros do primeiro cenário



Fonte: Autoria própria

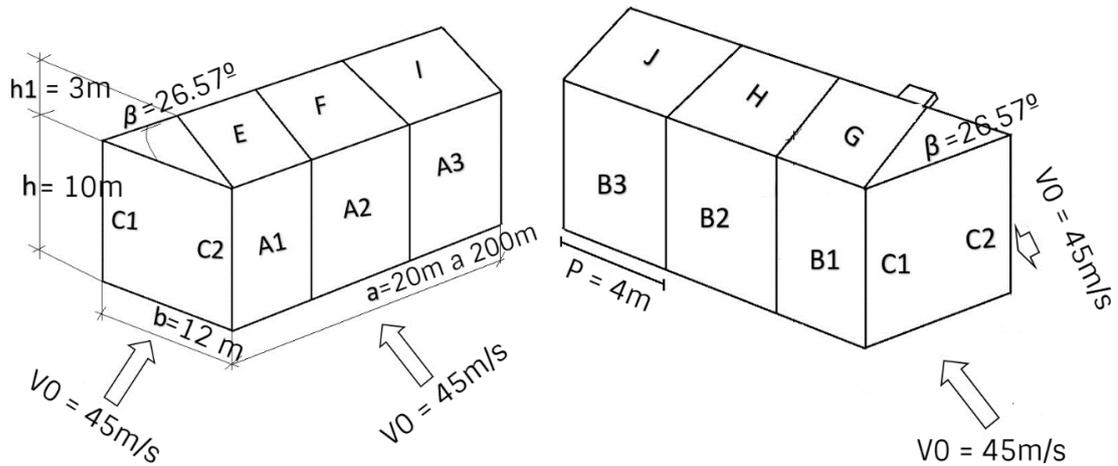
Apenas para efeito de comparação, posteriormente foi realizado o mesmo ensaio com variação da altura (h) de 3 metros a 60 metros e mantendo o restante dos parâmetros, mesmo não sendo uma variação usual.

3.4.2 Segundo cenário – Galpões Agrícolas

O segundo cenário dimensionado foi referente à galpões agrícolas, apresentando modelos com elevadas dimensões da largura (a) e pequenos valores do comprimento (b). Mediante a esse cenário, utilizou-se inicialmente (a) = 20 metros, chegando até 200 metros, aumentando em ordem crescente de acordo com a distância entre os pórticos (p), equivalente a 4 metros, em concordância com a Figura 11.

Os parâmetros adotados referente ao entorno da edificação foram os mesmos determinados no primeiro caso, entretanto, devido ao modelo da estrutura em questão, dimensionou-se para uma zona rural com poucos obstáculos no seu entorno, com parâmetros de telhado (h_1) = 3 metros, a dimensão do comprimento (b) = 12 metros e (h) = 12 metros

FIGURA 11 - Parâmetros do segundo cenário

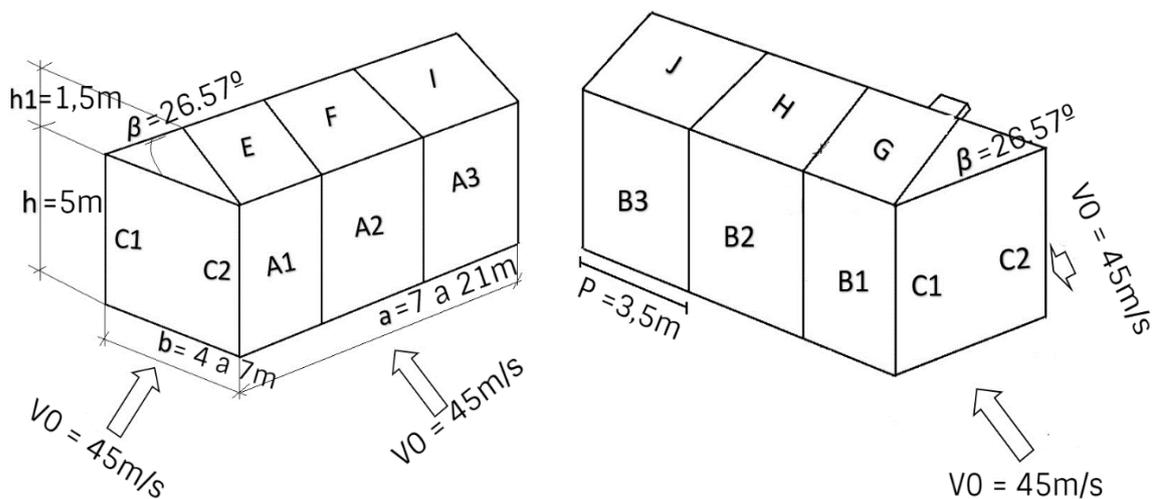


Fonte: Autoria própria

3.4.3 Terceiro cenário – Pequenos Galpões Comerciais

No último cenário dimensionado, utilizou-se medidas proporcionais a pequenos galpões comerciais, de geometrias com larguras e comprimentos próximos, ou seja, sem grandes divergências entre as maiores e menores medidas. Foi utilizado nessa quantificação uma altura (h) = 5 metros, (h_1) = 1,5 metros, (p) = 3,5 metros, mantendo-se as configurações de terreno do primeiro cenário, onde dimensionou-se para área urbanizada.

FIGURA 12 - Parâmetros do terceiro cenário



Fonte: Autoria própria

Variou-se nessa análise, sem grandes discrepâncias, os parâmetros (a) e (b), sendo este último dimensionado para 4 metros, 5 metros, 6 metros e 7 metros. As dimensões de (a) variaram de 7 metros à 21 metros para cada uma das medidas de (b). A visualização dos parâmetros é demonstrada na Figura 12.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

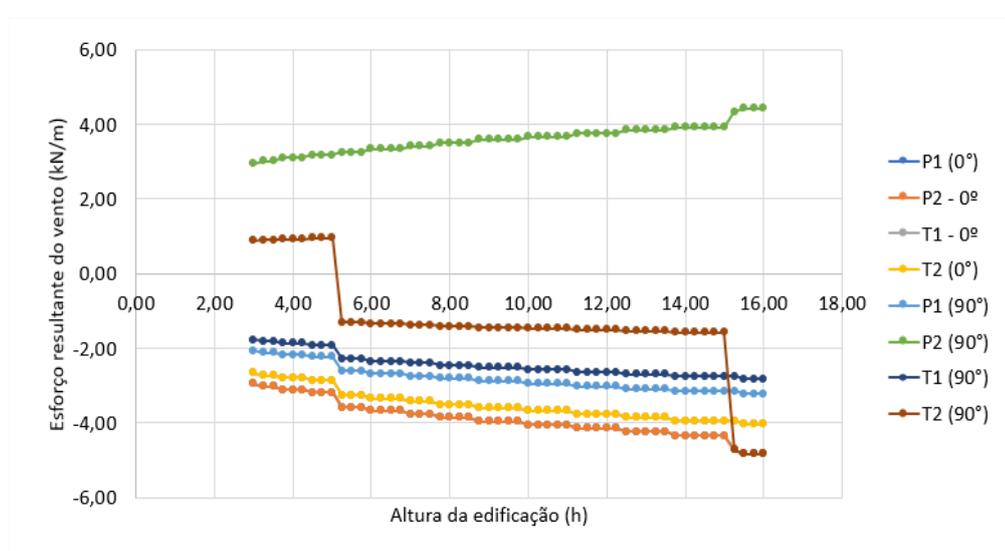
Diante dos cenários fictícios dimensionados quanto as cargas do vento, este tópico se trata da apresentação dos resultados obtidos através das quantificações realizadas, mostrando a influência das cargas geradas pelo vento sobre as edificações.

4.1 ANÁLISE A PARTIR DA VARIAÇÃO DA ALTURA (h) – Primeiro Cenário

Esta análise foi validada através da aplicação do primeiro caso fictício, e, através dos resultados obtidos, pôde-se verificar, pelo gráfico da Figura 14 que as edificações mais esbeltas estão mais suscetíveis a sofrerem pressões maiores oriundas das cargas geradas pelo vento em relação a outros modelos de estruturas.

Percebe-se uma incoerência de cálculo no telhado T2 (90°) devido a algumas variações dispostas na norma não se comportarem no uso do *software*, já que a partir de alguns pontos de (h) inseridos, este parâmetro trabalha de forma independente das demais áreas à 90°, logo, cabe ao engenheiro realizar análises separadamente em casos semelhantes.

FIGURA 13 - Variação de (h) - 3 a 15 metros

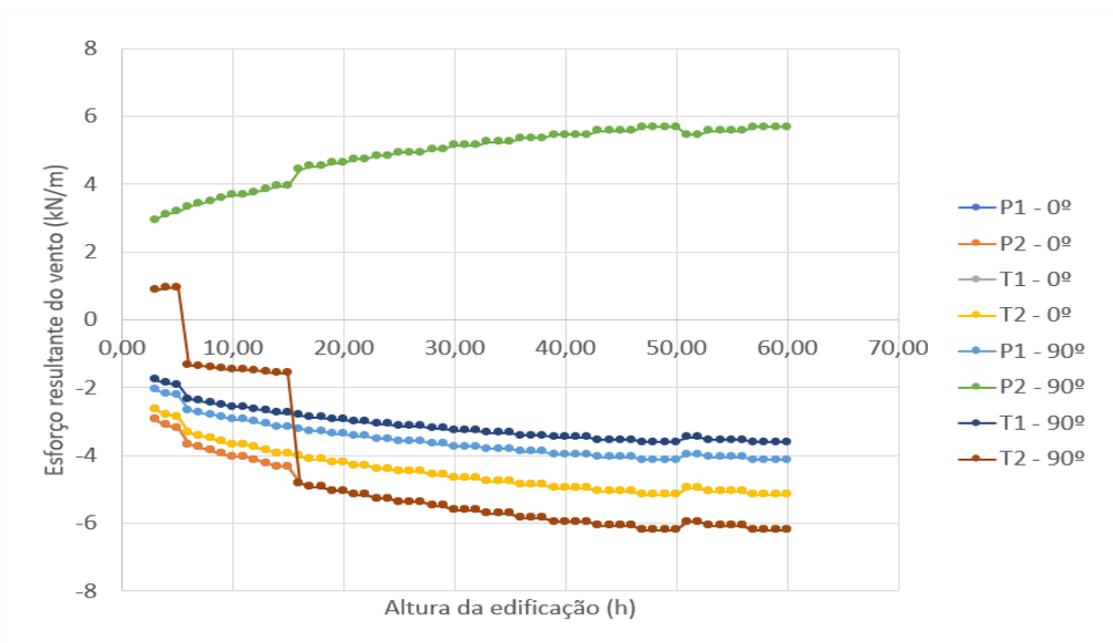


Fonte: Autoria própria

Verifica-se graficamente, na Figura 13, que ambas as angulações que o vento atua, seja 0° ou 90° há influência da pressão do vento gradativamente, de acordo com a altura (h). A influência do vento na P2 (90°) apresenta-se como ponto crítico e apresenta valores positivos devido ao seu valor resultante apresentar-se sempre maior do que o seu C_{pi} .

Os dados obtidos pelo segundo gráfico gerado, em que se determinou a mesma análise variando a altura (h) de 3 a 60 metros, conforme a Figura 14, corrobora com a primeira análise, mostrando que quanto maior for o parâmetro (h) da edificação, maiores serão os esforços de cargas horizontais causados pelo vento.

FIGURA 14 - Variação de (h) - 3 a 60 metros

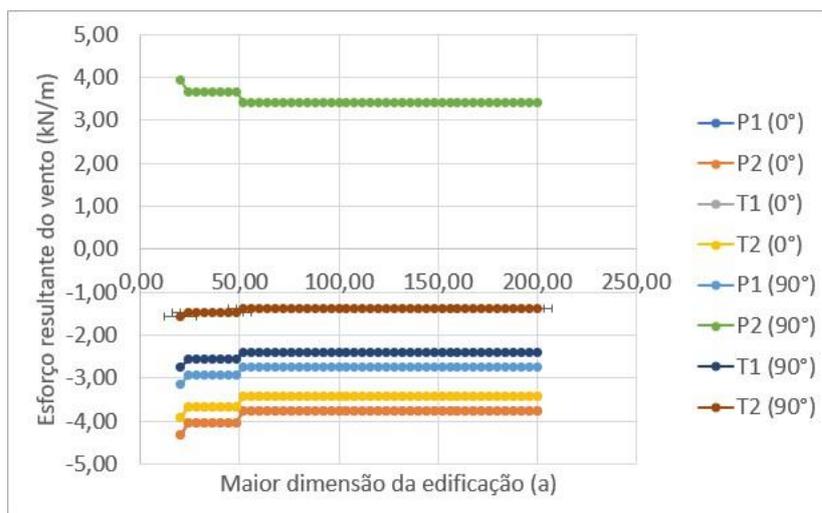


Fonte: Autoria própria

4.2 ANÁLISE A PARTIR DA VARIAÇÃO DO COMPRIMENTO (a) – Segundo Cenário

Galpões que apresentam grandes comprimentos não são muito suscetíveis às pressões geradas pelo vento, comprova-se esse fator analisando ao gráfico da Figura 15, em que se analisou o segundo cenário, apresentando variações até 200 metros de sua largura(a).

FIGURA 15 - Variação de (a) - 20 a 200 metros

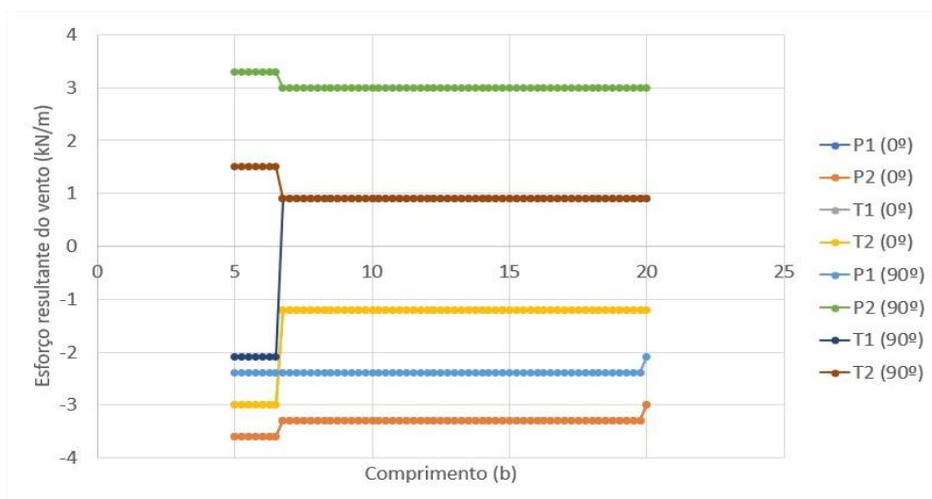


Fonte: Autoria própria

De acordo com a tabela 4 da ANBT NBR 6123:1988, alterações mais discrepantes dos esforços somente ocorrem decorrentes da variação de altura (h) pela largura (b) ou pela variação entre a largura (a) e o comprimento (b), portanto, como esses parâmetros apresentaram-se fixos, variando somente o comprimento (a), não houve grandes alterações nos esforços resultantes nas paredes e nem nos telhados.

Nota-se, portanto, que edificações que não possuem altura elevada não se apresentam tão vulneráveis as ações do vento sem valores de esforços muito divergentes, assim como aponta também a Figura 16, representando o mesmo dimensionamento com variação de (a), porém, variando de 5 metros a 20 metros.

FIGURA 16 - Variação do comprimento (b) - 5 a 20 metros



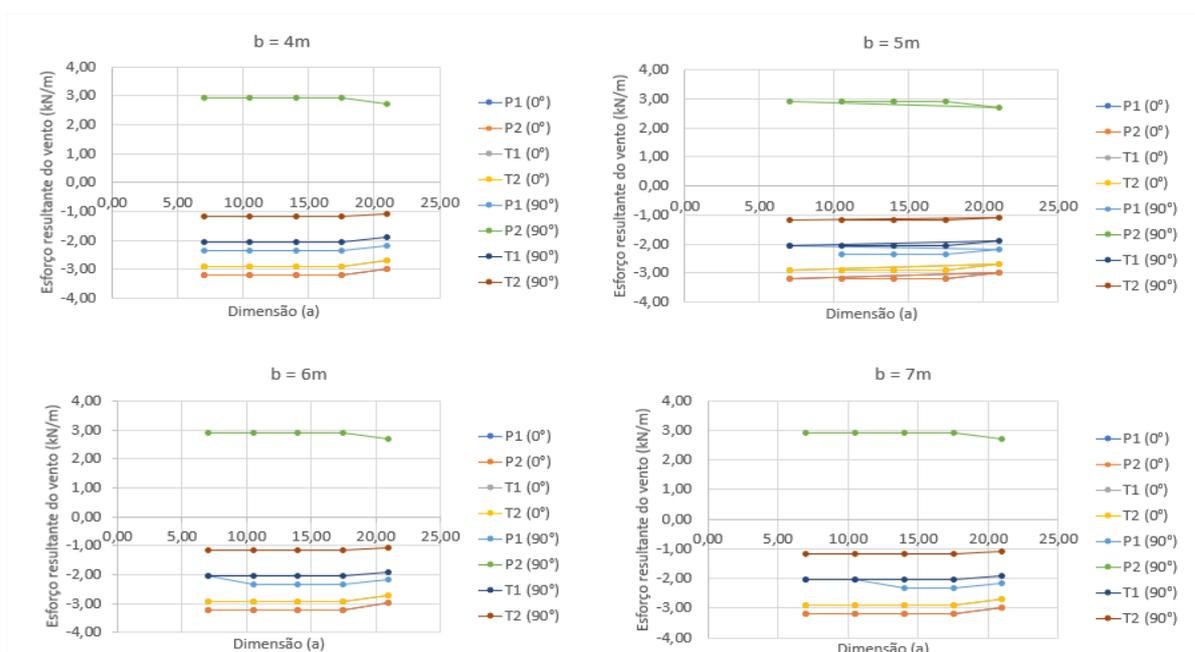
Fonte: Autoria própria

É possível verificar que a partir de determinadas alturas, o esforço resultante do vento se mantém constante, logo, aplica-se o conceito da velocidade gradiente, os esforços nas edificações não sofrem influências em determinadas alturas.

4.3 ANÁLISE EM EDIFICAÇÕES COM DIMENSÕES SEMELHANTES – Terceiro Cenário

Pequenos galpões comerciais que não apresentam elevada altura (h), devido às geometrias pequenas e semelhantes, não são vulneráveis à altas pressões geradas pelo vento, como mostram os gráficos da Figura 17.

FIGURA 17 - Variação para (b) = 4,5,6 e 7 metros



Fonte: Autoria própria

Verificou-se, neste último cenário dimensionado, que edificações com dimensões semelhantes além de não se apresentarem muito vulneráveis às pressões geradas pelo vento, demonstrando apenas pequenas alterações dos seus esforços, são modelos de estruturas menos suscetíveis às cargas horizontais geradas pelo vento.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Concluiu-se no primeiro cenário que modelos estruturais mais esbeltos apresentam as maiores cargas geradas, devido a altura (h) ser um parâmetro

diretamente proporcional à força em que o vento irá atuar, portanto, é o modelo de edificação que mais deve-se considerar a influência do vento.

No segundo cenário analisado foi possível a constatação de que as variações das dimensões da largura(a) não apresentaram variações expressivas das pressões de vento, já que o parâmetro em questão somente apresenta esforços significativos se variado o (b) simultaneamente. Logo, conclui-se que nesse modelo, a influência do vento é pouco relevante.

Observou-se no terceiro cenário que as quantificações obtidas também se mostram inexpressivas quanto aos esforços gerados pelo vento, concluindo, portanto, que quanto mais compacta a edificação se apresentar, menor será a pressão exercida pelo vento, não havendo necessidade da consideração desses esforços.

Devido à falta de atualizações da norma ABNT NBR 6123:1988, incoerências de cálculos foram encontradas na relação entre os parâmetros geométricos, dificultando assim a extração de coeficientes fora da modalidade de telhado tipo duas águas. Logo, propõe-se para trabalhos futuros adaptações normativas que possibilitem análises para outras categorias de telhados existentes.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, Diego Cadena de; VIDOTO, Thiago Augusto Helvig. **Análise comparativa dos métodos estático e dinâmicos da ação do vento em edifícios esbeltos de concreto armado segundo a NBR 6123/1988**. 2013. 119 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2013. Disponível em: <http://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/handle/1/8393>. Acesso em: 27 mai. 2021.

AMMANN, Othmar Hermann; KÁRMÁN, Theodore; WOODRUFF, Glenn. **The failure of the Tacoma Narrows Bridge**. Board of Engineers. A Report to the Honorable John M. Carmody Administrator, Federal Works Agency Washington, D. C. Pasadena, California March 28, 1941.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 6123**: Forças Devidas ao Vento em Edificações. Rio de Janeiro, 1988.

BÊNIA, Maria Cristina Dolz. **Determinação dos efeitos de vizinhança na resposta dinâmica de edifícios altos sob a ação do vento**. 2013. 112 p. Dissertação (Pós-Graduação) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Curso de Engenharia Civil, Porto Alegre, 2013. Disponível em: <https://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/147767>. Acesso em: 27 mai. 2021.

BERNARDES, Gabriel Nogueira. **Forças devidas ao vento em edificações de planta baixa em forma de “L”**. 2013. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Escola de Engenharia. Curso de Engenharia Civil. Porto Alegre, RS, 2013. Disponível em: <https://lume.ufrgs.br/handle/10183/78232>. Acesso em: 27 mai. 2021.

BRUNETTI, Franco. **Mecânica dos Fluidos**. 2. ed. rev. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2008.

CARNEIRO, Francisco; MARTINS, João Guerra. **Análise de Estruturas - Contraventamento de Edifícios**. Série Estruturas. 1ª Edição: 2008. UFP, Porto, Portugal.

DAVENPORT, Alan Garnett. **The relationship of wind structure to wind loading**. In: Wind Effects on Buildings and Structures 16, Teddington, 1963, p.53-102.

FERREIRA, Antônio Mário. **Análise numérica e experimental da ação do vento em estruturas em cascas de formas livres**. 2013. 197 p. Tese (doutorado) - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Campinas, SP, 2013. Disponível em: <http://www.repositorio.unicamp.br/handle/REPOSIP/258654>>. Acesso em: 27 mai. 2021.

FERREIRA, Enildo Tales. **Estudo comparativo entre a velocidade básica do vento estabelecida na NBR. 6123 e a obtida de estações meteorológicas na Paraíba – Impactos nos âmbitos do projeto estrutural, do meio ambiente e dos custos**. 2005. 130 p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal da Paraíba. Curso de Engenharia Civil. João Pessoa, PB. Disponível em: <https://repositorio.ufpb.br/jspui/bitstream/tede/5529/1/arquivototal.pdf>. Acesso em: 27 mai. 2021.

GILBERT, Anne M; UANG, Chia-Ming; LEET, Kenneth M. **Fundamentos da análise estrutural**. 3 ed. São Paulo: McGraw-Hill, 2009. cap 2, p. 27-65.

GONÇALVES, Roberto Martins; NETO, Jorge Munaiar; SALES, José Jairo de; MALITE, Maximiliano. **Ação do vento nas edificações: Teoria e exemplos**. 2. ed. São Carlos: SET/EESC/USP, 2007.

MENDIS, Priyan; D NGO, Tuan; HARITOS, Nick; HIRA, Ali; SAMALI, Bijan; CHEUNG, J. Wind Loading on Tall Buildings. **EJSE Special Issue: Loading on Structures**, 2007. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/270162977_Wind_loading_on_tall_buildings. Acesso em: 27 mai. 2021.

NASCIMENTO, Breno Matias; MORATTI, Dalmon Guzzo; JUNIOR, Jairo Lopes de Oliveira; SCOTÁ, Nadia Maria Drago; BROETTO, Raiza Borçato; SAGRILLO, Ricardo Gottardi Ventura; FERREIRA, Walnório Graça. **Abordagem didática e prática da**

ação do vento em edificações. In: CONGRESSO LATINO-AMERICANO DA CONSTRUÇÃO METÁLICA. São Paulo, SP, 2016. Disponível em: https://www.abcem.org.br/construmetal/downloads/apresentacao/2_ABORDAGEM-DIDATICA-E-PRATICA-DA-ACAO-DO-VENTO-EM-EDIFICACOES.pdf. Acesso em: 27 mai. 2021.

PITTA, João Alfredo Azzi. **Ações devidas ao vento em edificações.** ed. UFSCar, São Carlos, 2013.

TAKANO, Michele Ogawa. **Análise numérica das ações de vento em galpões com cobertura de vãos múltiplos em forma de arco:** Campinas, 2019. 144 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Estadual de Campinas, 2019. Disponível em: <https://econtents.bc.unicamp.br/eventos/index.php/pibic/article/view/1813>. Acesso em: 27 mai. 2021.