

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

Gabriel Nogueira Bernardes

**FORÇAS DEVIDAS AO VENTO EM EDIFICAÇÕES DE
PLANTA BAIXA EM FORMA DE “L”**

Porto Alegre
julho 2013

GABRIEL NOGUEIRA BERNARDES

**FORÇAS DEVIDAS AO VENTO EM EDIFICAÇÕES DE
PLANTA BAIXA EM FORMA DE “L”**

Trabalho de Diplomação 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 Loredo-Souza

Porto Alegre

julho 2013

GABRIEL NOGUEIRA BERNARDES

**FORÇAS DEVIDAS AO VENTO EM EDIFICAÇÕES DE
PLANTA BAIXA EM FORMA DE “L”**

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 pela Coordenadora da disciplina Trabalho de Diplomação Engenharia Civil II (ENG01040) da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Porto Alegre, julho de 2013

Prof. Acir Mércio Loredo-Souza
PhD pela University of Western Ontario, Canadá
Orientador

Profa. Carin Maria Schmitt
Coordenadora

BANCA EXAMINADORA

Gustavo Javier Zani Nuñez
(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 de Vento)
Dr. pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul

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

Dedico este trabalho a meus pais, Marcos e Inês, que sempre me apoiaram e especialmente durante o período do meu Curso de Graduação estiveram ao meu lado.

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao Prof. Acir Mércio Loredo-Souza, orientador deste trabalho, por todo o conhecimento passado para o desenvolvimento deste, assim como os incentivos dados durante o curso e por acreditar no meu sucesso.

Agradeço a todos os professores que tive durante a graduação, em especial a Prof. Carin Maria Schmitt, pela exigência e indicações feitas ao longo do desenvolvimento desse trabalho.

Agradeço a Maria Cristina Bênia e a Vento-S por fornecerem os dados usados nesse trabalho.

Agradeço a minha família, que sempre esteve ao meu lado e não deixou de me apoiar em momentos de dificuldade e dúvida.

Agradeço por fim aos meus amigos, por entenderem as minhas ausências ao longo da graduação e por me ajudarem a manter a sanidade nas horas certas.

A aquisição de qualquer conhecimento é sempre útil para o intelecto, porque pode, portanto, expulsar as coisas inúteis e reter o bem. Pois nada pode ser amado ou odiado a menos que seja primeiro conhecido.

Leonardo da Vinci

RESUMO

A quantidade de edifícios projetados que não se enquadram nas formas básicas presentes na NBR 6123/1988 vem aumentando ao longo dos últimos anos. Buscando atrair mais usuários, os arquitetos acabam adotando formas geométricas que não têm seu comportamento aerodinâmico completamente conhecido, o que dificulta o trabalho de engenheiros calculistas na determinação dos efeitos estáticos do vento nessas edificações. Para auxiliar os calculistas a determinar esses efeitos, a NBR 6123/1988 aconselha a realização de ensaios em túneis de vento de camada limite. Esses ensaios, porém, demandam muito tempo e um investimento que muitas vezes não é previsto no projeto, fazendo com que sejam feitas adaptações dos dados presentes na Norma para determinar os efeitos estáticos do vento. A determinação equivocada desses efeitos leva ao arrancamento de telhas e revestimentos externos, e em último caso à ruína da construção. Esse trabalho tem como propósito auxiliar na determinação dos coeficientes de forma para edificações de planta baixa em forma de “L” com base em ensaios realizados no Laboratório de Aerodinâmica das Construções da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Palavras-chave: NBR 6123/1988. Forças causadas pelo vento. Laboratório de Aerodinâmica das Construções.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Diagrama das etapas do projeto	17
Figura 2 – Exemplos de linha de corrente	22
Figura 3 – Decomposição da força global	24
Figura 4 – Componentes horizontais da força global	25
Figura 5 – Mapa de isopletas do Brasil	30
Figura 6 – Localização coeficientes de forma	35
Figura 7 – Instruções norma alemã DIN-1055/1977	37
Figura 8 – Desenho esquemático do Túnel de Vento Joaquim Blessmann	39
Figura 9 – Modelo reduzido utilizado em ensaios	42
Figura 10 – Convenção de sinais para coeficientes	44
Figura 11 – Edificação genérica	45
Figura 12 – Referência de ângulo de incidência do vento e medidas Edifício L1	47
Figura 13 – Coeficientes de forma para fachada 1 Edifício L1	48
Figura 14 – Coeficientes de forma para fachada 2 Edifício L1	48
Figura 15 – Coeficientes de forma para fachada 3 Edifício L1	49
Figura 16 – Coeficientes de forma para fachada 4 Edifício L1	49
Figura 17 – Referência do ângulo de incidência do vento e medidas Edifício L2	52
Figura 18 – Coeficientes de forma para fachada 1 Edifício L2	53
Figura 19 – Coeficientes de forma para fachada 2 Edifício L2	54
Figura 20 – Coeficientes de forma para fachada 3 Edifício L2	54
Figura 21 – Coeficientes de forma para fachada 4 Edifício L2	55
Figura 22 – Referência do ângulo de incidência do vento e medidas Edifício L3	57
Figura 23 – Coeficientes de forma para fachada 1 Edifício L3	59
Figura 24 – Coeficientes de forma para fachada 2 Edifício L3	59
Figura 25 – Coeficientes de forma para fachada 3 Edifício L3	60
Figura 26 – Coeficientes de forma para fachada 4 Edifício L2	60
Figura 27 – Referência do ângulo de incidência do vento e medidas Edifício L4	62
Figura 28 – Coeficientes de forma para fachada 1 Edifício L4	64
Figura 29 – Coeficientes de forma para fachada 2 Edifício L4	64
Figura 30 – Coeficientes de forma para fachada 3 Edifício L4	65
Figura 31 – Coeficientes de forma para fachada 4 Edifício L4	65
Figura 32 – Coeficientes de forma para fachada 5 Edifício L4	66
Figura 33 – Coeficientes de forma para fachada 6 Edifício L4	66

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Parâmetros meteorológicos	32
Tabela 2 – Valores mínimos do fator estatístico	33
Tabela 3 – Coeficientes de pressão e forma para paredes de edificações de planta retangular	34
Tabela 4 – Relações dimensões em planta L1	46
Tabela 5 – Coeficientes de forma Edifício L1	47
Tabela 6 – Coeficientes de forma por fachada Edifício L1	50
Tabela 7 – Relações dimensões em planta L2	51
Tabela 8 – Coeficientes de pressão Edifício L2	52
Tabela 9 – Coeficientes de forma por fachada Edifício L2	56
Tabela 10 – Relações dimensões em planta L3	57
Tabela 11 – Coeficientes de pressão Edifício L3	58
Tabela 12 – Coeficientes de forma por fachada Edifício L3	61
Tabela 13 – Relações dimensões em planta L4	62
Tabela 14 – Coeficientes de pressão Edifício L4	63
Tabela 15 – Coeficientes de forma por fachada Edifício L4	67
Tabela 16 – Coeficientes máximos e mínimos Edifício L1	68
Tabela 17 – Coeficientes máximos e mínimos Edifício L2	68
Tabela 18 – Coeficientes máximos e mínimos Edifício L3	69
Tabela 19 – Coeficientes máximos e mínimos Edifício L4	69
Tabela 20 – Coeficientes de forma para asas formando 90°	71
Tabela 21 – Coeficientes de forma para asas formando ângulo maior que 90°	72
Tabela 22 – Coeficientes de força para barras prismáticas de faces planas e comprimento infinito	74
Tabela 23 – Valores de redução K para barras de comprimento finito	74
Tabela 24 – Comparação entre coeficientes calculados e da NBR 6123/1988	75

LISTA DE SIGLAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

LAC – Laboratório de Aerodinâmica das Construções

UFRGS – Universidade Federal do Rio Grande do Sul

LISTA DE SÍMBOLOS

θ – ângulo entre asas

A – maior dimensão de uma asa da edificação

A' – maior dimensão de uma asa da edificação

B – menor dimensão da asa com maior dimensão A

B' – menor dimensão da asa com maior dimensão A'

F_s – força de sustentação (N)

F_h – força horizontal (N)

F_x – força na direção x (N)

F_y – força na direção y (N)

F_a – força de arrasto (N)

F_l – força lateral (N)

V_k – velocidade característica (m/s)

V_0 – velocidade básica (m/s)

S_1 – fator topográfico (adimensional)

S_2 – fator para rugosidade do terreno e dimensões da edificação (adimensional)

S_1 – fator estatístico (adimensional)

b' – parâmetro meteorológico (adimensional)

b – menor dimensão em planta (m)

F_r – fator de rajada (adimensional)

z – cota acima do terreno (m)

p – expoente da lei potencial (adimensional)

z_g – altura gradiente (m)

q – pressão dinâmica (N/m²)

a – menor dimensão em planta (m)

h – altura da edificação (m).

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	13
2 DIRETRIZES DA PESQUISA.....	15
2.1 QUESTÃO DE PESQUISA	15
2.2 OBJETIVOS DA PESQUISA	15
2.3 HIPÓTESE	16
2.4 PRESSUPOSTO.....	16
2.5 PREMISSA	16
2.6 DELIMITAÇÕES	16
2.7 LIMITAÇÕES	16
2.8 DELINEAMENTO	17
3 O VENTO	19
3.1 O VENTO NATURAL	19
3.2 O VENTO EM EDIFICAÇÕES	21
3.3 ACIDENTES CAUSADOS PELO VENTO	25
4 A NBR 6123/1988	28
4.1 OS PROCEDIMENTOS SUGERIDOS PELA NBR 6123/1988	28
4.2 COMPARAÇÃO COM OUTRAS NORMAS	34
5 TÚNEIS DE VENTO	37
5.1 O TÚNEL DE VENTO JOAQUIM BLESSMANN	37
5.2 SIMULAÇÃO DO VENTO NATURAL.....	38
5.3 ENSAIOS COM MODELOS REDUZIDOS.....	40
6 MODELOS ESTUDADOS	44
6.1 EDIFÍCIO L1	45
6.2 EDIFÍCIO L2	50
6.3 EDIFÍCIO L3	55
6.4 EDIFÍCIO L4	60
7 ANÁLISE DOS DADOS	67
7.1 ASAS FORMANDO ÂNGULO DE 90°	69
7.2 ASAS FORMANDO ÂNGULO MAIOR QUE 90°	70
8 CONSIDERAÇÕES FINAIS	72
REFERÊNCIAS	73

1 INTRODUÇÃO

Com o passar dos anos, arquitetos têm projetado edificações cada vez mais ousadas do ponto de vista geométrico, fazendo com que soluções estruturais mais arrojadas tenham que ser adotadas. Aos engenheiros calculistas, cabe a função de analisar corretamente os esforços a que essas edificações estão sujeitas. Para a realização dessa tarefa, as Normas Brasileiras visam criar uma padronização e, assim fazem recomendações para que os engenheiros dimensionem as estruturas corretamente.

Quando foi revisada, em 1988, a NBR 6123 (Forças devidas ao Vento em Edificações) procurou reunir dados obtidos em ensaios realizados no Túnel de Vento Prof. Joaquim Blessmann, da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, para que a determinação dos esforços causados pelo vento pudesse ser feita de maneira mais precisa e abrangente. Na época, existiam poucas informações referentes a edificações com formas diversas, sendo que sobre as formas retangulares, as mais recorrentes, haviam mais informações. Foram determinados coeficientes de pressão e de forma externos dependentes das relações entre as dimensões da edificação com esse formato retangular. Esses dados são amplamente utilizados para as mais diferentes formas arquitetônicas, porém com muitas ressalvas entre os calculistas.

A determinação equivocada, e até mesmo a total desconsideração, dos efeitos do vento em edificações pode levar a problemas no uso da edificação e, em casos extremos, à sua ruína. Esforços de vento subestimados, principalmente sucções em paredes, fazem com que placas cerâmicas e painéis de vidro sejam arrancados de suas fixações. Já esforços superdimensionados são antieconômicos, apesar de estarem a favor da segurança. Os engenheiros projetistas devem encontrar um meio termo entre essas duas situações, não comprometendo suas carreiras e nem colocando os usuários das edificações em risco.

Tendo em vista o aumento do número de edificações em planta baixa com forma de “L”, este trabalho, com base em resultados em ensaios com modelos reduzidos, organizou os valores para coeficientes de pressão e de forma disponíveis para essas edificações. Dessa maneira, os esforços poderão ser determinados com maior precisão e assim possibilitar aos engenheiros

uma melhor avaliação do comportamento da estrutura e otimizá-la, tanto no consumo de materiais quanto na utilização dos espaços internos.

No próximo capítulo estão as diretrizes seguidas no desenvolvimento deste trabalho. No capítulo 3, tem-se informações a respeito do vento, como suas características, como ele interage com as edificações e acidentes que pode causar caso seja estimado equivocadamente. O capítulo 4 traz informações sobre a NBR 6123/1988, como os procedimentos sugeridos pela mesma e comparações com outras Normas. No capítulo 5, encontram-se informações sobre a simulação do vento natural, sobre o Laboratório de Aerodinâmica das Construções da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, no qual foram ensaiados os modelos analisados no capítulo seguinte, e também as disposições gerais seguidas durante os ensaios com modelos reduzidos. No capítulo 7, os resultados obtidos são analisados de acordo com as diretrizes seguidas neste trabalho. O último capítulo contém as considerações finais feitas a respeito da análise.

2 DIRETRIZES DA PESQUISA

As diretrizes para desenvolvimento do trabalho são descritas nos próximos itens.

2.1 QUESTÃO DE PESQUISA

O trabalho desenvolve-se em torno da pergunta: com base em ensaios já realizados em túneis de vento, é possível padronizar os coeficientes de forma somente em função das dimensões das edificações de planta baixa em forma de “L”?

2.2 OBJETIVOS DA PESQUISA

Os objetivos deste trabalho são divididos em principal e secundário, que são descritos a seguir.

2.2.1 Objetivo Principal

Esse trabalho tem como objetivo principal a elaboração de tabelas, nos moldes das existentes na NBR 6123/1988, para edificações com planta baixa em forma de "L", com os correspondentes valores dos coeficientes aerodinâmicos.

2.2.2 Objetivo Secundário

O objetivo secundário deste trabalho é a apresentação dos resultados para as distribuições de pressão e forças geradas pelo vento nos modelos com planta baixa em forma de “L” ensaiados no Túnel de Vento Prof. Joaquim Blessmann e que são usados nesse trabalho, para verificação da existência de um padrão nos coeficientes aerodinâmicos.

2.3 HIPÓTESE

As pressões externas nas paredes de edificações de planta baixa em forma de “L” se distribuem de tal maneira que é possível padronizar os valores dos coeficientes de pressão em função das dimensões em planta das edificações, sem a necessidade de realizar ensaios a cada edificação a ser projetada.

2.4 PRESSUPOSTO

O trabalho tem por pressuposto que os resultados da distribuição de pressão para os modelos estudados obtidos no Túnel de Vento de Camada Limite Prof. Joaquim Blessmann representam os resultados mais próximos da realidade.

2.5 PREMISSE

O trabalho tem por premissa que edificações de planta baixa em forma de “L” estão ficando cada vez mais recorrentes e que muitas delas não são ensaiadas em túneis de vento para a determinação das forças do vento de maneira correta, fazendo com que os engenheiros façam aproximações grosseiras a partir dos coeficientes presentes na NBR 6123/1988.

2.6 DELIMITAÇÕES

O trabalho delimita-se ao emprego dos coeficientes de pressão externa obtidos nos modelos reduzidos de edificações testados no túnel de vento do Laboratório de Aerodinâmica das Construções (LAC) da UFRGS.

2.7 LIMITAÇÕES

As limitações deste trabalho são basicamente:

- a) os resultados são de relatórios de ensaios que não foram realizados especificamente para esse Trabalho de Conclusão de Curso;

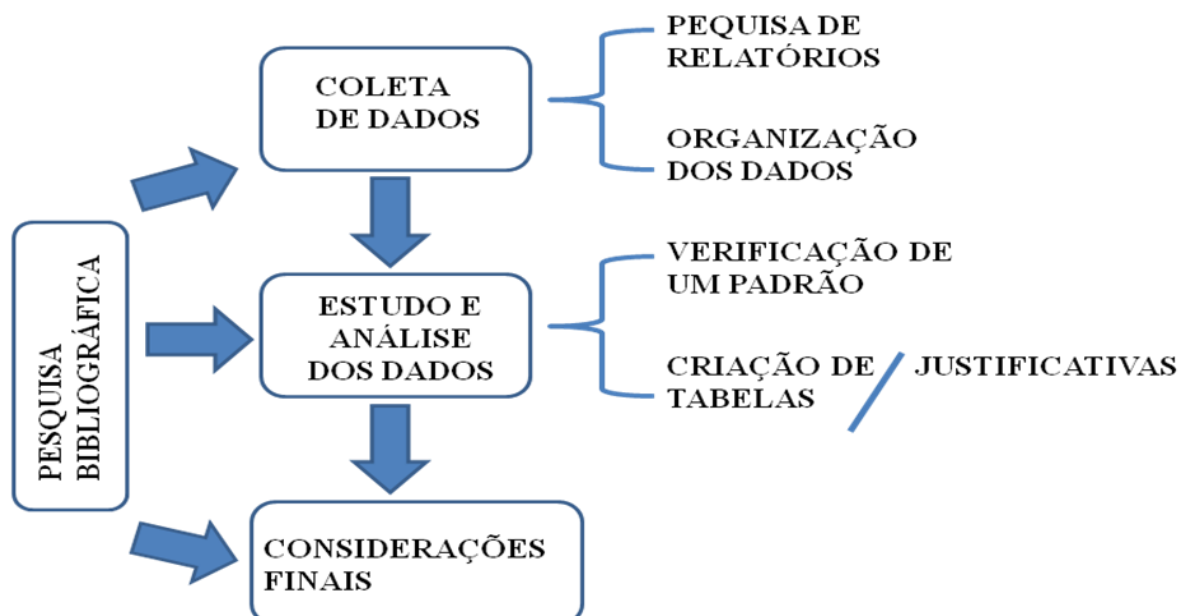
c) o número de edifícios utilizados é pequeno.

2.8 DELINEAMENTO

O trabalho foi realizado através das etapas apresentadas a seguir, representadas na figura 1 e descritas na sequência:

- a) pesquisa bibliográfica;
- b) pesquisa documental,
 - pesquisa de relatórios em edificações de planta baixa em forma de “L”;
 - organização dos dados dos relatórios em tabelas;
- c) estudo e análise dos resultados,
 - verificação de um padrão nos resultados;
 - criação de tabelas (se há padrão);
 - criação de lista de justificativas (se não há padrão);
- f) considerações finais.

Figura 1 – Diagrama das etapas do projeto



(fonte: elaborado pelo autor)

Primeiramente, uma **pesquisa bibliográfica** foi realizada durante todo o trabalho com o intuito de buscar embasamento teórico para esclarecer eventuais dúvidas que surgiram durante o desenvolvimento do trabalho.

A **pesquisa documental** dos ensaios feitos no Laboratório de Aerodinâmica das Construções foi feita junto ao responsável pelo laboratório e na empresa Vento-S Consultoria. Nesses dados, constam além das tomadas de pressão dados sobre a geometria dos modelos e a localização da edificação que eles se referem. Essas informações foram todas tabeladas, para facilitar a sua análise.

Durante o **estudo e análise dos dados** foi feita a verificação da existência de um padrão nos resultados obtidos nos ensaios. Com a existência de um padrão entre os dados obtidos, foram criadas tabelas para os coeficientes de forma para cada tipo de edificação estudada.

Com isso, as **considerações finais** foram feitas, procurando confirmar ou negar a hipótese. Foi feita uma comparação com os dados presente na NBR 6123/1988, sugerindo outros procedimentos que podem ser adotados pelos projetistas quando não há a possibilidade de se realizar ensaios com modelos reduzidos.

3 O VENTO

No capítulo que segue, são apresentados conceitos importantes a respeito do vento natural, como, por exemplo, sua origem e classificação. Em seguida são apresentados conceitos básicos, mas importantes, para se entender os efeitos do vento em edificações. Por fim, acidentes causados pelo vento são exemplificados com o intuito de mostrar a importância de se determinar corretamente as forças geradas pelo vento tanto na estrutura de uma edificação como nos elementos de vedação.

3.1 O VENTO NATURAL

Segundo Blessmann (1995, p. 9), a energia solar que atinge a Terra na forma de ondas eletromagnéticas não é em sua totalidade energia calorífica. Uma grande parte é transformada em calor ao ser absorvida pela superfície terrestre; uma parte é absorvida pela atmosfera e uma terceira parte é refletida para o espaço. O autor também indica que a proporção entre essas duas últimas depende das condições da região atingida pelas ondas solares, como por exemplo, a quantidade de poluição e o cobrimento por nuvens. Mesmo assim, o aquecimento da atmosfera é prioritariamente devido ao calor irradiado pela superfície.

O vento, ou o movimento do ar sobre a superfície terrestre, tem como causa principal as diferenças na pressão atmosférica, causadas pelo aquecimento das massas de ar. A superfície terrestre, ao ser aquecida pelas ondas eletromagnéticas fornecidas pelo Sol, aquece as massas de ar (BLESSMANN, 1995, p. 9).

O simples aquecimento do ar em uma região não é responsável pela movimentação de massas de ar. Para que ocorra o movimento, é necessário que uma diferença de pressão entre duas regiões seja estabelecida. Dessa maneira, o ar é deslocado de regiões de alta pressão para regiões de baixa pressão, sempre perpendicularmente às linhas isóbaras¹ (BLESSMANN, 1995, p. 11).

¹ Linhas isóbaras: linhas de pressão iguais

A pressão atmosférica, que também é responsável pelo movimento das massas de ar, é proporcional à massa de ar acima do nível considerado. Isso indica que ela diminuirá com o aumento da altitude. Quando as massas de ar se movimentam verticalmente, seu volume se altera para se adaptar à nova pressão na região para qual ela se deslocou: há uma expansão no volume, caso a massa de ar suba; ou uma compressão, quando a massa de ar desce (BLESSMANN, 1995, p. 15).

De acordo com as leis da termodinâmica, a expansão da massa de ar corresponde a uma queda da temperatura da mesma. Opostamente, a compressão da massa de ar corresponde a um aumento da temperatura. Como esse movimento vertical das massas de ar é rápido, ele pode ser considerado como adiabático; isto é, disse-se que a massa de ar não troca calor com a atmosfera que a cerca (BLESSMANN, 1995, p. 15).

Além o movimento causado pela diferença de pressões, o deslocamento das massas de ar, principalmente o de grandes massas, é influenciado pela rotação da Terra, através de dois efeitos: a aceleração centrífuga e a aceleração de Coriolis. A aceleração centrífuga, que também atua em massas de ar sem movimento, pode ser desprezada no estudo do vento. A aceleração de Coriolis, por sua vez, atua somente em massas de ar em movimento em relação à superfície da Terra. Essa aceleração não pode ser desprezada, pois ela gera uma força, denominada Força de Coriolis, que age perpendicularmente à direção do movimento da partícula de ar, fazendo com que essa direção seja desviada (BLESSMANN, 1995, p. 11).

Segundo o mesmo autor, para a Engenharia Estrutural é mais interessante conhecer a velocidade média do vento, assim como as flutuações em torno dessa média. Essas flutuações são causadas pela turbulência do escoamento, causada pelas rugosidades natural e artificial do terreno. O autor expõe também que os ventos fortes são originados pelos ciclones extratropicais. Esses ventos são os que apresentam o melhor equilíbrio dinâmico com a rugosidade da superfície terrestre.

Originados pela ação mecânica de cadeias de montanhas em grandes correntes atmosféricas ou pela interação de massas de ar ao longo de frentes, os ciclones extratropicais são movimentos circulatorios do ar em torno de centros de baixa pressão. Atingem geralmente dimensões grandes, que variam de algumas centenas de metros a alguns milhares de quilômetros de diâmetro. Possuem uma atmosfera vertical estável e mantêm um vento com

velocidade média razoavelmente constante por longos períodos de tempo (até algumas dezenas de horas) (BLESSMANN, 1995, p. 22).

3.2 O VENTO EM EDIFICAÇÕES

Para estudar os efeitos do vento nas edificações, é preciso primeiramente definir algumas grandezas para melhor entender seu comportamento. A viscosidade, segundo Blessmann (1990a, p. 11), pode ser melhor entendida através de um exemplo: considerando dois recipientes, um com água e outro com asfalto e rompendo-os, pode-se perceber que a água se deforma rapidamente até formar uma fina película sobre a mesa. O asfalto também formará uma película sobre a mesa, mas precisará de um tempo muito maior que a água. O que leva a essa diferença é a viscosidade de cada fluido. Essa propriedade controla a velocidade de deformação dos fluidos. É importante realçar que a viscosidade não paralisa a deformação de um fluido, ela só torna a deformação mais lenta.

Uma definição mais precisa de viscosidade pode ser dada através de outro exemplo. Supondo uma prancha sólida cortada longitudinalmente em duas partes e fazendo uma deslizar sobre a outra. A resistência a esse movimento é devida ao atrito seco. Em um fluido, pode-se supor que seu movimento se dá através de lâminas de fluido sobrepostas, que podem deslizar umas sobre as outras. Caso a velocidade não seja a mesma em todas as lâminas, aparecerá uma força que se opõe ao deslizamento. Essa força, nos fluidos, é devida à viscosidade (BLESSMANN, 1990a, p. 17).

Quando se modela o ar, caso fosse necessário considerar todas as variáveis envolvidas, ter-se-ia uma situação de difícil solução ou até mesmo impossível de se trabalhar. Para facilitar o tratamento teórico, usa-se o conceito de **fluido ideal**. Nesses casos, tem-se um fluido que pode ser considerado incompressível e sem viscosidade (BLESSMANN, 1990a, p. 25).

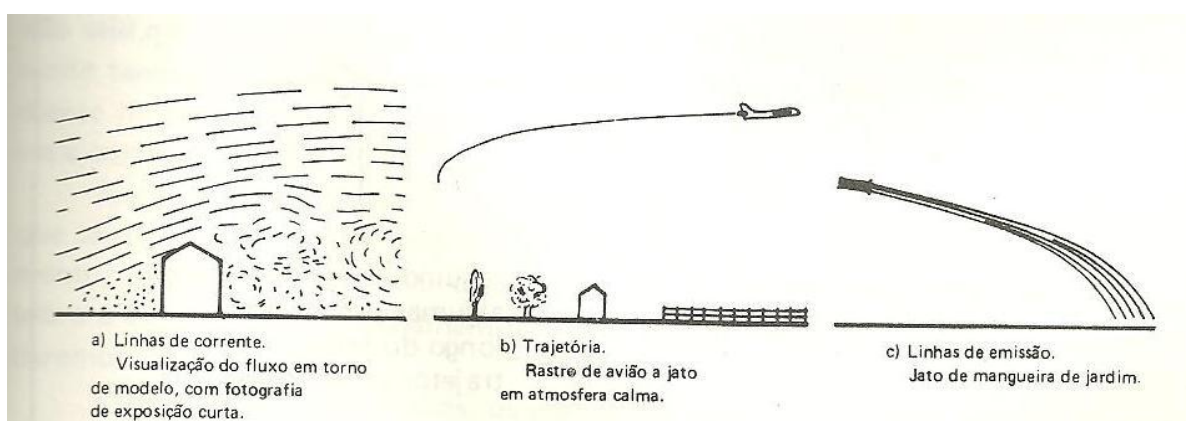
Segundo o mesmo autor, dentro da gama de velocidades que interessam à Engenharia Civil, pode-se desprezar os efeitos da compressibilidade do ar. Dessa maneira, não é necessária uma correção ao se passar do fluido ideal para o real. O autor também expõe que, nas proximidades de contornos sólidos, a influência da viscosidade ocasiona o aparecimento de fenômenos importantes, tanto no ponto de vista teórico como prático.

Afortunadamente, os resultados obtidos com o conceito de fluido ideal não se afastam muito dos resultados experimentais. Isso significa que o ar (e também a água) se comporta aproximadamente como um fluido ideal, caso não ocorra a separação da camada limite (BLESSMANN, 1990a, p. 25).

O movimento de um fluido pode ser classificado em escoamento permanente e escoamento variado. Um escoamento permanente é aquele que as características do escoamento em cada ponto do espaço permanecem constantes ao longo do tempo. Já em um escoamento variado (ou não permanente), as grandezas características do escoamento, além de variar com a posição estudada, dependem também do tempo (BLESSMANN, 1990a, p. 26-27).

O conceito de linha de corrente também é necessário para se entender como o vento interage com as edificações. Uma linha de corrente, segundo Blessmann (1990a, p. 27), “[...] é uma linha tangente em cada ponto ao vetor velocidade correspondente, em um dado instante.”. Uma fotografia de curta exposição tirada de um conjunto de partículas sendo arrastadas por um fluido, sem deslizamento entre eles, fornece uma boa visualização dessa definição. As linhas presentes na imagem dão uma ideia de uma linha de corrente. As linhas presentes na fotografia também podem dar uma noção a respeito da velocidade no ponto: quanto maior a linha, maior a velocidade. Na figura 2 pode-se ter uma melhor noção de linha de corrente.

Figura 2 – Exemplos de linha de corrente



(fonte: BLESSMANN, 1990a)

Uma característica presente no vento atmosférico e importante para se modelar corretamente o vento natural, é a turbulência. Dependendo das condições presentes no escoamento, as camadas de fluido não trocam somente partículas de fluido, e sim grupos inteiros de

partículas. Esses grupos se movimentam em todas as direções, de maneira desordenada e caótica. Essa troca significa um grande gradiente de velocidades, gerando redemoinhos que perambulam pelo fluido. O escoamento não pode mais ser considerado como laminar, pois a passagem das partículas e dos redemoinhos causam flutuações na velocidade nos diferentes pontos da corrente. O escoamento passa a ser denominado turbulento. Vale resaltar que os redemoinhos nem sempre são visíveis a olho nu, fazendo com que uma análise superficial do escoamento leve a afirmação equivocada de que o mesmo seja laminar (BLESSMANN, 1990a, p. 30).

A turbulência tem como principal efeito a transferência de energia do movimento principal do fluxo para os próprios redemoinhos e para distúrbios locais de velocidade. As diferenças de velocidade entre as camadas de fluido são responsáveis pelo aparecimento de efeitos ligados a viscosidade, que tendem a diminuir esses efeitos. A energia retirada do fluxo é transformada em calor. Essa mudança é maior no regime turbulento que no laminar (BLESSMANN, 1990a, p. 32).

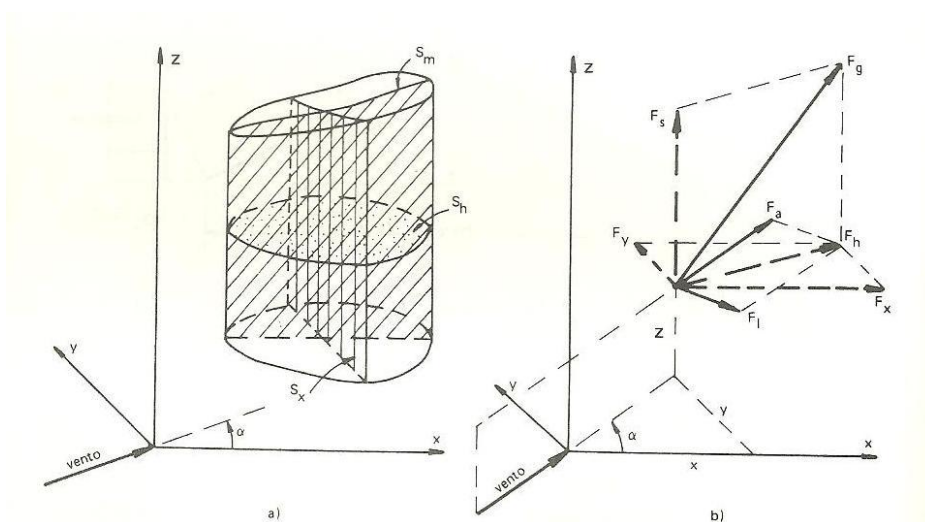
Outro conceito que se deve conhecer para o estudo do vento em edificações é o de ponto de estagnação. Segundo Blessmann (1990a, p. 40-41), esses pontos podem ocorrer em uma superfície de um corpo imerso em um fluido em movimento permanente. Algumas linhas de corrente podem incidir perpendicularmente a essa superfície, estagnando o fluido (o fluido fica com velocidade nula). Em um ponto de estagnação, toda a pressão dinâmica é transformada em pressão estática, e esta pode ser medida através de um orifício feito no ponto e ligado a um manômetro.

Sabendo todas as grandezas que devem ser levadas em conta quando se determina as forças devidas ao vento, é conveniente classificar essas forças em função de seus efeitos e direção de atuação. Tem-se como a força primária a força global, que é decomposta de acordo com a edificação em estudo. Sendo assim, tem-se as forças de sustentação, de arrasto e a lateral.

Ao se decompor a força global na direção vertical, tem-se a força de sustentação, F_s . Essa força é positiva quando for dirigida para cima. Horizontalmente, tem-se a força horizontal, F_h , que por sua vez pode ser decomposta de duas maneiras diferentes, de maneira conveniente para cada situação. Se decomposta na direção dos eixos cartesianos, tem-se as forças F_x e F_y , orientadas de acordo com os eixos x e y , respectivamente. Essas forças são positivas quando dirigidas para o sentido crescente dos eixos. Por outro critério, decompõe-se a força horizontal

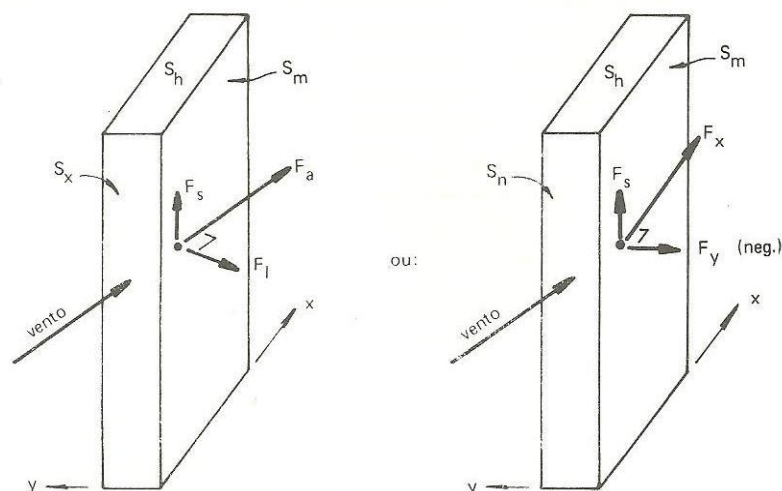
em uma componente na direção do vento e outra perpendicular a ele. Paralelamente ao vento, tem-se a força de arrasto, F_a . Perpendicularmente ao vento, a força lateral, F_l . Vale ressaltar que as forças de arrasto e lateral atuam num plano horizontal, já que se supõe que o vento age horizontalmente. Outra observação relevante é que as forças F_x e F_y estão relacionadas com a orientação da edificação, enquanto F_a e F_l são dependentes da orientação do vento (BLESSMANN, 1990a, p. 57). Na figura 3, tem-se a exposição de todas as componentes da força global. Já na figura 4, observa-se a relação entre F_x e F_y com os eixos cartesianos e F_a e F_l com a direção incidente do vento.

Figura 3 – Decomposição da força global



(fonte: BLESSMANN, 1990a)

Figura 4 – Componentes horizontais da força global



(fonte: BLESSMANN, 1990a)

3.3 ACIDENTES CAUSADOS PELO VENTO

Segundo Blessmann (2001, p. 11), as paredes externas dos edifícios altos não possuem mais função estrutural, elas funcionam apenas como elementos de fechamento e vedação. Em edifícios baixos, essa nova configuração não é muito afetada pelo vento, porém hoje os prédios estão ficando cada vez mais esbeltos, construídos com estruturas cada vez mais leves.

Os acidentes mais comuns causados pelo vento são arrancamentos de painéis de vedação. Esses painéis e suas ancoragens nem sempre são dimensionados para resistirem as altas sucções que aparecem nas quinas de edifícios altos, especialmente quando a vizinhança provoca um aumento destas. Já o colapso estrutural de um edifício causado pelo vento é mais raro, ocorrendo em situações especiais. Um exemplo é o colapso do Meyer-Kiser Bank Building, no estado norte-americano da Flórida. O prédio foi torcido por um furacão, fazendo com que algumas paredes ficassem fendilhadas devido à deformação da estrutura metálica que o sustentava (BLESSMANN, 2001, p. 11-12).

Edifícios altos não são as únicas construções que são danificadas pelo vento. Diversas pontes foram total ou parcialmente destruídas pelo vento com apenas alguns meses de vida útil. Torres de transmissão de energia elétrica, torres de rádio, televisão e micro-ondas e radares também são suscetíveis às ações do vento, mas não são tratadas nesse trabalho.

Outro tipo de estrutura que sofre com a ação do vento são construções leves, principalmente as com grandes vãos livres. Hangares, pavilhões de feiras e industriais, oficinas, grandes mercados, depósitos de cereais, armazéns portuários, garagens, coberturas de estádios e hipódromos e ginásios cobertos são normalmente construídos com estruturas metálicas. Por serem leves, os esforços que mais solicitam a estrutura são os causados pelo vento (BLESSMANN, 2001, p. 12).

Um acidente típico nesse tipo de estrutura é o arrancamento parcial ou total de telhas. Esse arrancamento pode ser evitado quando se dá a devida atenção na fixação das telhas na estrutura do telhado, mas esta também deve ser bem ancorada, caso contrário toda a estrutura pode ser levada junto e ser carregada a distâncias consideráveis, como aconteceu em Santa Maria, RS, em 1999 (BLESSMANN, 2001, p. 14).

Os efeitos do vento podem ser potencializados dependendo do ângulo de incidência e das proporções entre as dimensões da edificação, fatores que muitas vezes não são levados em consideração por várias normas. Grandes sucções locais aparecem nas quinas horizontais e verticais com o vento incidindo entre 15, 30 e 45° com a parede por exemplo. Em telhados, pode-se observar que as sucções máximas ocorrem em coberturas de inclinação entre 8 e 12°, para certas proporções da construção. Essas inclinações são as mais usadas na arquitetura vigente (BLESSMANN, 2001, p. 19).

A pressão interna também deve ser considerada corretamente, principalmente em construções com grandes vãos, como os pavilhões industriais. Pode-se evitar esses acidentes fazendo reinar uma depressão no interior da edificação, que diminui as sucções externas. Aberturas permanentes ou de emergência nas zonas em sucção conseguem realizar essa tarefa (BLESSMANN, 2001, p. 21).

Além da falta de ancoragem já citada, Blessmann (2001, p. 23-24) expõe mais cinco causas estruturais para os acidentes causados pelo vento, são elas:

- a) contraventamento insuficiente: principalmente em estruturas metálicas, pode levar ao colapso estrutural;
- b) dimensionamento insuficiente: também mais comum em estruturas metálicas, há relatos de flambagem de arcos em treliça e de linhas de tesouras tipo Polonceau;
- c) fundações inadequadas: a falta de peso ou de profundidade podem não resistir a força ascensional causada por sucções em telhados, enquanto que o

dimensionamento pode não ser suficiente para evitar o tombamento da construção;

- d) paredes inadequadas: quando são feitas com argamasas mais fracas ou com grandes painéis, podem tombar caso falte uma estrutura para lhes dar sustentação;
- e) deformabilidade excessiva da edificação: deformações por flexão, cisalhamento ou torção pode causar danos às esquadrias e/ou vidros, além de fendas nas paredes.

4 A NBR 6123/1988

Para se ter respaldo legal, os engenheiros calculistas se apoiam nas Normas Brasileiras para várias atividades. Da determinação das forças atuantes até o armazenamento de materiais para a execução das obras, a Associação Brasileira de Normas Técnicas buscou criar um padrão a ser seguido no País. No caso das forças causadas pelo vento, deve-se seguir os procedimentos sugeridos na NBR 6123/1988. Apesar de desatualizada e necessitando uma revisão, essa Norma é utilizada pelos engenheiros com ressalvas, principalmente quando no caso de edificações que não se enquadram nas formas básicas nela indicadas. Nesse capítulo, é explicitado o procedimento que consta na NBR 6123/1988, desde a determinação da velocidade básica do vento até os coeficientes aerodinâmicos de forma para as paredes das edificações. Em seguida, é feita uma comparação deste procedimento com outras normas adotadas no mundo, como a americana e normas europeias, como a francesa e a alemã.

4.1 PROCEDIMENTOS SUGERIDOS NBR 6123/1988

Segundo a Norma, para se determinar as forças estáticas devidas ao vento deve-se determinar primeiramente a velocidade básica do vento e em seguida os fatores S_1 , S_2 e S_3 . A fórmula 1 mostra como esses termos são usados para se determinar a velocidade característica. (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1988, p. 4):

$$V_k = V_0 \times S_1 \times S_2 \times S_3 \quad (\text{fórmula 1})$$

Onde:

V_k = velocidade característica (m/s);

V_0 = velocidade básica do vento (m/s);

S_1 = fator topográfico;

S_2 = fator para rugosidade do terreno, dimensões da edificação e altura sobre o terreno;

S_3 = fator estatístico.

O primeiro passo para se determinar as forças devidas ao vento em edificações é localizá-la no País. Com dados obtidos a partir dos registros do Serviço de Proteção ao Voo, do antigo Ministério de Aeronáutica (atual Comando da Aeronáutica e vinculado ao Ministério da Defesa), uma carta com as velocidades básicas do vento foi feita para se determinar a velocidade básica do vento na região onde se encontra a edificação. Na figura 5, tem-se a carta de isopletas brasileira. É interessante notar que as velocidades no Brasil variam de 30 m/s, nas regiões Norte e Nordeste do País, a 50 m/s, em uma faixa que cobre o oeste dos estados de Rio Grande do Sul, Santa Catarina, Paraná e Mato Grosso do Sul (BLESSMANN, 1990b, p. 7).

A velocidade básica dá uma noção das forças causadas pelo vento. O primeiro fator que considera o terreno é o fator topográfico S_1 . Esse fator leva em consideração a presença ou não de taludes ou aterros no entorno. Para terrenos planos, usa-se S_1 igual a unidade. Para taludes e morros alongados, nos quais se admite um fluxo de ar bidimensional, a NBR 6123/1988 traz equações para tentar considerar a variação do fluxo de ar. Mas a própria Norma aconselha a usar os valores encontrados nas equações com precaução, pois elas fornecem fatores menores que 1 e são aproximações preliminares (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1988, p. 5)

O próximo fator que é adotado na Norma é o fator S_2 , que considera a rugosidade do terreno, as dimensões da edificação e sua altura sobre o terreno. Segundo a NBR 6123, a velocidade de ventos fortes aumenta de acordo com a altura acima do terreno. Esse aumento, por sua vez, é dependente da rugosidade do terreno e do intervalo de tempo considerado. O intervalo de tempo é relacionado com as dimensões da edificação, já que edificações pequenas são mais afetadas por rajadas de curta duração, enquanto que em edificações maiores acontece o oposto (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1988, p. 8).

Figura 5 – Mapa de isopletas do Brasil



(fonte: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1988, p. 6)

Na Norma há uma classificação quanto a rugosidade do terreno em 5 categorias, que são explicitadas a seguir (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1988, p. 8):

- a) categoria I: superfícies lisas de grandes dimensões, com mais de 5 km de extensão, como por exemplo mar calmo, lagos e rios e pântanos sem vegetação;
- b) categoria II: terrenos abertos em nível ou aproximadamente em nível, com poucos obstáculos isolados, como zonas costeiras planas, pântanos com vegetação rala, campos de aviação, pradarias e charnecas e fazendas sem sebes ou muros;
- c) categoria III: terrenos planos ou ondulados com obstáculos cuja altura média possa ser considerada igual a 3,0 m, como por exemplo granjas, fazendas com sebes ou muros e subúrbios afastados do centro, com casas baixas e esparsas;
- d) categoria IV: terrenos com muitos obstáculos com altura média no como considerada de 10 m, como zonas de parques e bosques, cidades pequenas e arredores, subúrbios densamente construídos e áreas industriais desenvolvidas;
- e) categoria V: terrenos completamente cobertos por obstáculos com altura média igual a 25 m, tais como florestas com árvores altas, centros de cidades e complexos industriais bem desenvolvidos.

Além de considerar a rugosidade do terreno, na determinação do fator S_2 a Norma também leva em consideração a dimensões da edificação. Isso porque a velocidade do vento varia continuamente, fazendo com que seu valor seja considerado sobre intervalos de tempo (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1988, p. 8)

Assim sendo, na NBR 6123 tem-se uma divisão das edificações em classes, de acordo com sua maior dimensão. É interessante notar que a Norma não faz distinção entre dimensão horizontal e vertical nessa classificação. As classes são (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1988, p. 9):

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.

A Norma apresenta uma fórmula para se calcular o fator S_2 , levando em consideração as classificações citadas e a altura da edificação. Vale lembrar que o fator de rajada, F_r na fórmula, é sempre correspondente à categoria II (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1988, p. 9):

$$S_2 = b' \times F_r \times (z / 10)^p \quad (\text{fórmula 2})$$

Onde:

S_2 = fator para rugosidade do terreno, dimensões da edificação e altura sobre o terreno;

b' = parâmetro meteorológico;

F_r = fator de rajada;

z = cota acima do terreno (m);

p = expoente da lei potencial.

Na tabela 1, tem-se os valores adotados para cada parâmetro da fórmula 2 para cada categoria de terreno e classe de edificação. A fórmula é válida somente até o limite de altura dado pela altura gradiente, z_g (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1988, p. 9).

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	0,09	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: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1988, p. 9)

O último fator que deve ser considerado para a determinação da velocidade característica do vento é o fator estatístico S_3 . Esse fator considera o grau de segurança requerido de acordo com o tipo da construção. Na tabela 2 têm-se a classificação dos grupos e os respectivos valores para o fator estatístico (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1988, p. 10).

Tabela 2 – Valores mínimos do fator estatístico 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 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: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1988, p. 10)

Com a velocidade característica determinada, a pressão dinâmica é calculada de acordo com a fórmula 3 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1988, p. 4):

$$q = 0,613 \times V_k^2 \quad (\text{fórmula 3})$$

Onde:

q = pressão dinâmica (N/m²);

V_k = velocidade característica (m/s).

Os coeficientes de pressão e forma presentes na Norma mostram como a pressão dinâmica se distribui ao longo da edificação. Quando foi revisada, a NBR subdividiu superfícies em que ocorrem variações consideráveis de pressão, adotando coeficientes para cada uma dessas partes (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1988, p. 12).


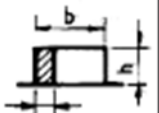

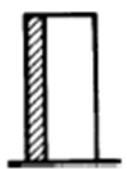
Nas arestas de paredes, tem-se zonas com altas sucções, em que são adotados coeficientes de pressão médio. Como dependem do ângulo de incidência do vento, essas sucções não aparecem simultaneamente e são utilizadas somente para o dimensionamento, verificação e ancoragem de elementos de vedação e da estrutura secundária (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1988, p. 12).

A Norma também indica que, para o cálculo de elementos de vedação e suas fixações, o coeficiente S_2 a ser adotado deve ser o correspondente a classe A e o coeficiente de pressão médio para a zona onde se situa o elemento. Já para a estrutura principal, deve ser adotado o coeficiente S_2 correspondente a classe da edificação e o coeficiente de pressão de acordo com

a zona em que se encontra a peça estrutural (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1988, p. 12).

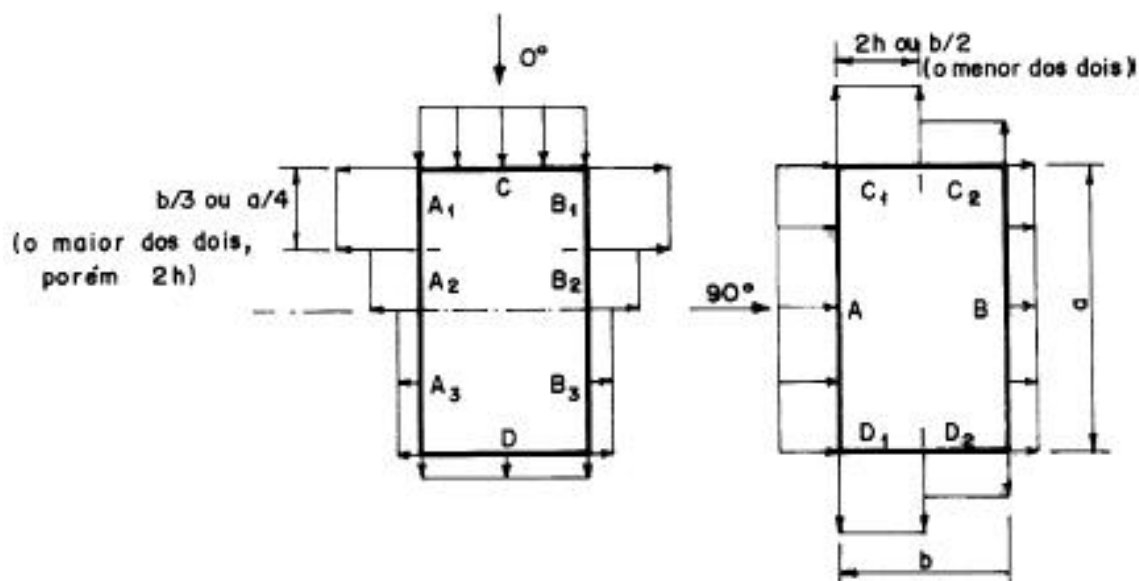
A tabela 3 apresenta os coeficientes de pressão e de forma externos para paredes de edificações retangulares. Os coeficientes de pressão médios estão na coluna na extrema direita da tabela.

Tabela 3 – Coeficientes de pressão e forma para paredes de edificações de planta retangular

Altura relativa		Valores de C_s 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	
 $0,2 b$ ou 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	-0,9
	$2 \leq \frac{a}{b} \leq 4$	-0,8	-0,4	+0,7	-0,3	+0,7	-0,5	-0,9	-0,5	-1,0
 $\frac{1}{2} < \frac{h}{b} \leq \frac{3}{2}$	$1 \leq \frac{a}{b} \leq \frac{3}{2}$	-0,9	-0,5	+0,7	-0,5	+0,7	-0,5	-0,9	-0,5	-1,1
	$2 \leq \frac{a}{b} \leq 4$	-0,9	-0,4	+0,7	-0,3	+0,7	-0,6	-0,9	-0,5	-1,1
 $\frac{3}{2} < \frac{h}{b} \leq 6$	$1 \leq \frac{a}{b} \leq \frac{3}{2}$	-1,0	-0,6	+0,8	-0,6	+0,8	-0,6	-1,0	-0,6	-1,2
	$2 \leq \frac{a}{b} \leq 4$	-1,0	-0,5	+0,8	-0,3	+0,8	-0,6	-1,0	-0,6	-1,2

(fonte: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1988, p. 14)

Figura 6 – Localização coeficientes de forma



(fonte: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1988, p. 14)

4.2 COMPARAÇÕES COM OUTRAS NORMAS

Uma boa medida para se ter noção da atualidade dos procedimentos adotados pela NBR 6123/1988 é a comparação com normas de países considerados de tradição na Engenharia. A seguir, é feita uma comparação da Norma brasileira com a norma norte-americana e com algumas normas europeias antigas, como a francesa e alemã. Vale resaltar que essas normas estão caindo em desuso, visto que o Eurocode está entrando em vigor no continente europeu.

Historicamente, as normas norte-americanas utilizam o sistema imperial de unidades, logo uma comparação direta entre a NBR 6123/1988 é inválida. Segundo Blessmann (1990b, p. 11), além dessa diferença de unidades, o Comitê Conjunto ACI-ASCE utiliza na determinação da velocidade de referência uma carta de isopletas para um período de retorno de 100 anos, enquanto que a carta presente na NBR 6123/1988 (já apresentada neste trabalho) está para um período de recorrência de 50 anos. Além disso, a norma norte-americana também não leva em consideração, no cálculo da velocidade característica, as dimensões da edificação, a influência da topografia e não menciona um fator probabilístico referente à edificação em estudo.

Outra Norma que vale a menção é a francesa (GROUPE DE COORDINATION DES TEXTES², 1980 apud BLESSMANN, 1990b). Por essa Norma, toma-se como parâmetro meteorológico fundamental uma pressão dinâmica de base. Essa pressão é classificada em dois tipos: normal, correspondente ao estado de serviço; e extrema correspondente ao estado último. Na determinação dos valores dessa pressão dinâmica de base, a França foi dividida em 3 regiões e cada uma tem seus respectivos valores para as pressões dinâmicas de base normal e extrema.

Na Norma francesa, a variação da velocidade com a altura da edificação é considerada. Mas, diferentemente na Norma brasileira, a influência da rugosidade do terreno é desconsiderada. Já a influência das dimensões da edificação é dada por um coeficiente de redução das pressões dinâmicas em superfícies grandes, que varia de 1,0 e 0,70. Essa variação é função da maior superfície de barlavento (região de onde sopra o vento, em relação a edificação) e da altura total da edificação (BLESSMANN, 1990b, p. 15)

A NV-1980 também considera a topografia do terreno na determinação das forças devidas ao vento em edificações. O efeito de sítio corresponde ao fator S_1 presente na NBR 6123/1988 e divide-se em três classes (BLESSMANN, 1990b, p. 15), ou seja, sítio:

- a) protegido: vales cercados de morros por todos os lados;
- b) normal: planícies ou planaltos de grande extensão;
- c) exposto: na vizinhança do mar, o litoral em geral; no interior, vales estreitos.

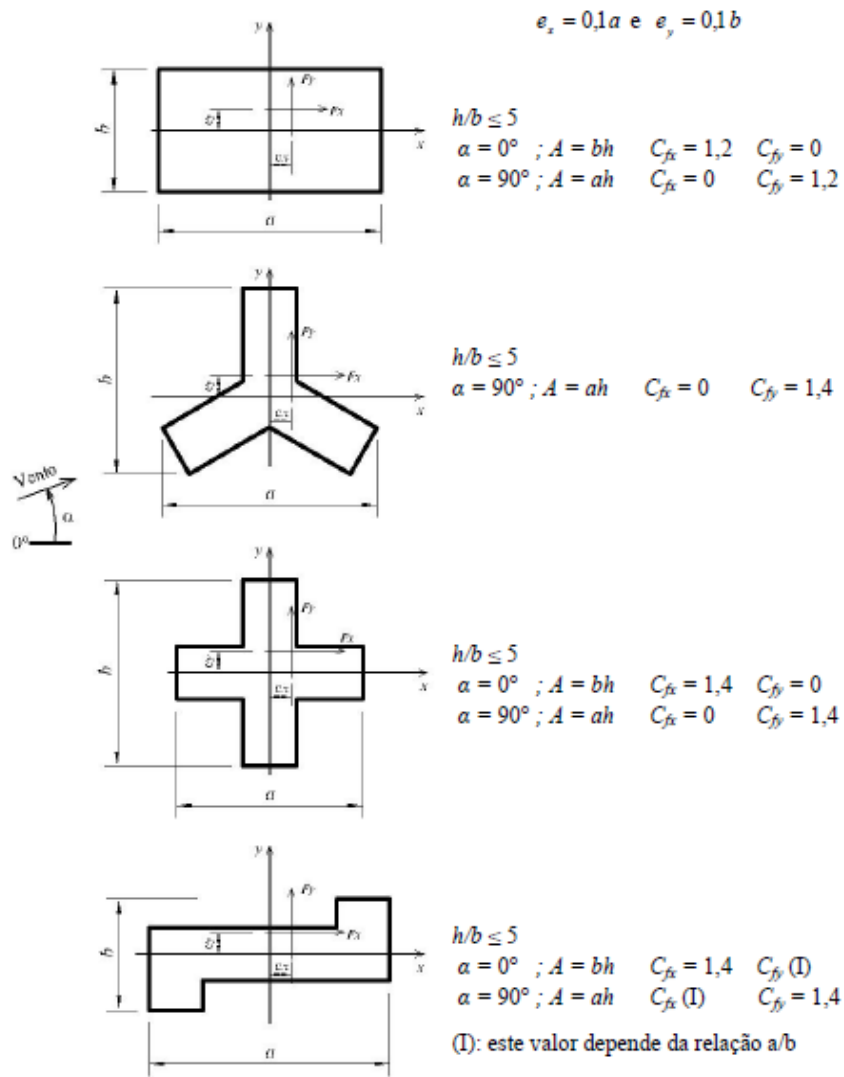
Assim como a NBR 6123/1988, a Norma francesa também considera um efeito de vizinhança. Esse efeito aparece quando outras construções interferem no escoamento no vento em uma edificação. A vizinhança normalmente agrava a ação do vento, seja por efeito Venturi (uma redução da seção de escoamento, aumentando a velocidade do mesmo), por deflexão do vento para baixo ou por turbilhonamento na esteira das construções (BLESSMANN, 1990b, p. 16).

A Norma Alemã DIN-1055³ (DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG 1977 apud CARPEGIANI, 2004, p. 40) por sua vez, apresenta coeficientes de arrasto para outros três tipos de secção transversal de edifícios além da retangular, conforme a figura 7.

² GROUPE DE COORDINATION DES TEXTES TECHNIQUES. **Règles NV 65**: Règles définissant les effets de a neige et du vent sur les constuctions. 1980

³ DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG. **DIN -1055**. Lastannahmen für Bauten. Teil 45, seite 3 Berlin. 1977

Figura 7 – Instruções da norma alemã DIN-1055/1977



(fonte: CARPEGIANI, 2004, p. 41)

5 TÚNEIS DE VENTO

Neste capítulo, descreve-se o Laboratório de Aerodinâmica das Construções da Universidade Federal do Rio Grande do Sul e os procedimentos que são adotados quando se pretende simular o vento natural na realização de ensaios em modelos reduzidos.

5.1 O TÚNEL DE VENTO PROF. JOAQUIM BLESSMANN

Loredou-Souza et al. (2012, não paginado) descreve o Túnel de Vento Prof. Joaquim Blessmann: trata-se de um túnel de vento de camada limite, com um circuito fechado. É considerado de camada limite, pois simula a camada limite atmosférica, permitindo estudar melhor as principais características dos ventos naturais. Com hélices acionadas por um motor elétrico de 100HP, a velocidade máxima do escoamento no interior da câmara principal de ensaios pode superar os 160 km/h, sem modelos na prancha de ensaios.

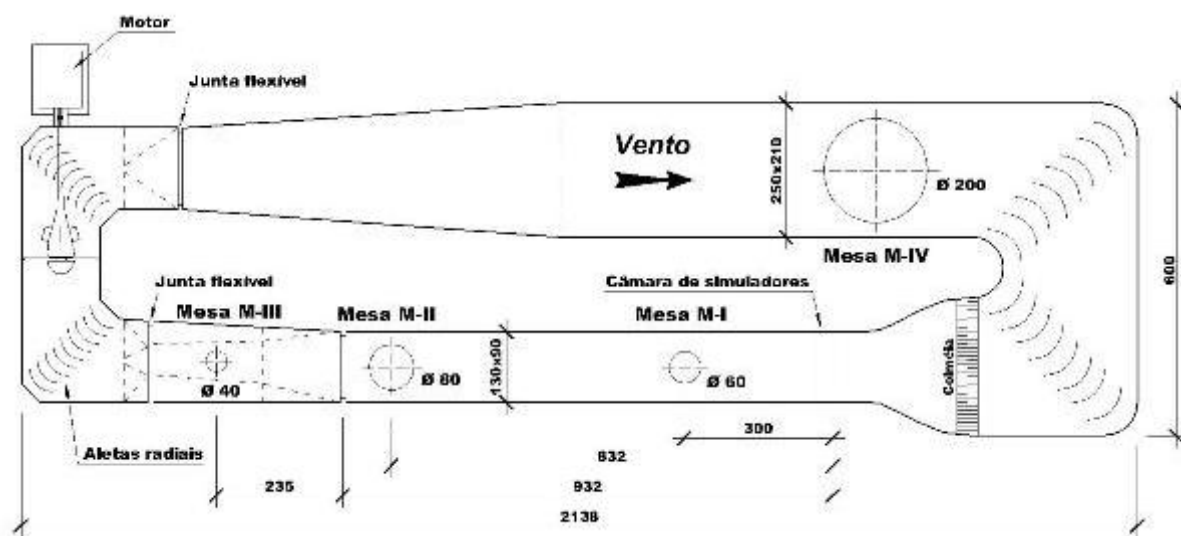
O próprio professor Blessmann (1990a, p. 114) indica que no túnel que hoje leva o seu nome, operante desde 1977, pode-se desenvolver estudos a respeito dos efeitos estáticos e dinâmicos sobre construções civis em geral. Cada uma das quatro mesas giratórias do túnel tem uma finalidade:

- a) mesa M-I: usada em ensaios de tipo aeronáutico no piso do túnel; pesquisas básicas em formas geométricas simples e ensaios para construções civis com geradores de turbulência instalados na câmara de simuladores;
- b) mesa M-II: ensaios no eixo do túnel; ensaios para construções civis com blocos colocados no piso e/ou geradores de turbulência na câmara de simuladores;
- c) mesa M-III: focada para estudos de efeitos dinâmicos em estruturas altas, como por exemplo chaminés, pilares de viadutos, torres de televisão, de micro-ondas e mastros;
- d) mesa M-IV: pode-se realizar ensaios de dissipação de fumaça e gases industriais e modelos de pontes.

Na câmara principal de ensaios, com dimensões de 1,3 x 0,9 x 9,32 m (largura x altura x profundidade), além de ensaios nos quais são estudados os efeitos estáticos e dinâmicos do vento em estruturas, paredes, telhados, esquadrias e painéis de revestimento em geral, no

Túnel de Vento Prof. Joaquim Blessmann são realizados ensaios para se estudar os efeitos do vento sobre usuários das edificações, a dispersão de poluentes na atmosfera, ensaios em modelos de veículos, estudos hidráulicos por vias aerodinâmicas e estudos das alterações causadas por edificações sobre os ventos próximos à superfície. Na figura 8 tem-se uma visão esquemática do circuito do Laboratório (BLESSMANN, 1990a, p. 120-121).

Figura 8 – Desenho esquemático do Túnel de Vento Prof. Joaquim Blessmann



(fonte: BLESSMANN, 1990a, p. 115)

5.2 SIMULAÇÃO DO VENTO NATURAL

A determinação das forças causadas pelo vento com o uso de ensaios em modelos reduzidos é feita desde 1891, quando Kernot e Mann desenvolveram pesquisas sobre modelos com formas geométricas variadas, como, por exemplo, cubos, cilindros, telhados, vigas de alma cheia e até mesmo vigas em treliça. Em Paris, Eiffel realizou seus primeiros ensaios na torre que leva seu nome deixando objetos caírem em queda livre com um cabo-guia (BLESSMANN, 1990a, p. 110).

Blessmann (1990a, p. 110-111) indica que os primeiros túneis de vento foram construídos no fim do século XIX. O primeiro, aparentemente foi feito na Inglaterra em 1871, por Francis Herbert Wenham. Até o começo do século seguinte, os túneis eram usados para o estudo de construções e sólidos geométricos simples. Mas, com o crescimento da aviação, os túneis

começaram a se desenvolver para atender as necessidades deste tipo de transporte. Diferentemente da Engenharia Civil, a aeronáutica foca em um escoamento uniforme e não turbulento, como a atmosfera onde trafegam os aviões. Os túneis para esse tipo de ensaio têm como relação **comprimento/altura** da câmara de ensaios aproximadamente dois, enquanto que nos túneis voltados para ensaios de vento natural essa relação é bem maior (em torno de dez).

Blessmann (1990a, p. 113) ainda indica os parâmetros que um túnel de vento que pretende simular o vento natural deve ter. Segundo ele, o uso de obstáculos colocados no início das câmaras de ensaio conseguem simular as rajadas e a não uniformidade do vento natural. Entre esses obstáculos, pode-se citar:

- a) telas curvas ou planas com malhas variáveis: simulam um perfil de velocidades médias e turbulência fina;
- b) grelhas de barras horizontais: simular o perfil de velocidades médias e turbulência média;
- c) tela uniforme: usada para simular turbulência fina sobreposta a uma corrente de ar uniforme;
- d) triângulos cheios ou vazados, de diversas proporções, retos ou curvos: simulam um perfil de velocidades e a turbulência.

O mesmo autor indica que esses dispositivos podem ser usados sozinhos, dependendo do tipo de estrutura e da finalidade do ensaio. Uma grelha de barras horizontais pode se dimensionada para gerar turbulências de grandes intensidade e escala, mas mantêm a corrente de ar aproximadamente uniforme. Essas características são suficientes para se estudar vibrações em torres alteadas.

Para uma melhor reprodução das características do vento natural, é aconselhável uma combinação dos dispositivos citados com blocos espalhados no piso da câmara de ensaios. Uma grelha e rugosidades no piso da câmara podem gerar um perfil de velocidades médias de acordo com o vento natural e uma turbulência com estrutura satisfatória (BLESSMANN, 1990a, p. 113).

Um cuidado que deve se tomar com esses dispositivos físicos para a simulação das características do vento natural é a diminuição da velocidade do escoamento. Grelhas com malhas quadradas podem, dependendo do índice de área exposta, causar uma redução de cerca de 80% na velocidade média do túnel (BLESSMANN, 1990a, p. 113).

Caso a redução da velocidade média obtida no túnel deva ser evitada a todo custo, as características do vento natural podem ser simuladas por meios puramente aerodinâmicos. Desde 1971, jatos de ar lançados perpendicularmente ao vento gerado no túnel são usados para reproduzir as características e estrutura do vento natural. Com isso, a velocidade média da corrente de ar aumenta devido à quantidade de movimento adicionada a corrente pelos jatos transversais. Outra vantagem desse processo é a facilidade de controle das características do vento, que é feito durante o ensaio regulando a saída dos jatos por meio de registros. Uma desvantagem é que esse método só simula o perfil de velocidades, porém pode ser usado em conjunto com obstáculos sólidos para se obter a turbulência adequada.

5.3 ENSAIOS COM MODELOS REDUZIDOS

Nos ensaios com modelos reduzidos, devem ser simulados todos os detalhes significativos da edificação em estudo assim como os edifícios mais significativos na vizinhança do prédio a ser estudado. Tais medidas garantem que as condições de semelhança sejam preservadas (LOREDO-SOUZA et al., 2012). Na figura 9 tem-se uma imagem de um modelo usado para ensaio em túnel de vento.

A localização dos pontos de tomada de pressão deve ser feita de tal maneira que seja possível um levantamento representativo das pressões em toda a edificação. Além disso, a maioria dos ensaios, as medidas de pressão são feitas a cada 15° , girando-se o modelo de 360° a partir de um referencial definido antes do ensaio (LOREDO-SOUZA et al., 2012). A modelagem da vizinhança do edifício em estudo também se faz necessária, já que muitas vezes prédios vizinhos fazem com que o escoamento mude.

Blessmann (1990a, p. 40) indica o procedimento para se medir a pressão estática nos pontos de tomada de pressão. Quando se faz um pequeno orifício em um obstáculo dentro de um fluido em escoamento, inicialmente as arestas deste orifício criam pequenos turbilhões e uma superfície de descontinuidade. Depois de desenvolvidos e afastados os primeiros turbilhões, o orifício enche-se do fluido, que fica estagnado em seu interior. Como não há descontinuidade na superfície de separação, a pressão no entalhe e no fluxo contíguo é a mesma.

Figura 9 – Modelo reduzido utilizado em ensaios



(fonte: LOREDO-SOUZA et al., 2012)

Ligando o entalhe por um tubo a um aparelho de medidor de pressão, tem-se a pressão estática do fluido em escoamento no ponto da tomada. Para que isso seja possível, o orifício deve atender a algumas características. Como citado anteriormente, ele deve ser pequeno o suficiente para que o fluido permaneça em repouso em seu interior, possuir uma profundidade (antes de qualquer mudança de direção) de no mínimo duas vezes seu diâmetro caso seja circular, e seu eixo não pode desviar mais de 10° da normal à parede em que se encontra (BLESSMANN, 1990a, p. 40).

Blessmann (1990a, p. 41) também indica que é importante não haver rebarbas nem saliências, visto que tais imperfeições causam uma diferença entre a pressão no interior do orifício e no fluido em movimento, além de causarem turbilhões que alteram as condições do escoamento a jusante do ponto. O autor também traz que, de modo geral, as tomadas possuem diâmetro entre 0,3 e 1 mm, sempre se admitindo um arredondamento ou biselamento moderado da borda do mesmo. Além disso, o autor lembra que orifícios muito pequenos entopem com mais facilidade.

Nos ensaios, a partir da série temporal das pressões devidas ao vento, os coeficientes de pressão médios nas faces externas do modelo são calculados segundo as fórmulas 4 e 5 (LOREDO-SOUZA et al., 2012, não paginado):

$$c_{p\text{médio}} = \frac{1}{T} \int_0^T p(t) dt / q \quad (\text{fórmula 4})$$

$$q = 0,5 \times \rho \times (V_{\text{média}})^2 \quad (\text{fórmula 5})$$

Onde:

$c_{p\text{médio}}$ = coeficiente de pressão médio;

T = período de amostragem;

p(t) = pressão instantânea, na superfície da edificação, medida em relação à pressão estática de referência;

t = tempo;

q = pressão dinâmica de referência;

ρ = massa específica do ar;

$V_{\text{média}}$ = velocidade média de referência.

Com os coeficientes de pressão média calculados em cada ponto de tomada de pressão e com a área de influência de cada ponto, pode-se calcular os coeficientes de forma através da integração numérica indicada na fórmula 6 (LOREDO-SOUZA et al., 2012, não paginado):

$$C = \frac{1}{A} \int_A c_{pm\acute{e}dio} dA \quad (\text{f\acute{o}rmula 6})$$

Onde:

C = coeficiente de forma

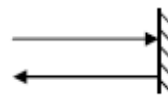
$c_{pm\acute{e}dio}$ = coeficiente de press\~{a}o m\~{e}dio;

A = \~{a}rea da face do modelo onde \~{e} feita a integra\~{c}\~{a}o;

Loredo-Souza et al. (2012, n\~{a}o paginado) tamb\~{e}m indicam o sinal dado para os coeficientes calculados. Em relat\~{o}rios t\~{e}cnicos, como os usados nesse trabalho, \~{e} fornecida a figura 10 como refer\~{e}ncia.

Figura 10 – Conven\~{c}\~{a}o de sinais para coeficientes

- coeficientes positivos: sobrepress\~{a}o (+)
- coeficientes negativos: suc\~{c}\~{a}o (-)



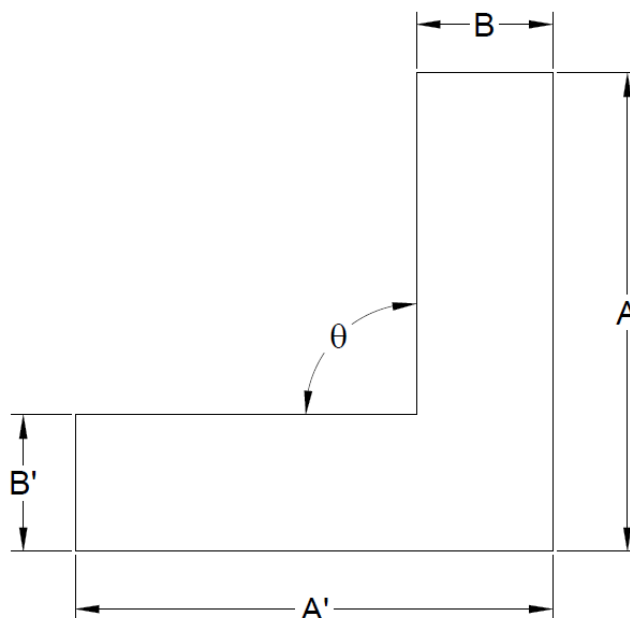
(fonte: LOREDO-SOUZA et al., 2012)

6 MODELOS ESTUDADOS

Nesse capítulo são apresentados os edifícios estudados, assim como os resultados mais relevantes para este estudo disponíveis nos ensaios realizados no LAC. Para efeitos de simplificação, foram utilizados os resultados realizados com os modelos isolados. O nome dos edifícios ensaiados no LAC foi mandado em sigilo, visto que os estudos foram requisitados por empresas privadas. Sendo assim, os edifícios são identificados como L1, L2, L3 e L4.

Antes de apresentar os modelos estudados, convém indicar quais dimensões foram levadas em consideração na busca por um padrão na distribuição de pressões em edificações com planta baixa em forma de "L". Na figura 11 têm-se essas dimensões. Juntamente com o comprimento e a largura de cada "asa", o ângulo entre as asas também foi levado em consideração.

Figura 11 – Edificação genérica



(fonte: elaborado pelo autor)

Para os modelos estudados, foram analisadas as relações A/A' e B/B' , para verificar se há simetria entre as asas; e A/B' e A'/B , que são as relações verificadas na NBR 6123/1988.

6.1 EDIFÍCIO L1

O edifício L1 foi ensaiado no Laboratório de Aerodinâmica das Construções em 2003⁴. Na figura 12 tem-se um desenho indicando o sistema de coordenadas adotado no ensaio, assim como os ângulos de incidência do vento e as dimensões do edifício construído.

Na mesma figura, têm-se as dimensões usadas na avaliação dos coeficientes de pressão e forma. Para efeitos desse trabalho, foi desconsiderado o chanfro presente no edifício e que as duas asas se cruzam formando um ângulo de 90°.

Para este modelo, as relações entre as dimensões estão representadas na tabela 4. Percebe-se que este modelo apresenta certa simetria entre as duas asas, traduzida pelos valores idênticos nas relações estudadas.

Na tabela 5, está exposta uma parte do resultado do ensaio realizado neste edifício. Nela estão os coeficientes de forma obtidos nas primeiras 15 zonas para os primeiros 13 ângulos de incidência do vento no modelo.

Com o auxílio da fórmula 6 apresentada neste trabalho, foram calculados os coeficientes de forma para cada fachada a partir dos coeficientes da tabela 5. Nas figuras de 13 a 16 está traçada a variação destes coeficientes em cada fachada de acordo com a variação do ângulo de ataque do vento no modelo. Na tabela 6 em seguida pode-se consultar diretamente esses valores.

Tabela 4 – Relações dimensões em planta L1

RELAÇÃO	VALOR
A/B	4,1
A'/B'	4,8
A/B'	4,1
A'/B	4,8

(fonte: elaborada pelo autor)

⁴ Informações obtidas do relatório Ação Estática do Vento. Relatório elaborado em 2003 pelo Laboratório de Aerodinâmica das Construções da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Figura 11 – Referência do ângulo de incidência do vento e medidas Edifício L1

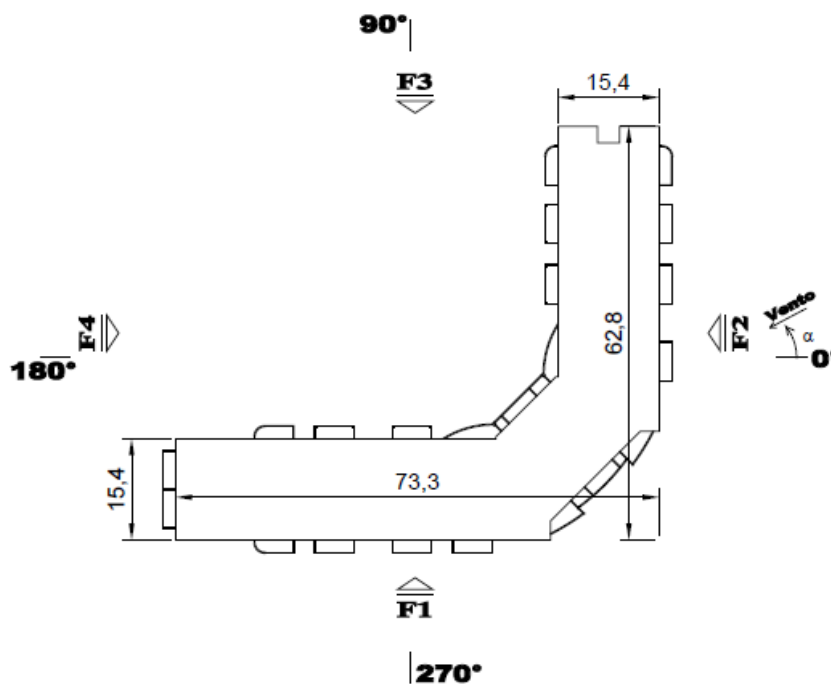
(fonte: trabalho não publicado)⁵

Tabela 5 – Coeficientes de forma Edifício L1

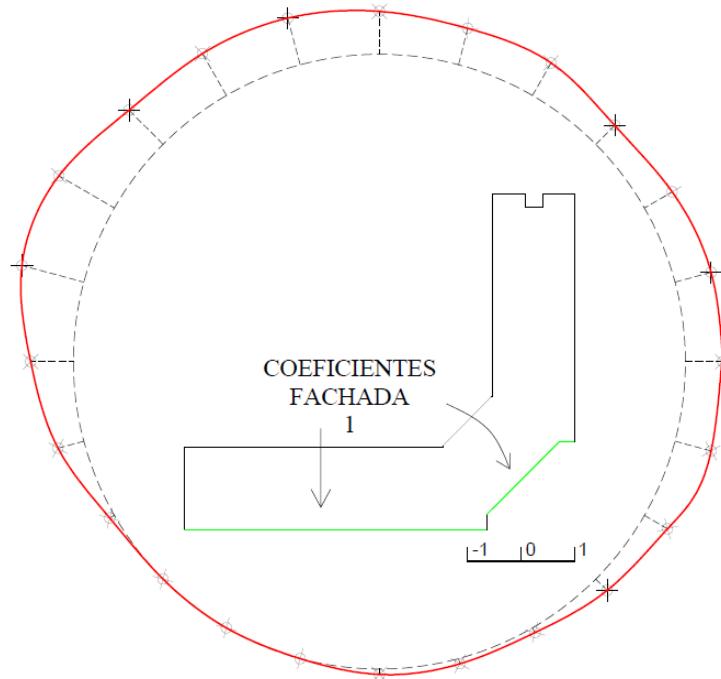
Zona	0°	15°	30°	45°	60°	75°	90°	105°	120°	135°	150°	165°	180°
V-A	0,0	-0,6	-0,8	-0,9	-0,8	-0,9	-0,9	-0,9	-0,8	-0,8	-1,1	-1,0	-0,9
IV-A	0,0	-0,4	-0,8	-0,9	-0,8	-0,8	-0,9	-0,9	-0,7	-0,8	-1,1	-1,0	-0,9
III-A	0,1	-0,3	-0,7	-0,9	-0,8	-0,7	-0,8	-0,9	-0,7	-0,9	-1,1	-1,0	-0,8
II-A	0,1	-0,2	-0,6	-0,8	-0,8	-0,7	-0,7	-0,9	-0,8	-0,9	-1,0	-0,9	-0,7
I-A	0,0	-0,2	-0,4	-0,7	-0,8	-0,8	-0,8	-0,9	-0,8	-0,8	-1,0	-0,9	-0,8
V-B	-0,4	-0,6	-0,9	-1,0	-1,1	-1,2	-1,3	-1,0	-0,7	-0,8	-1,1	-1,0	-0,8
IV-B	-0,2	-0,5	-0,7	-0,9	-0,8	-0,8	-0,9	-0,9	-0,7	-0,9	-1,1	-1,0	-0,9
III-B	0,0	-0,3	-0,7	-0,8	-0,7	-0,7	-0,8	-0,9	-0,7	-0,9	-1,0	-1,0	-0,8
II-B	0,0	-0,2	-0,5	-0,8	-0,8	-0,7	-0,7	-0,9	-0,7	-0,9	-1,0	-0,9	-0,8
I-B	0,3	0,0	-0,3	-0,6	-0,6	-0,7	-0,8	-0,9	-0,7	-0,8	-0,9	-0,8	-0,7
V-C	-0,2	0,0	-0,2	-0,3	0,0	-0,2	-0,7	-1,0	-0,8	-0,8	-1,1	-1,0	-0,9
IV-C	0,6	0,5	0,2	0,0	-0,3	-0,5	-1,0	-1,1	-0,8	-0,8	-1,0	-1,0	-0,8
III-C	0,6	0,4	0,2	-0,1	-0,3	-0,5	-0,9	-1,1	-0,8	-0,8	-1,0	-0,9	-0,8
II-C	0,5	0,3	0,1	-0,2	-0,4	-0,5	-0,8	-1,0	-0,8	-0,8	-1,0	-0,7	-0,7
I-C	0,5	0,4	0,2	-0,1	-0,3	-0,5	-0,8	-1,0	-0,8	-0,7	-0,8	-0,8	-0,7

(fonte: trabalho não publicado)⁶

⁵ Informações obtidas do relatório Ação Estática do Vento. Relatório elaborado em 2003 pelo Laboratório de Aerodinâmica das Construções da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

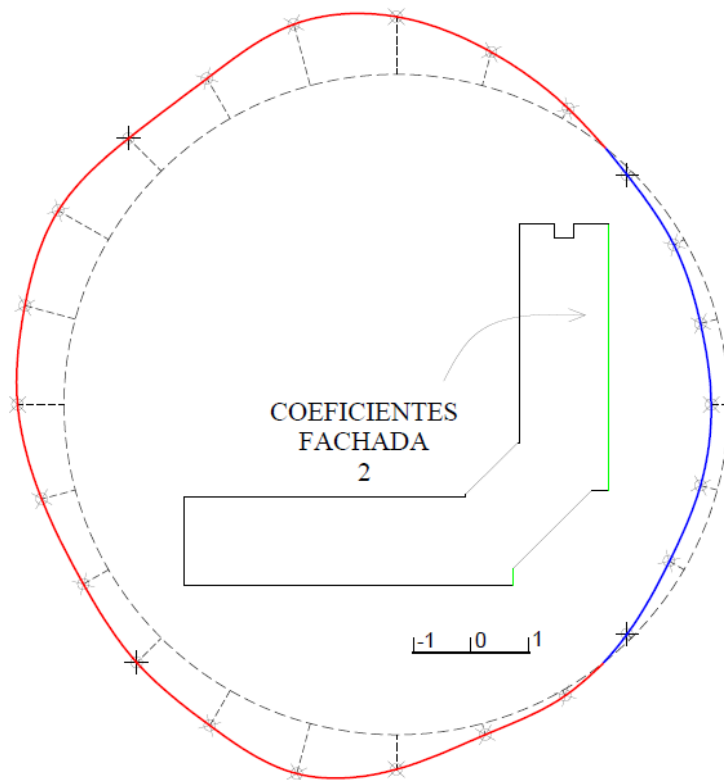
⁶idem.

Figura 13 – Coeficientes de forma para fachada 1 Edifício L1



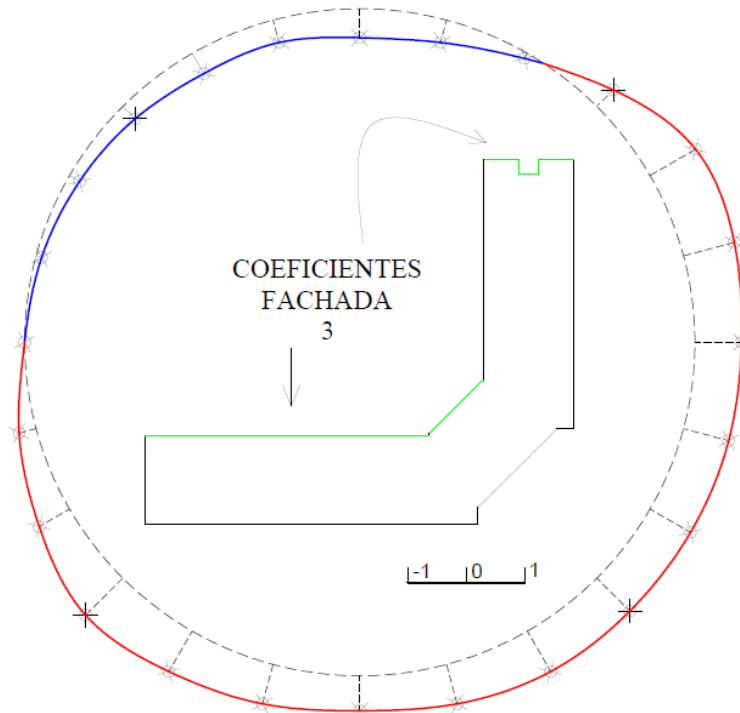
(fonte: elaborada pelo autor)

Figura 14 – Coeficientes de forma para fachada 2 Edifício L1



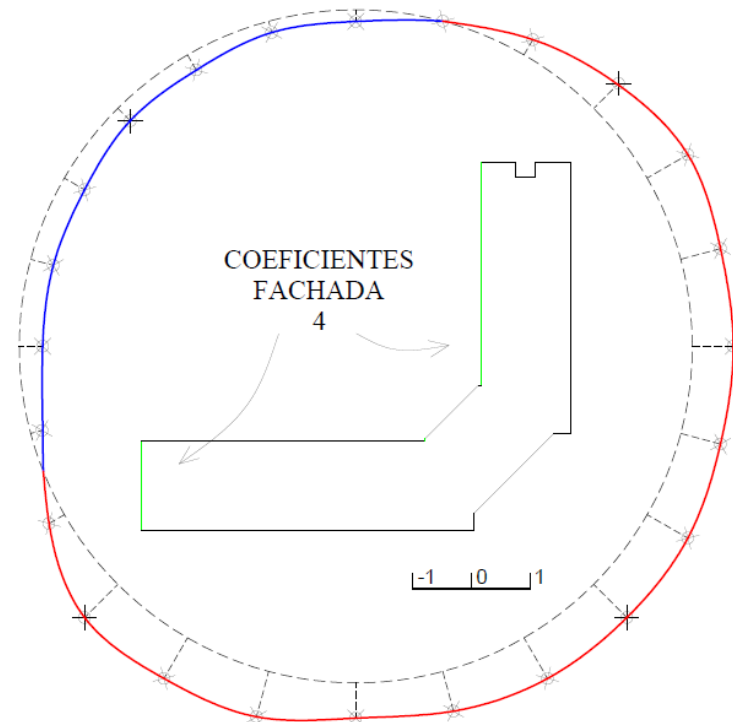
(fonte: elaborada pelo autor)

Figura 15 – Coeficientes de forma para fachada 3 Edifício L1



(fonte: elaborada pelo autor)

Figura 16 – Coeficientes de forma para fachada 4 Edifício L1



(fonte: elaborada pelo autor)

Tabela 6 – Coeficientes de forma por fachada Edifício L1

FACHADA	1	2	3	4
0°	-0,7	0,3	-0,8	-0,7
15°	-0,7	0,3	-0,9	-0,7
30°	-0,6	0,2	-0,9	-0,8
45°	-0,5	0,1	-0,4	-0,6
60°	-0,7	-0,2	0,1	-0,3
75°	-0,7	-0,6	0,4	0,0
90°	-0,8	-1,0	0,5	0,2
105°	-0,9	-1,1	0,4	0,2
120°	-0,9	-0,8	0,4	0,3
135°	-0,9	-0,8	0,3	0,3
150°	-1,2	-1,0	0,2	0,4
165°	-1,2	-0,9	0,1	0,4
180°	-0,8	-0,8	0,0	0,4
195°	-0,5	-0,6	-0,3	0,2
210°	-0,1	-0,5	-0,6	-0,3
225°	0,0	-0,6	-0,9	-0,8
240°	0,0	-0,7	-0,8	-0,8
255°	0,0	-0,9	-0,7	-0,8
270°	-0,1	-0,6	-0,6	-0,6
285°	-0,1	-0,2	-0,7	-0,7
300°	-0,1	-0,1	-0,8	-0,8
315°	-0,3	0,1	-0,8	-0,8
330°	-0,5	0,3	-0,8	-0,8
345°	-0,7	0,3	-0,8	-0,7

(fonte: elaborada pelo autor)

6.2 EDIFÍCIO L2

O segundo edifício estudado foi ensaiado no LAC em 2013.⁷ Na figura 17, tem-se as dimensões que são levadas em consideração nesse relatório e a referência para o ângulo de incidência do vento. A exemplo do que foi feito no Edifício L1, os chanfros e dentes foram desconsiderados para que o modelo fique com uma planta baixa com forma mais parecida possível com um "L".

⁷ Informações obtidas do relatório Ação Estática do Vento. Relatório elaborado em 2012 pelo Laboratório de Aerodinâmica das Construções da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Na tabela 7 têm-se as relações entre dimensões que foram analisadas nesse trabalho. Pode-se perceber que este Edifício não possui as asas tão simétricas quanto o anterior. Já na tabela 8 estão presentes alguns dos resultados obtidos para os coeficientes de pressão (e não de forma, como no Edifício anterior) quando este edifício foi ensaiado no Túnel de Vento Prof. Joaquim Blessmann.

Tabela 7 – Relações dimensões em planta L2

RELAÇÃO	VALOR
A/B	1,3
A'/B'	4,2
A/B'	2,5
A'/B	2,1

(fonte: elaborada pelo autor)

Usando a fórmula 6 apresentada no capítulo anterior, foi possível traçar a variação do coeficiente de forma em cada fachada em relação ao ângulo de ataque do vento no modelo. Nas figuras 18, 19, 20 e 21 a seguir, o círculo tracejado ao redor da planta baixa do edifício indica coeficiente igual a zero. A linha vermelha indica que a fachada está sujeita a sucção, e a linha azul indica que a fachada está submetida a uma sobrepressão.

Figura 17 – Referência do ângulo de incidência do vento e medidas Edifício L2

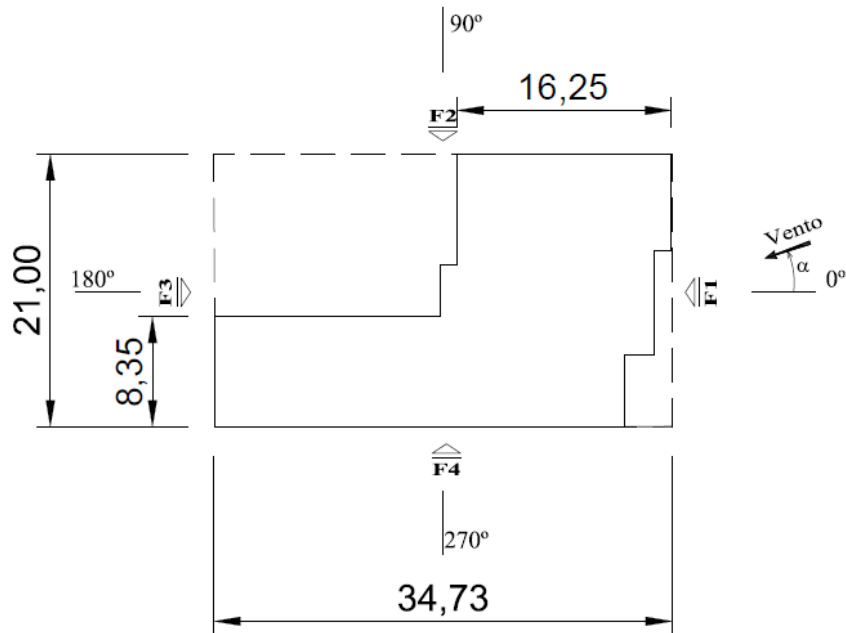
(fonte: trabalho não publicado)⁸

Tabela 8 – Coeficientes de pressão Edifício L2

Tomada	méd.	Tomada	méd.	Tomada	méd.	Tomada	méd.
1	-0,28	61	0,42	121	-0,76	181	-0,66
2	-0,49	62	0,42	122	-0,70	182	-0,52
3	-0,38	63	-0,79	123	-0,73	183	-0,50
4	-0,36	64	-0,78	124	-0,73	184	-0,49
5	0,12	65	-0,76	125	-0,70	185	-0,50
6	0,19	66	-0,64	126	-0,65	186	-0,51
7	0,35	67	-0,55	127	-0,52	187	-0,49
8	0,39	68	-0,51	128	-0,49	188	-0,49
9	0,29	69	-0,49	129	-0,48	189	-0,51
10	0,25	70	-0,47	130	-0,48	190	-0,53
11	0,02	71	-0,47	131	-0,50	191	-0,46
12	-0,65	72	-0,48	132	-0,48	192	-0,44
13	-0,49	73	-0,51	133	-0,48	193	-0,46
14	-0,50	74	-0,54	134	-0,50	194	-0,53
15	-0,48	75	-0,45	135	-0,53	195	-0,55
16	-0,26	76	-0,52	136	-0,42	196	-0,58
17	-0,36	77	-0,45	137	-0,40	197	-0,65

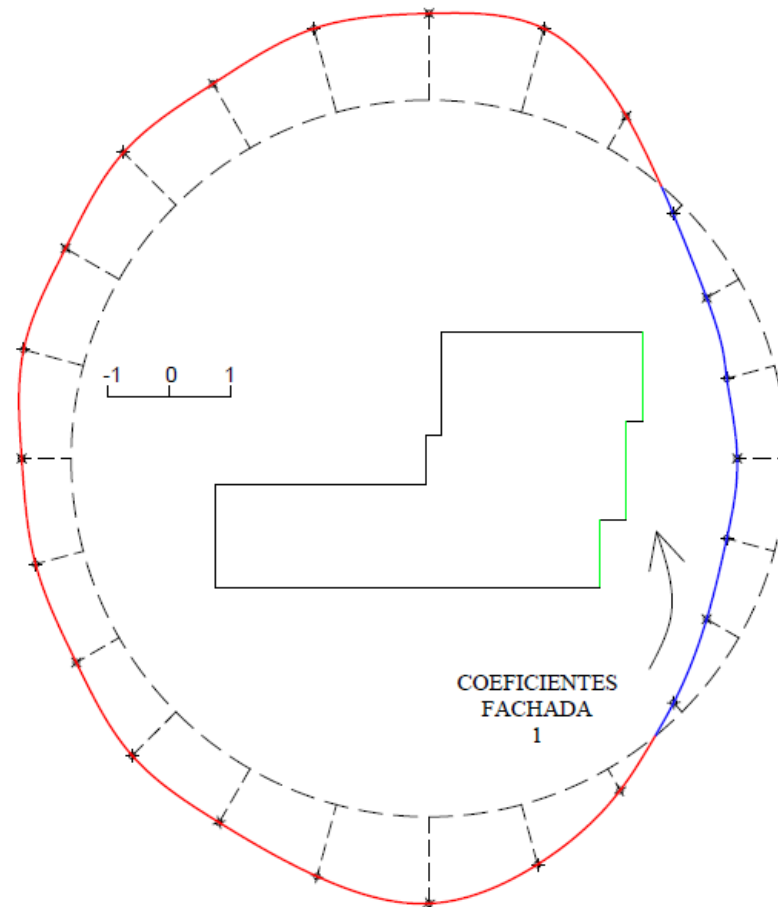
(fonte: trabalho não publicado)⁹

⁸ Informações obtidas do relatório Ação Estática do Vento. Relatório elaborado em 2012 pelo Laboratório de Aerodinâmica das Construções da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

⁹ idem.

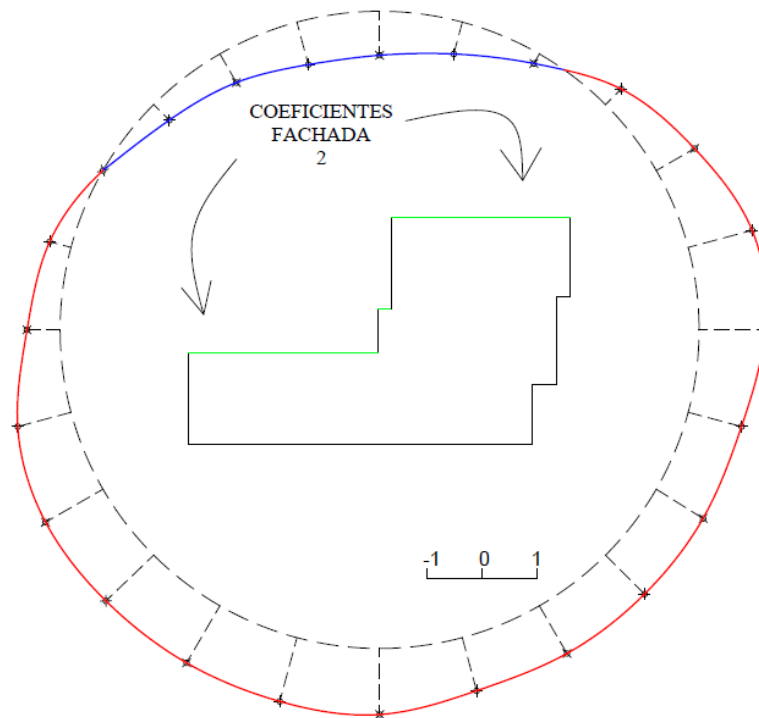
Na tabela 8 estão os coeficientes de forma em cada fachada para cada ângulo de incidência do vento. Conforme o previsto, para ângulos de ataque aproximadamente perpendiculares às fachadas, têm-se sobrepressão. Outro fato que merece destaque é que, em módulo, as sucções são maiores que as sobrepressões em cada fachada.

Figura 18 – Coeficientes de forma para fachada 1 Edifício L2



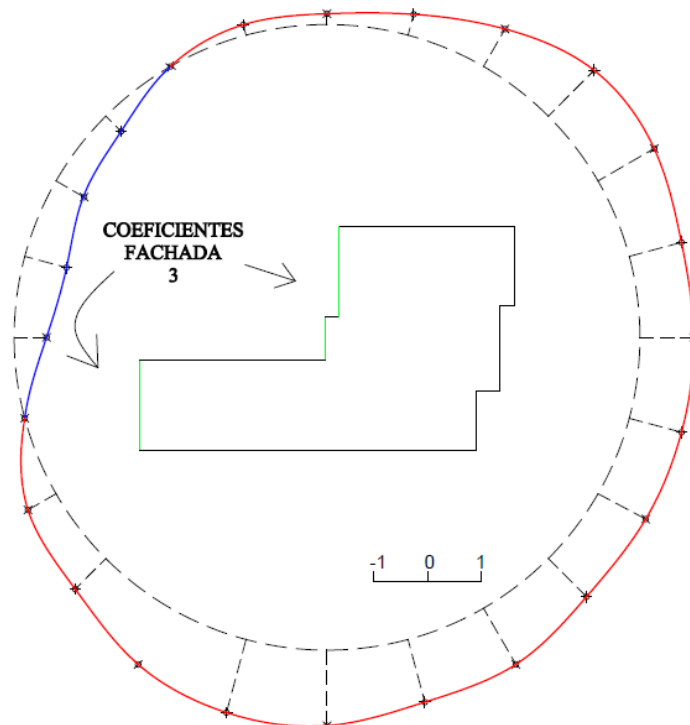
(fonte: elaborada pelo autor)

Figura 19 – Coeficientes de forma para fachada 2 Edifício L2



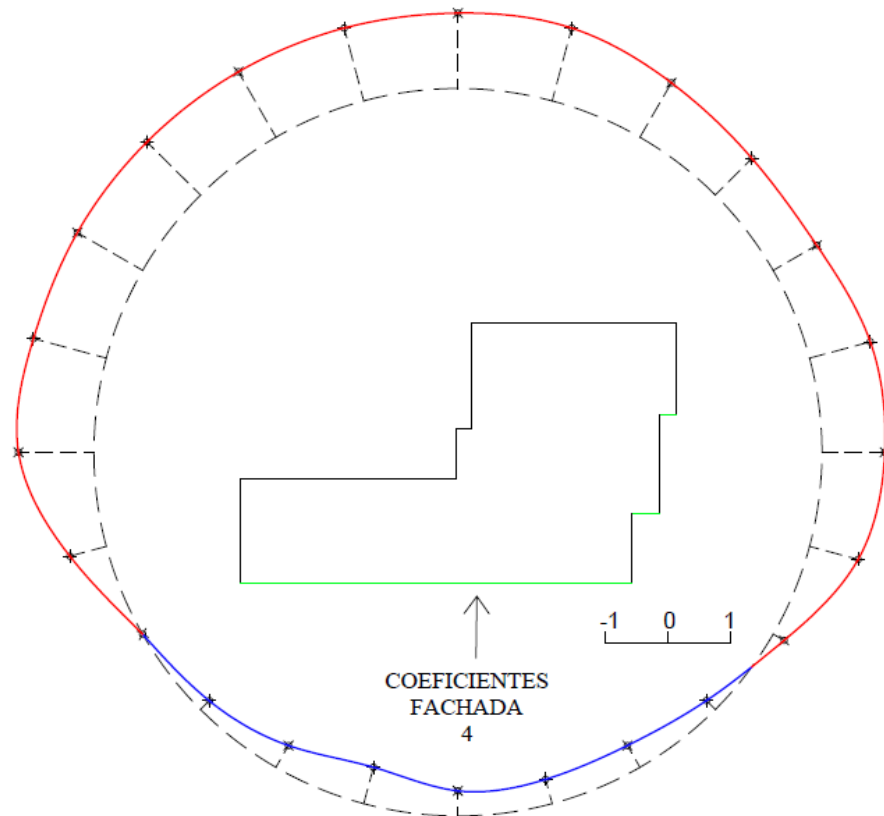
(fonte: elaborada pelo autor)

Figura 20 – Coeficientes de forma para fachada 3 Edifício L2



(fonte: elaborada pelo autor)

Figura 21 – Coeficientes de forma para fachada 4 Edifício L2



(fonte: elaborada pelo autor)

Tabela 9 – Coeficientes de pressão por fachada Edifício L2

FACHADA	1	2	3	4
0°	0,4	-0,6	-0,5	-0,5
15°	0,4	-0,6	-0,5	-0,5
30°	0,3	-0,4	-0,6	-0,4
45°	0,1	-0,2	-0,6	-0,4
60°	-0,3	0,1	-0,4	-0,5
75°	-0,7	0,3	-0,2	-0,6
90°	-0,7	0,4	-0,1	-0,6
105°	-0,7	0,4	-0,1	-0,6
120°	-0,6	0,3	0,0	-0,6
135°	-0,6	0,2	0,2	-0,6
150°	-0,5	0,0	0,3	-0,6
165°	-0,5	-0,2	0,4	-0,6
180°	-0,4	-0,3	0,3	-0,6
195°	-0,4	-0,5	0,0	-0,3
210°	-0,4	-0,6	-0,3	0,0
225°	-0,5	-0,6	-0,4	0,1
240°	-0,5	-0,6	-0,6	0,2
255°	-0,6	-0,6	-0,7	0,3
270°	-0,7	-0,6	-0,7	0,2
285°	-0,5	-0,5	-0,6	0,2
300°	-0,2	-0,5	-0,6	0,2
315°	0,1	-0,5	-0,5	0,1
330°	0,3	-0,5	-0,5	-0,1
345°	0,4	-0,5	-0,5	-0,4

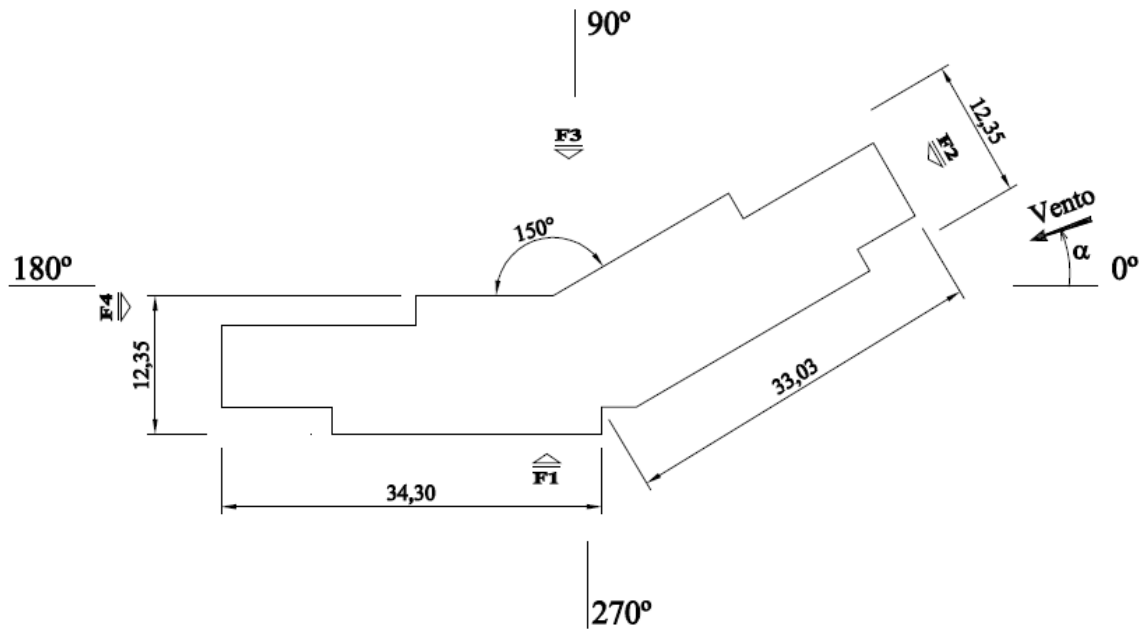
(fonte: elaborada pelo autor)

6. EDIFÍCIO L3

O Edifício L3 foi ensaiado no LAC em 2011. As asas na planta baixa não formam 90°, como nos últimos edifícios, como pode ser visto na figura 22. Na mesma figura estão as dimensões elevadas em consideração nesse trabalho, assim como o ângulo de referência para as incidências do vento. Assim com nos modelos mostrados anteriormente, os chanfros e dentes foram desprezados.

Na tabela 10 a seguir, estão as dimensões usadas nas análises deste trabalho. É importante ressaltar que as asas formam um ângulo de 150° . Já na tabela 11 estão alguns dos coeficientes de pressão obtidos no ensaio do modelo reduzido para esta edificação.

Figura 22 – Referência do ângulo de incidência do vento e medidas Edifício L3



(fonte: trabalho não publicado)¹⁰

Tabela 10 – Relações dimensões em planta L3

RELAÇÃO	VALOR
A/B	2,7
A'/B'	2,8
A/B'	2,7
A'/B	2,8

(fonte: elaborada pelo autor)

¹⁰ Informações obtidas do relatório Ação Estática do Vento. Relatório elaborado em 2011 pelo Laboratório de Aerodinâmica das Construções da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Tabela 11 – Coeficientes de pressão Edifício L3

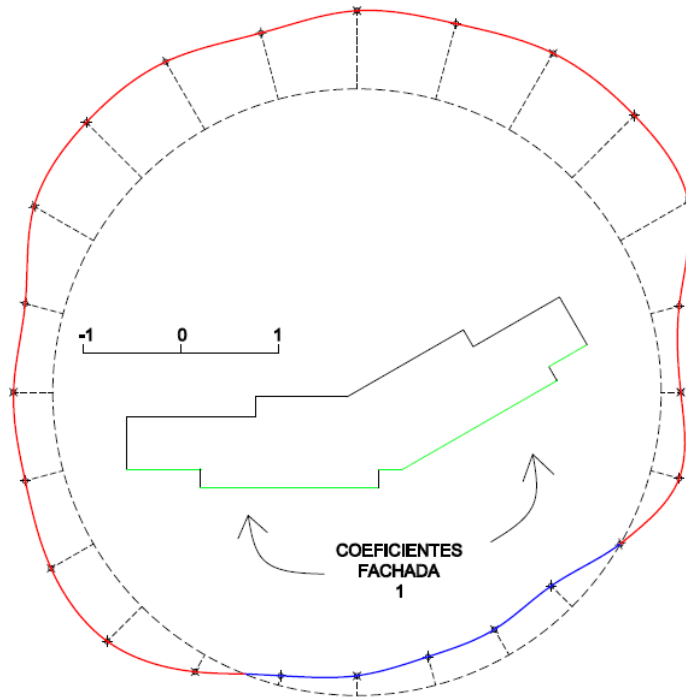
Tomada	méd.	Tomada	méd.	Tomada	méd.	Tomada	méd.
1	-0,39	61	-0,31	121	-0,64	181	0,60
2	-0,81	62	-0,35	122	-0,62	182	0,61
3	0,16	63	-0,35	123	0,25	183	0,56
4	0,12	64	-0,36	124	0,38	184	0,40
5	0,08	65	-0,40	125	0,37	185	0,13
6	0,15	66	-0,37	126	0,25	186	-0,59
7	0,15	67	-0,55	127	0,18	187	-0,60
8	0,30	68	-0,54	128	0,21	188	-0,61
9	0,29	69	-0,61	129	0,20	189	-0,63
10	-0,31	70	-0,67	130	0,03	190	-0,61
11	-0,30	71	-0,67	131	0,56	191	-0,63
12	-0,29	72	-0,65	132	0,52	192	-0,62
13	-0,31	73	-0,64	133	0,54	193	-0,64
14	-0,31	74	0,17	134	0,47	194	-0,64
15	-0,31	75	0,34	135	0,33	195	-0,65

(fonte: trabalho não publicado)¹¹

Com a fórmula 6 apresentada anteriormente neste trabalho, e os coeficientes de pressão medidos em cada ponto de tomada, foi possível calcular os coeficientes de forma para cada fachada do Edifício. Assim, nas figuras 23, 24, 25 e 26 a seguir estão os coeficientes para cada parede, em função do ângulo de ataque do vento no modelo, enquanto que esses valores podem ser conferidos na tabela 12.

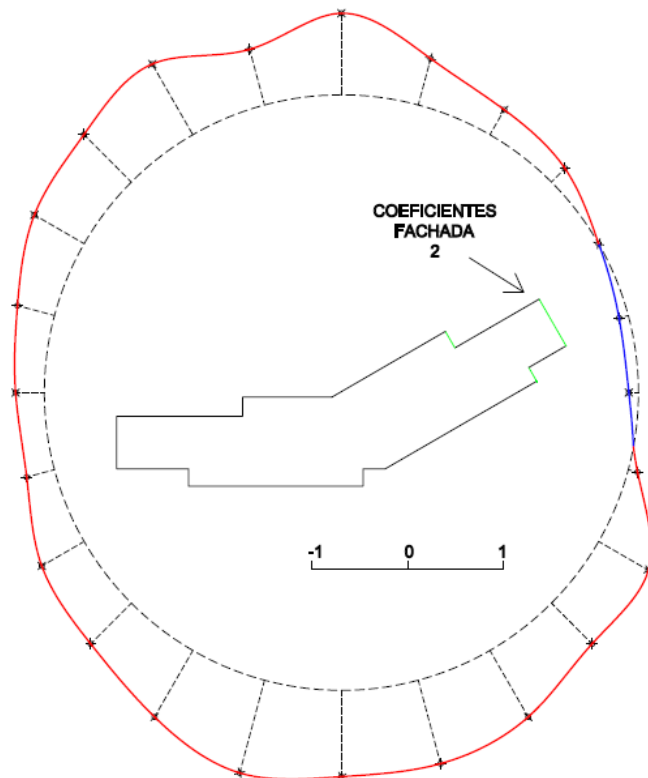
¹¹ Informações obtidas do relatório Ação Estática do Vento. Relatório elaborado em 2011 pelo Laboratório de Aerodinâmica das Construções da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Figura 23 – Coeficientes de forma para fachada 1 Edifício L3



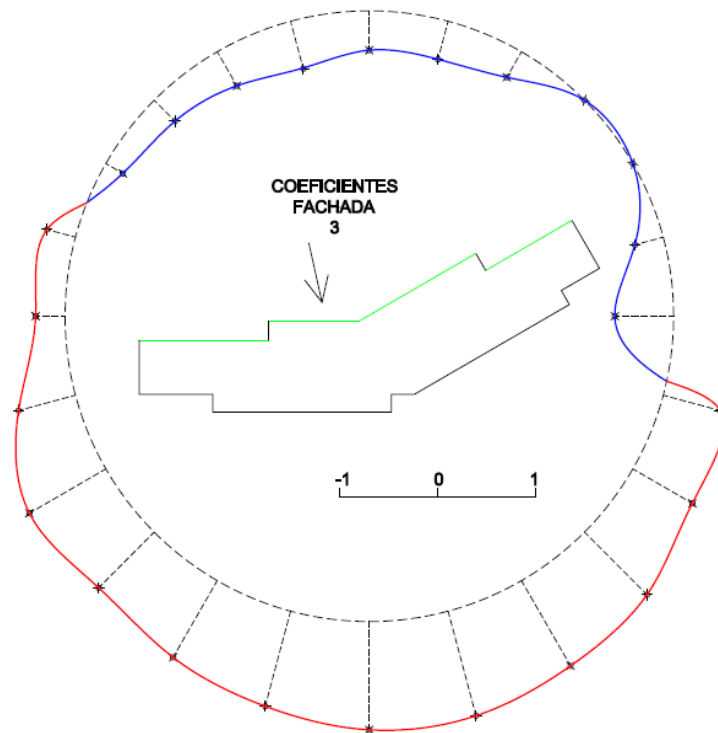
(fonte: elaborada pelo autor)

Figura 24 – Coeficientes de forma para fachada 2 Edifício L3



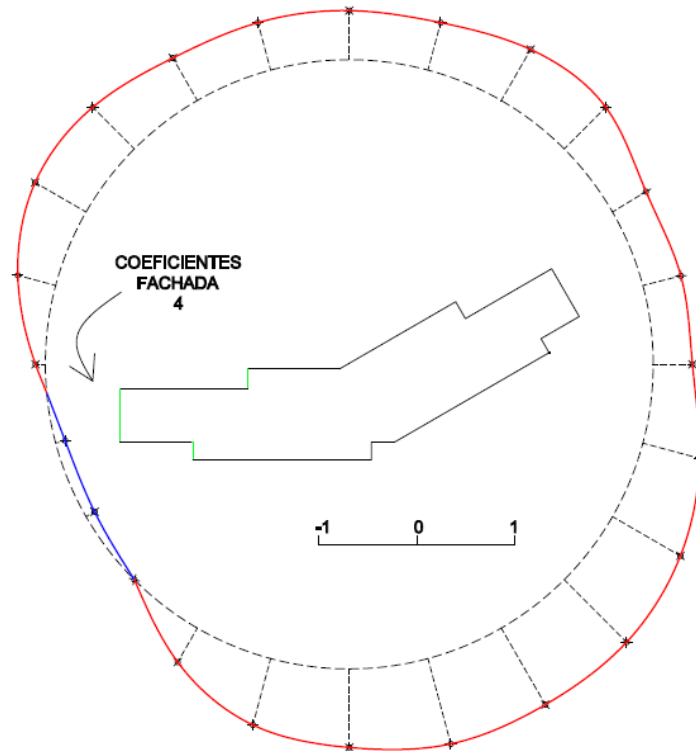
(fonte: elaborada pelo autor)

Figura 25 – Coeficientes de forma para fachada 3 Edifício L3



(fonte: elaborada pelo autor)

Figura 26 – Coeficientes de forma para fachada 4 Edifício L3



(fonte: elaborada pelo autor)

Tabela 12 – Coeficientes de forma por fachada Edifício L3

FACHADA	1	2	3	4
0°	-0,2	0,1	0,6	-0,4
15°	-0,3	0,1	0,3	-0,4
30°	-0,8	0,0	0,0	-0,4
45°	-0,9	-0,2	0,0	-0,6
60°	-0,9	-0,3	0,3	-0,6
75°	-0,8	-0,5	0,4	-0,5
90°	-0,8	-0,7	0,4	-0,5
105°	-0,7	-0,6	0,5	-0,5
120°	-0,8	-0,7	0,4	-0,5
135°	-0,8	-0,7	0,3	-0,6
150°	-0,7	-0,6	0,2	-0,6
165°	-0,4	-0,4	-0,3	-0,4
180°	-0,4	-0,3	-0,3	-0,1
195°	-0,4	-0,3	-0,6	0,1
210°	-0,5	-0,5	-0,9	0,1
225°	-0,5	-0,6	-0,8	0,0
240°	-0,2	-0,8	-0,9	-0,4
255°	0,1	-1,0	-1,0	-0,7
270°	0,2	-0,9	-1,1	-0,8
285°	0,3	-0,9	-1,1	-0,9
300°	0,3	-0,8	-1,0	-0,9
315°	0,2	-0,6	-0,9	-0,9
330°	0,0	-0,6	-0,7	-0,8
345°	-0,3	-0,1	-0,6	-0,6

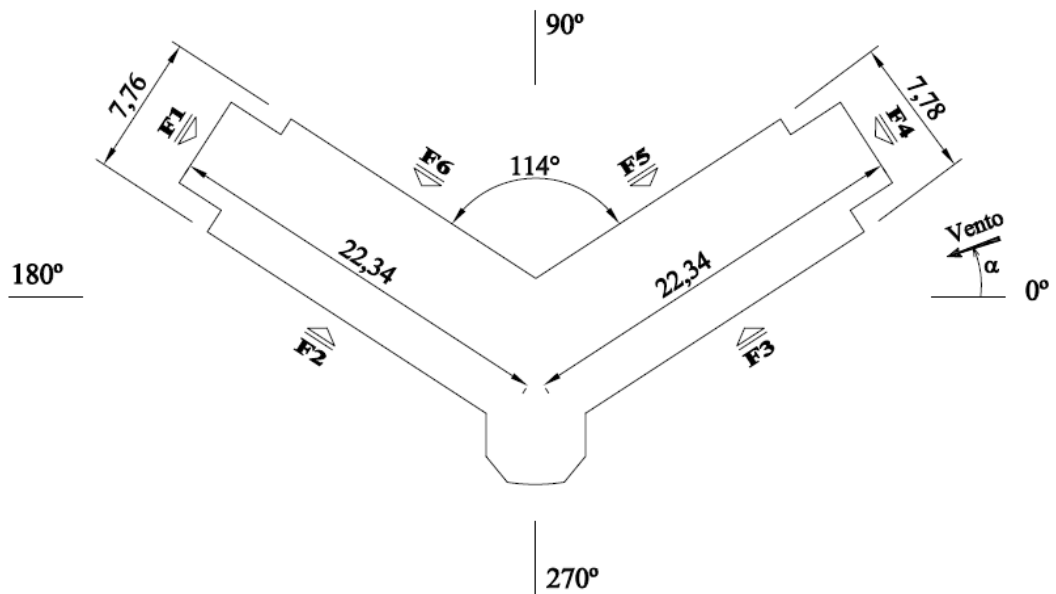
(fonte: elaborada pelo autor)

6.4 EDIFÍCIO L4

Ensaiado em 2011 no Laboratório de Aerodinâmica das Construções, o Edifício L4 também não possui as asas formando 90° entre si, como é visto na figura 27. Na figura também estão presentes as dimensões usadas neste trabalho, junto com o ângulo de referência para a incidência do vento. Mais uma vez, chanfros e dentes foram desprezados para tornar a planta baixa do Edifício com forma mais próxima possível de um "L".

As dimensões e as relações entre elas estudadas neste trabalho estão na tabela 13 a seguir. Na tabela 14 está apenas uma parte dos coeficientes de pressão obtidos no ensaio com modelo reduzido.

Figura 27 – Referência do ângulo de incidência do vento e medidas Edifício L4



(fonte: trabalho não publicado)¹²

Tabela 13 – Relações dimensões em planta L4

RELAÇÃO	VALOR
A/B	2,9
A'/B'	2,9
A/B'	2,9
A'/B	2,9

(fonte: elaborada pelo autor)

¹² Informações obtidas do relatório Ação Estática do Vento. Relatório elaborado em 2011 pelo Laboratório de Aerodinâmica das Construções da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Tabela 14 – Coeficientes de pressão Edifício L4

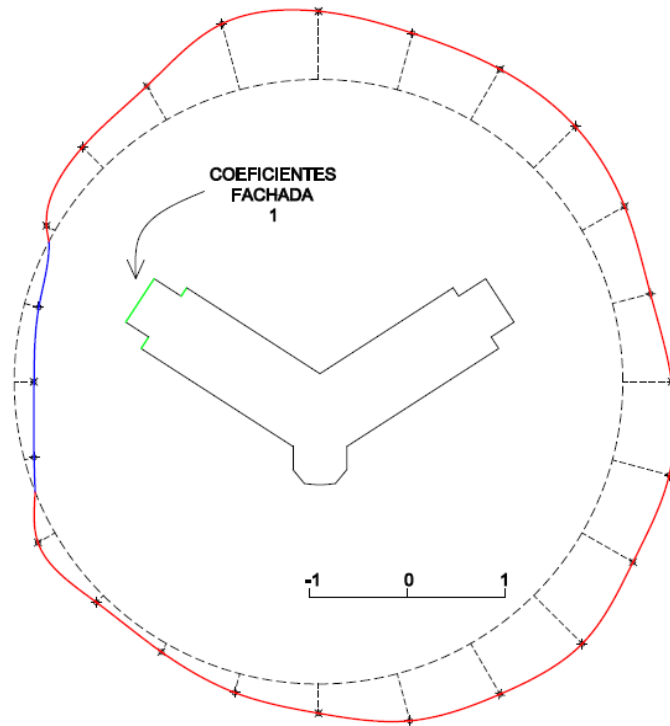
Tomada	méd.	Tomada	méd.	Tomada	méd.	Tomada	méd.	Tomada	méd.
1	0,32	61	0,10	121	-0,57	181	-0,27	241	-0,57
2	0,28	62	0,25	122	-0,55	182	-0,59	242	-0,56
3	-0,25	63	0,37	123	-0,54	183	-0,61	243	-0,30
4	-0,90	64	0,44	124	-0,54	184	-0,60	244	-0,11
5	-0,81	65	0,41	125	-0,54	185	-0,57	245	0,06
6	-0,77	66	0,41	126	-0,53	186	-0,59	246	0,20
7	-0,66	67	0,40	127	-0,53	187	-0,64	247	0,12
8	-0,57	68	0,38	128	-0,52	188	-0,61	248	0,16
9	-0,64	69	0,35	129	-0,57	189	0,66	249	0,17
10	-0,54	70	0,31	130	-0,55	190	0,20	250	0,20
11	-0,50	71	0,25	131	-0,55	191	-0,22	251	0,20
12	-0,58	72	0,27	132	0,10	192	-0,53	252	0,20
13	-0,53	73	0,59	133	0,17	193	-0,59	253	0,18
14	-0,54	74	0,54	134	0,36	194	0,55	254	0,11
15	-0,52	75	-0,11	135	0,49	195	0,49	255	0,15
16	-0,52	76	-0,99	136	0,57	196	0,46	256	0,13
17	-0,52	77	-0,84	137	0,53	197	0,43	257	0,14
18	-0,54	78	-0,80	138	0,52	198	0,40	258	0,14
19	-0,54	79	-0,75	139	0,52	199	0,41	259	0,15
20	-0,55	80	-0,66	140	0,49	200	0,40	260	0,14

(fonte: trabalho não publicado)¹³

Nas figuras 28 a 33 estão os coeficientes de forma calculados com a fórmula 6. Valores positivos estão traçados em cor azul, enquanto que os negativos estão em vermelho. Na tabela 15 estão todos os coeficientes, separados por fachada e por ângulo de ataque do vento.

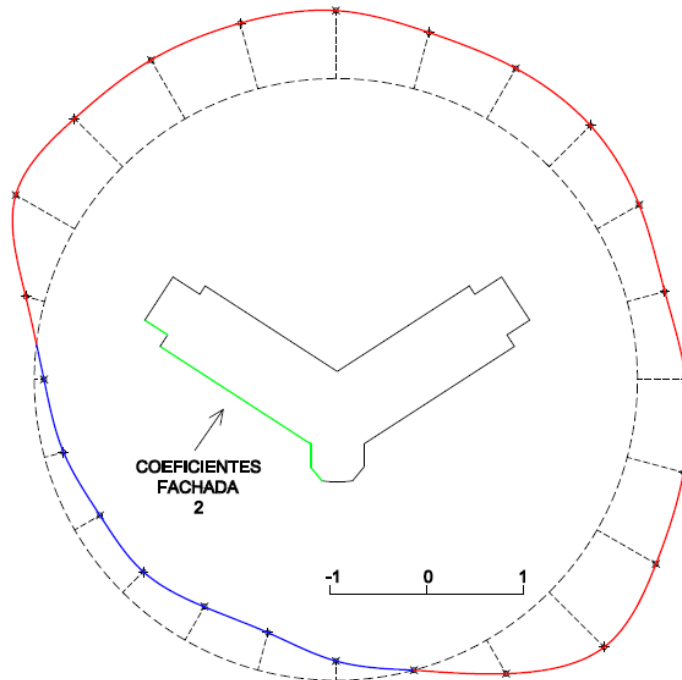
¹³ Informações obtidas do relatório Ação Estática do Vento. Relatório elaborado em 2011 pelo Laboratório de Aerodinâmica das Construções da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Figura 28 – Coeficientes de forma para fachada 1 Edifício L4



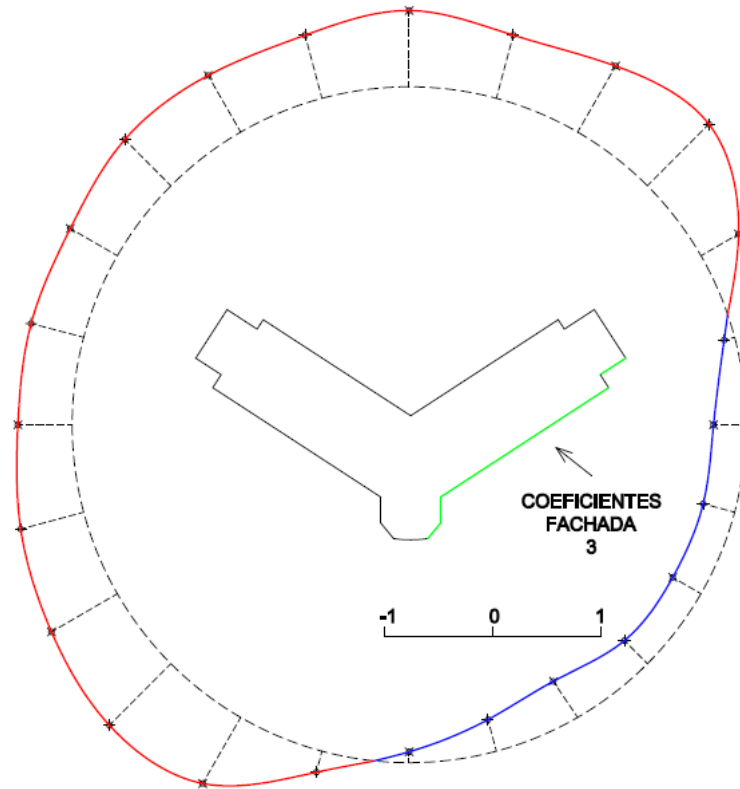
(fonte: elaborada pelo autor)

Figura 29 – Coeficientes de forma para fachada 2 Edifício L4



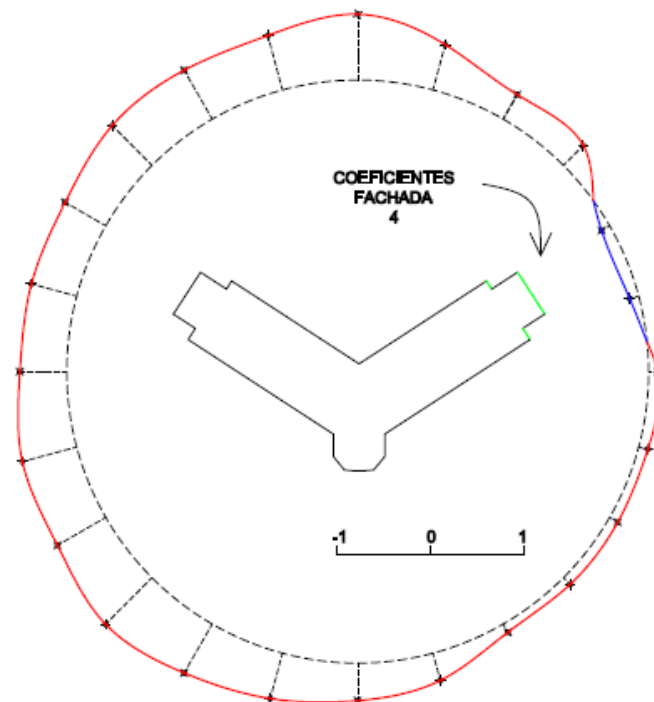
(fonte: elaborada pelo autor)

Figura 30 – Coeficientes de forma para fachada 3 Edifício L4



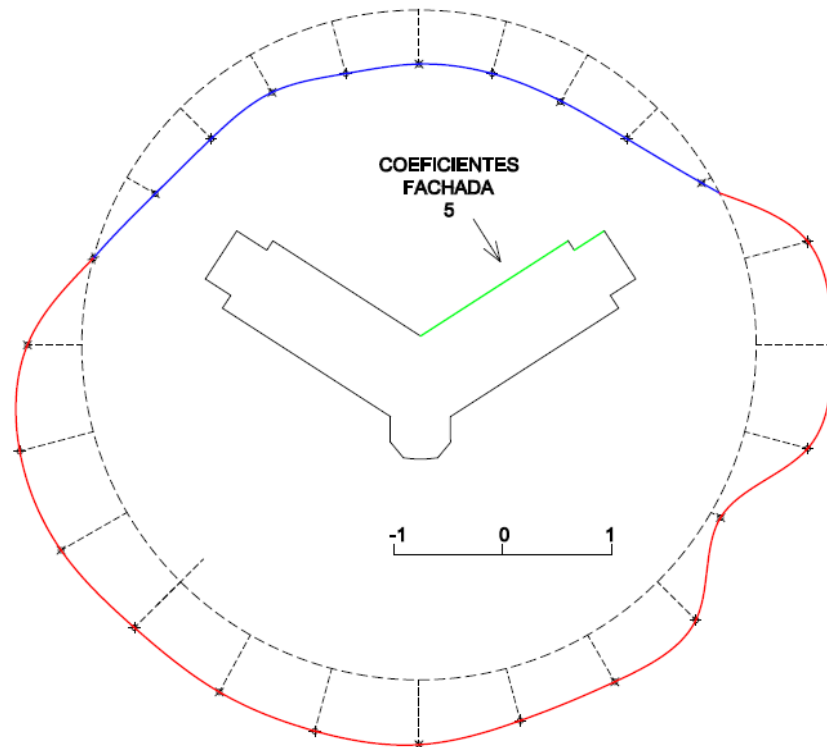
(fonte: elaborada pelo autor)

Figura 31 – Coeficientes de forma para fachada 4 Edifício L4



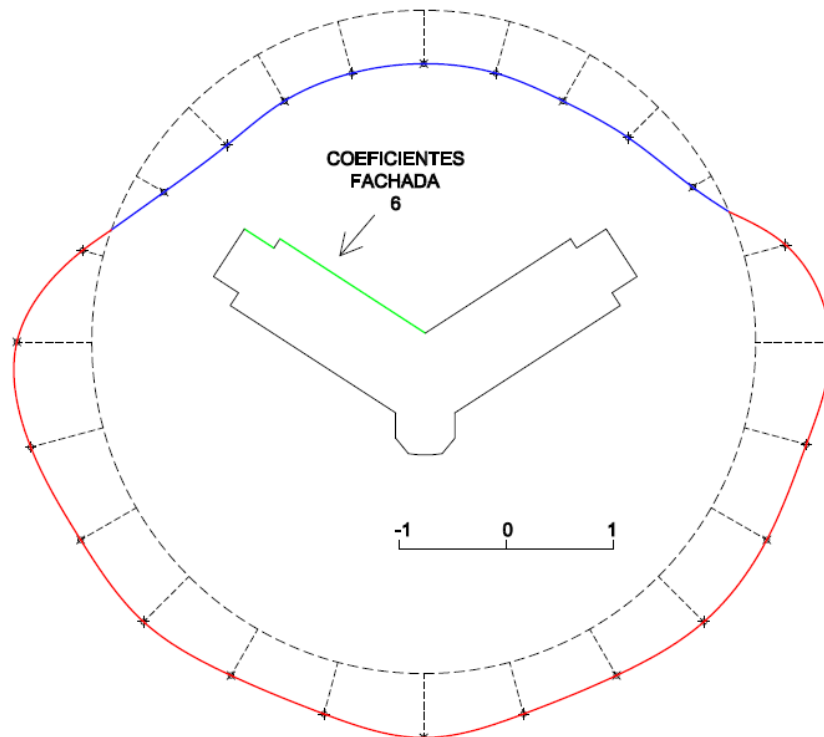
(fonte: elaborada pelo autor)

Figura 32 – Coeficientes de forma para fachada 5 Edifício L4



(fonte: elaborada pelo autor)

Figura 33 – Coeficientes de forma para fachada 5 Edifício L4



(fonte: elaborada pelo autor)

Tabela 15 – Coeficientes de forma por fachada Edifício L4

FACHADA	1	2	3	4	5	6
0°	-0,5	-0,5	0,3	-0,1	-0,7	-0,7
15°	-0,4	-0,4	0,1	0,1	-0,6	-0,4
30°	-0,5	-0,5	-0,4	0,1	0,1	0,2
45°	-0,6	-0,6	-0,8	-0,3	0,4	0,4
60°	-0,6	-0,6	-0,7	-0,3	0,5	0,5
75°	-0,6	-0,6	-0,6	-0,5	0,5	0,5
90°	-0,7	-0,7	-0,7	-0,7	0,5	0,5
105°	-0,7	-0,7	-0,6	-0,6	0,5	0,5
120°	-0,4	-0,7	-0,6	-0,6	0,4	0,5
135°	-0,3	-0,7	-0,6	-0,6	0,4	0,5
150°	-0,1	-0,7	-0,5	-0,5	0,3	0,3
165°	0,3	-0,2	-0,5	-0,5	0,0	-0,2
180°	0,2	0,1	-0,5	-0,5	-0,5	-0,7
195°	0,1	0,2	-0,6	-0,6	-0,7	-0,7
210°	-0,2	0,3	-0,7	-0,6	-0,7	-0,6
225°	-0,1	0,3	-0,8	-0,7	-0,6	-0,6
240°	-0,1	0,4	-0,7	-0,6	-0,6	-0,5
255°	-0,2	0,4	-0,2	-0,5	-0,6	-0,5
270°	-0,3	0,2	0,1	-0,4	-0,6	-0,6
285°	-0,5	0,0	0,3	-0,3	-0,5	-0,5
300°	-0,6	-0,4	0,4	-0,1	-0,5	-0,5
315°	-0,7	-0,8	0,3	-0,1	-0,5	-0,6
330°	-0,6	-0,7	0,3	-0,1	-0,1	-0,6
345°	-0,6	-0,6	0,3	-0,1	-0,6	-0,6

(fonte: elaborada pelo autor)

7 ANÁLISE DOS DADOS

A seguir é apresentada a análise feita com os dados expostos no capítulo anterior. Com base nas tabelas com os coeficientes de forma para cada edificação estudada. Na busca por uma relação entre as dimensões em planta dos edifícios e os coeficientes de forma, os ângulos de ataque do vento em cada fachada foram reduzidos a quatro: 0, 90, 180 e 270°.

Para não se desprezar eventuais valores excepcionais dos coeficientes com essa simplificação, foi adotado o mesmo procedimento utilizado na revisão da NBR 6123, em 1988: o valor do coeficiente de forma a ser analisado é o maior, em módulo, dentro do intervalo de mais ou menos 45°.

Nas tabelas a seguir, estão os coeficientes máximos e mínimos para os Edifício estudados, determinados de acordo com o procedimento citado acima.

Tabela 16 – Coeficientes máximos e mínimos Edifício L1

FACHADA	1	2	3	4
0°	-0,7	0,3	-0,9	-0,7
90°	-0,9	-1,1	0,5	-0,6
180°	-1,2	-1,0	-0,9	0,4
270°	0,0	-0,9	-0,9	-0,8

(fonte: elaborada pelo autor)

Tabela 17 – Coeficientes máximos e mínimos Edifício L2

FACHADA	1	2	3	4
0°	0,4	-0,6	-0,6	-0,5
90°	-0,7	0,4	-0,6	-0,6
180°	-0,6	-0,6	0,4	-0,6
270°	-0,7	-0,6	-0,7	0,3

(fonte: elaborada pelo autor)

Tabela 18 – Coeficientes máximos e mínimos Edifício L3

FACHADA	1	2	3	4
0°	-0,9	0,1	-0,9	-0,9
90°	-0,9	-0,7	0,5	-0,6
180°	-0,8	-0,7	-0,9	0,1
270°	0,3	-1,0	-1,1	-0,9

(fonte: elaborada pelo autor)

Tabela 19 – Coeficientes máximos e mínimos Edifício L4

FACHADA	1	2	3	4	5	6
0°	-0,7	-0,8	0,4	-0,7	-0,7	-0,7
90°	-0,7	-0,7	-0,8	0,5	0,5	0,5
180°	0,3	0,4	-0,8	-0,7	-0,7	-0,7
270°	-0,7	-0,8	-0,8	-0,7	-0,6	-0,6

(fonte: elaborada pelo autor)

Uma observação a respeito do Edifício L1. Conforme a tabela 16, com o vento incidindo o modelo com um ângulo de 270°, na fachada 1 não percebemos uma sobrepressão, conforme ocorre com as outras fachadas. Isso ocorre porque, no ensaio, a equipe do Laboratório achou conveniente não desprezar uma edificação existente rente a fachada 1 e o colocou na mesa de ensaio. Dessa forma, a edificação existente bloqueou o vento nessa fachada.

Para dar continuidade a este trabalho, na fachada 1 com o vento incidindo a 270° no modelo, foi adotado o valor de +0,4. Isso é coerente pois, para as outras fachadas, os valores encontrados foram próximos a este.

Comparando os valores dos coeficientes de forma obtidos para as fachadas F2 do Edifício L1 e F1 do Edifício L2, é possível observar certa proximidade entre os valores para sobrepressões (0,3 e 0,4 respectivamente). Para um ângulo de ataque do vento de aproximadamente 270° essa semelhança também é observada, mas para os demais ângulos a diferença é bem mais significativa. Nas outras fachadas, porém, os coeficientes para as quatro incidências do vento são similares.

Para os outros dois Edifícios estudados, pode-se perceber que o ângulo formado entre as duas asas influencia na distribuição das pressões, principalmente quando o vento incide nas fachadas convexas. O escoamento se molda melhor às superfícies, e é empurrado para mais longe da edificação, fazendo com que as sucções resultantes sejam maiores. As sucções, como se pode ver nas tabelas 18 e 19, são maiores conforme o ângulo entre as asas aumenta.

Com todas essas observações, os edifícios foram divididos em duas categorias: asas formando ângulo de 90° e asas formando ângulos maiores que 90° .

7.1 ASAS FORMANDO ÂNGULO DE 90°

A simetria entre as asas não teve o resultado esperado na distribuição dos coeficientes. No Edifício L1, os valores encontrados para coeficientes de forma nos ângulos de incidência de 0° e 270° não foram tão próximos, tanto para sobrepressões quanto para sucções. O que se percebe, porém, é um aumento das sucções com o aumento das relações A/B e A'/B', para qualquer ângulo de ataque do vento no modelo.

Uma edificação mais compacta, como o Edifício L2 que possui a relação A/B igual a 1,3, apresentou, para sucções máximas, um coeficiente de forma máximo igual a -0,6. Já uma edificação mais alargada, como o Edifício L1, apresenta valores para os coeficientes de forma em regiões de sucção altos, com valor máximo de -1,2.

Dessa forma, para edificações com asas formando um ângulo de 90° , chegou-se a tabela 20 a seguir, em que constam os valores dos coeficientes de forma para cada fachada para os ângulos de incidência do vento indicados.

Tabela 20 – Coeficientes de forma para asas formando 90°

FACHADA	RELAÇÃO	0°	90°	180°	270°
F1	$A/B < 4,0$	+0,4	-0,7	-0,7	-0,7
	$A/B \geq 4,0$	+0,3	-1,1	-1,0	-1,0
F2	$A'/B < 2,5$	-0,6	+0,4	-0,6	-0,6
	$A'/B \geq 2,5$	-0,9	+0,5	-0,9	-0,9
F3	$A/B' < 3,0$	-0,6	-0,6	+0,4	-0,7
	$A/B' \geq 3,0$	-0,7	-0,6	+0,4	-0,8
F4	$A'/B' < 4,5$	-0,5	-0,6	-0,6	+0,3
	$A'/B' \geq 4,5$	-0,7	-0,9	-1,2	+0,4

(fonte: elaborada pelo autor)

7.2 ASAS FORMANDO ÂNGULO MAIOR QUE 90°

Nos casos em que as asas das edificações formam um ângulo maior do que 90°, o escoamento consegue se moldar melhor à construção. Essa adequação leva a coeficientes de forma para sobrepressões menores. Por outro lado, devido ao afastamento maior do fluxo de ar, as sucções são maiores, como se observa nos coeficientes de forma maiores dessas regiões. Quanto mais obtuso o ângulo entre as asas, mais os coeficientes de forma se aproximam dos coeficientes presentes na tabela 3 deste trabalho, o que era esperado.

O tamanho de cada asa também influencia nos coeficientes. A edificação mais compacta (Edifício L3) apresentou coeficientes maiores que a mais alargada (Edifício L4). Com base nessas informações, a tabela 21 foi elaborada visando englobar todas essas características, tanto do escoamento como dos edifícios estudados.

Tabela 21 – Coeficientes de forma para asas formando ângulo maior que 90°

FACHADA	RELAÇÃO	0°	90°	180°	270°
F1	$A/B < 3,0$	+0,1	-0,7	-0,7	-1,0
	$A/B \geq 3,0$	+0,4	-0,8	-0,8	-0,8
F2	$A'/B < 3,0$	-0,9	+0,5	-0,9	-1,1
	$A'/B \geq 3,0$	-0,7	+0,5	-0,7	-0,6
F3	$A/B' < 3,0$	-0,9	-0,6	+0,1	-0,9
	$A/B' \geq 3,0$	-0,7	-0,7	+0,3	-0,7
F4	$A'/B' < 3,0$	-0,9	-0,9	-0,8	+0,3
	$A'/B' \geq 3,0$	-0,8	-0,8	-0,8	+0,4

(fonte: elaborada pelo autor)

8 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A análise feita neste trabalho buscou reunir e organizar resultados de ensaios de ensaios realizados a fim de encontrar uma relação entre as dimensões em planta e os coeficientes de forma para edificações com planta baixa em forma de "L". As tabelas 20 e 21 apresentadas no capítulo anterior são resultado desta busca.

Essas tabelas, porém, foram desenvolvidas com poucos dados. Somente dois exemplos para cada caso (ângulo entre as asas igual a 90° e maior que 90°) não são suficientes para se conhecer exatamente o comportamento das pressões ao redor das edificações com planta baixa em forma de "L". Por outro lado, nesse trabalho foram analisadas quatro edificações bem distintas, com variadas relações entre suas dimensões em planta e foi mostrado que é possível encontrar uma relação entre essas dimensões e os coeficientes de forma.

Uma maneira de verificar a validade dos resultados obtidos nesse trabalho é comparar esses com a tabela 22 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1988, p. 25). Na Norma, estão coeficientes de força nas direções X e Y para barras prismáticas de formas variadas. Dentre essas formas, estão barras do tipo cantoneira, que se aproximam de alguns dos modelos estudados nesse trabalho.

As barras consideradas nessa tabela são ditas de comprimento infinito¹⁴ e os coeficientes podem ser reduzidos pelo fator K, expresso na fórmula 7 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1988, p. 21):

$$K = l/C_{\alpha} \quad (\text{fórmula 7})$$

Onde:

K = fator de redução (adimensional);

l = comprimento da barra (metros);

C_{α} = largura da barra medida na direção perpendicular à do vento (m).

¹⁴ Comprimento infinito: dimensões da seção transversal muito menores que o comprimento

Na tabela 23 estão os valores para o fator K de acordo com o tipo de barra prismática e com a relação exposta a cima. Seguindo as indicações da Norma, os valores são multiplicados por 2, visto que em uma das extremidades dos edifícios não é possível o fluxo de ar (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1988, p. 21).

Tabela 22 – Coeficientes de força para barras prismáticas de faces planas de comprimento infinito

α	C_x	C_y	C_x	C_y	C_x	C_y	C_x	C_y
0°	+1,9	+0,95	+1,8	+1,8	+1,75	+0,1	+1,6	0
45°	+1,8	+0,8	+2,1	+1,8	+0,85	+0,85	+1,5	-0,1
90°	+2,0	+1,7	-1,9	-1,0	+0,1	+1,75	-0,95	+0,7
135°	-1,8	-0,1	-2,0	+0,3	-0,75	+0,75	-0,5	+1,05
180°	-2,0	+0,1	-1,4	-1,4	-1,75	-0,1	-1,5	0

(fonte: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1988, p. 25)

Tabela 23 – Valores de redução K para barras de comprimento finito

l/c_α ou l/d	2	5	10	20	40	50	100	∞
Barras prismáticas de seção circular em regime subcrítico ($Re < 4,2 \cdot 10^5$)	0,58	0,62	0,68	0,74	0,82	0,87	0,98	1,0
Barras prismáticas de seção circular em regime acima do crítico ($Re \geq 4,2 \cdot 10^5$)	0,80	0,80	0,82	0,90	0,98	0,99	1,0	1,0
Barras prismáticas de faces planas	0,62	0,66	0,69	0,81	0,87	0,90	0,95	1,0

(fonte: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1988, p. 25)

Comparando os coeficientes encontrados em cada modelo com o vento incidindo perpendicularmente a uma das asas, com os obtidos seguindo as orientações da Norma, pode-se perceber certa proximidade entre eles. Como se pode ver na tabela 24, os valores obtidos

pela NBR 6123/1988 são maiores que os encontrados nesse trabalho. Isso indica que as diretrizes da Norma fornecem resultados satisfatórios e a favor da segurança nessas situações.

Tabela 24 – Comparação entre coeficientes encontrados com os da NBR 6123/1988

EDIFÍCIO	ALTURA [m]	C_a [m]	l/C_a	FATOR K	ENSAIOS		NBR 6123/1988	
					C_x	C_y	C_x	C_y
L1	63,5	96,5	1,3	0,62	1,0	0,1	1,2	0,2
L2	59,7	40,3	3,0	0,64	0,9	0,2	1,3	0,2
L3	80,9	64,3	2,5	0,63	1,0	0,0	1,3	0,2
L4	96,0	35,8	5,4	0,66	1,1	0,1	1,3	0,2

(fonte: elaborada pelo autor)

Para se ter o conhecimento mais preciso do comportamento das pressões em edificações como as estudadas neste trabalho, é necessário uma pesquisa mais completa. Como há uma demanda crescente de construções com planta baixa em forma de "L", é importante que a NBR 6123/1988 englobe também essas construções. Caso contrário, muitas delas não terão os esforços causados pelo vento corretamente determinados, o que pode levar a estruturas superdimensionadas, que são antieconômicas, ou subdimensionadas, colocando em risco seus usuários.

Mesmo com um eventual estudo com essas edificações, os ensaios em túneis de vento ainda fornecem resultados mais precisos. Modelos reduzidos devem reproduzir todos os detalhes construtivos que estarão presentes nas construções reais, como detalhes arquitetônicos e a vizinhança, que tem elevada importância nos efeitos do vento e foi desprezada nesse trabalho.

REFERÊNCIAS

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

BLESSMANN, J. **Aerodinâmica das construções**. 2. ed. Porto Alegre: Sagra, 1990a.

_____. **Tópicos de normas de vento**. 2. ed. atualizada. Porto Alegre: Editora da UFRGS, 1990b.

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

_____. **Acidentes causados pelo vento**. 4. ed. revisada e ampliada. Porto Alegre: Editora da UFRGS, 2001.

CARPEGIANI, E. A. **Determinação dos efeitos estáticos de torção em edifícios altos devidos à ação do vento**. 2004. 160 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2004. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/10183/6015>>¹⁵. Acesso em: 30 out. 2012.

LOREDO-SOUZA, A. M.; ROCHA, M. M.; OLIVEIRA, M. G. K.; BÊNIA, M. C. D.; SIQUEIRA, G. M.; CARPEGIANI, E. A.; NÚÑEZ, G. J. Z. In: JORNADAS SUL AMERICANAS DE ENGENHARIA ESTRUTURAL, 25., 2012, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: ASAEE, 2012. Não paginado.

¹⁵ estando no site <<http://hdl.handle.net/10183/6015>>, localize na parte final da página a indicação <visualizar/abrir>: selecione para abrir o documento