

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DA PARAÍBA
DIRETORIA GERAL DO CAMPUS JOÃO PESSOA
DEPARTAMENTO DE ENSINO SUPERIOR
CURSO SUPERIOR DE BACHARELADO EM ENGENHARIA CIVIL

RHUAN MATHEUS CARVALHO DE GÓIS

Influência da ocupação urbana nas ações do vento em edifícios altos: uma análise comparativa entre o dimensionamento conforme a ABNT NBR 6123 e simulações CFD de interferência entre edificações.

RHUAN MATHEUS CARVALHO DE GÓIS

Influência da ocupação urbana nas ações do vento em edifícios altos: uma análise comparativa entre o dimensionamento conforme a ABNT NBR 6123 e simulações CFD de interferência entre edificações.

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso Superior de Bacharelado em Engenharia Civil do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba, como requisito curricular obrigatório para obtenção do título de Engenheiro(a) Civil.

Orientadora: Prof.^a Sara Fragoso

BANCA EXAMINADORA

Nome do Orientador(a)

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba (IFPB)

Nome do Examinador(a) 1

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba (IFPB)

Nome do Examinador(a) 2

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba (IFPB)

JOÃO PESSOA

2026

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação – CIP
Biblioteca Nilo Peçanha – IFPB, *campus* João Pessoa

G616i

Góis, Rhuan Matheus Carvalho de.

Influência da ocupação urbana nas ações do vento em edifícios altos: uma análise comparativa entre o dimensionamento conforme a ABNT NBR 6123 e simulações CFD de interferência entre edificações / Rhuan Matheus Carvalho de Góis. – 2026.

47 f. : il.

TCC (Graduação em Engenharia Civil) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba – IFPB / Coordenação de Engenharia Civil.

Orientadora: Prof.^a Sara Fragoso.

1. Edificações altas. 2. Ações do vento. 3. Dinâmica dos fluidos computacional (CFD). 4. Interferência aerodinâmica. 5. ABNT NBR 6123. I. Título.

CDU 624.042.41



DECISÃO 37/2026 - CBEC/UA1/UA/DDE/DG/JP/REITORIA/IFPB, de 21 de julho de 2026.

RHUAN MATHEUS CARVALHO DE GOIS

INFLUÊNCIA DA OCUPAÇÃO URBANA NAS AÇÕES DO VENTO EM EDIFÍCIOS ALTOS: uma análise comparativa entre o dimensionamento conforme a ABNT NBR 6123 e simulações CFD de interferência entre edificações

	Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Bacharelado em Engenharia Civil do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba como requisito curricular para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil
--	--

Aprovado em 06 de julho de 2026

Banca Examinadora

Me. Sara Fragoso Pereira (Orientadora - IFPB)

Me. Camila Campos Gomez Famá (Examinadora Interna - IFPB)

Dr^a. Ana Cláudia Leão Borges (Examinadora Interna - IFPB)

JOÃO PESSOA

2026

Documento assinado eletronicamente por:

- Sara Fragoso Pereira, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO, em 21/07/2026 21:01:55.
- Camila Campos Gomez Famá, COORDENADOR(A) DE CURSO - FUC1 - CBEC-JP em 27/07/2026 15:23:54.
- Ana Claudia Leao Borges, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO, em 29/07/2026 19:16:19.

Este documento foi emitido pelo SUAP em 21/07/2026. Para comprovar sua autenticidade, faça a leitura do QRCode ao lado ou acesse <https://suap.ifpb.edu.br/autenticar-documento/> e forneça os dados abaixo:

Código: 909001
Verificador: 5030511df6
Código de Autenticação:



NOSSA MISSÃO: Ofertar a educação profissional, tecnológica e humanística em todos os seus níveis e modalidades por meio do Ensino, da Pesquisa e da Extensão, na perspectiva de contribuir na formação de cidadãos para atuarem no mundo do trabalho e na construção de uma sociedade inclusiva, justa, sustentável e democrática.

VALORES E PRINCÍPIOS: Ética, Desenvolvimento Humano, Inovação, Qualidade e Excelência, Transparência, Respeito, Compromisso Social e Ambiental.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço a Deus por me conceder saúde, força e sabedoria para enfrentar todos os desafios ao longo desta caminhada e por permitir a conclusão desta importante etapa da minha vida.

Aos meus pais e a toda a minha família, deixo minha eterna gratidão pelo amor, apoio, incentivo e pelos valores que sempre me ensinaram. Cada conquista minha também pertence a vocês.

Aos meus amigos, agradeço pela parceria, pelas palavras de incentivo e pelos momentos de descontração que tornaram essa jornada mais leve.

À minha esposa, meu mais sincero e especial agradecimento. Obrigado por estar ao meu lado em todos os momentos, por acreditar em mim quando eu mesmo duvidei, por compreender minha ausência durante tantas horas dedicadas aos estudos e por me oferecer amor, paciência e apoio incondicional. Você é minha maior incentivadora, minha companheira de vida e minha princesa. Esta conquista também é sua, pois nada disso seria possível sem o seu carinho, sua força e sua presença constante.

À minha orientadora, agradeço pela dedicação, pelos ensinamentos, pelas orientações e pela confiança depositada no desenvolvimento deste trabalho.

A todos os professores que fizeram parte da minha formação acadêmica, deixo minha gratidão pelos conhecimentos compartilhados e pela contribuição para minha formação profissional e pessoal.

Por fim, agradeço a todas as pessoas que, direta ou indiretamente, contribuíram para a realização deste trabalho e para a conclusão desta etapa tão importante da minha vida.

RESUMO

A determinação das ações do vento é uma etapa fundamental no dimensionamento de edificações, especialmente em estruturas de grande altura, onde esses efeitos podem influenciar diretamente a segurança, o desempenho e a estabilidade da construção. Neste trabalho, realizou-se uma análise comparativa entre o método analítico previsto na Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), por meio da NBR 6123:2023 — Ações do vento em edificações, e simulações numéricas utilizando a Dinâmica dos Fluidos Computacional (Computational Fluid Dynamics – CFD), com o objetivo de avaliar a influência da vizinhança nas cargas de vento incidentes sobre um edifício. Foram estudados quatro cenários: o primeiro considerando apenas os parâmetros normativos da ABNT NBR 6123, o segundo com a simulação de um edifício isolado, o terceiro com a presença de dois edifícios e o quarto com três edifícios posicionados de forma a representar interferências aerodinâmicas. Os resultados obtidos permitiram comparar as distribuições de pressão, as velocidades do escoamento e as forças resultantes em cada configuração, evidenciando diferenças entre o método normativo e as simulações numéricas, principalmente nos casos em que há interferência causada por edificações vizinhas. Constatou-se que a utilização do CFD possibilita uma representação mais detalhada do comportamento do vento ao redor da edificação, permitindo identificar regiões de aceleração, recirculação e sombreamento aerodinâmico que não são contempladas diretamente pelo procedimento simplificado da norma. Dessa forma, conclui-se que a associação entre os métodos normativos e as ferramentas computacionais constitui uma alternativa eficiente para análises mais precisas em projetos de edificações submetidas à ação do vento.

Palavras-chave: ação do vento; ABNT NBR 6123; dinâmica dos fluidos computacional (CFD); edifícios altos; interferência aerodinâmica; cargas de vento.

ABSTRACT

The determination of wind loads is a fundamental step in the structural design of buildings, especially high-rise structures, where wind effects directly influence safety, performance, and structural stability. This study presents a comparative analysis between the analytical method established by ABNT NBR 6123 and numerical simulations using Computational Fluid Dynamics (CFD) to evaluate the influence of surrounding buildings on wind loads acting on a structure. Four scenarios were investigated: the first based on the analytical procedure prescribed by ABNT NBR 6123, the second considering an isolated building, the third including two neighboring buildings, and the fourth including three neighboring buildings to represent aerodynamic interference. The results allowed the comparison of pressure distributions, airflow velocities, and resultant wind forces for each configuration, highlighting differences between the standard analytical approach and the numerical simulations, particularly in the presence of surrounding buildings. The CFD simulations provided a more detailed representation of wind behavior around the structure, making it possible to identify acceleration zones, recirculation regions, and aerodynamic shielding effects that are not directly considered by the simplified procedure of the standard. Therefore, it is concluded that combining the analytical method of ABNT NBR 6123 with CFD simulations is an effective approach for achieving more accurate assessments of wind actions on buildings.

Key words: *wind loads; ABNT NBR 6123; Computational Fluid Dynamics (CFD); high-rise buildings; aerodynamic interference; wind effects.*

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
CAD	Computer-Aided Design (Desenho Assistido por Computador)
CFD	Computational Fluid Dynamics (Dinâmica dos Fluidos Computacional)
CFX	ANSYS CFX
COV	Coefficiente de Variação
q	Coefficiente de Pressão
DRX	DesignModeler (ANSYS)
LES	Large Eddy Simulation
NBR	Norma Brasileira
RANS	Reynolds-Averaged Navier–Stokes
RNG	Renormalization Group
RMS	Root Mean Square
SST	Shear Stress Transport
SST k- ω	Shear Stress Transport k-Omega
URANS	Unsteady Reynolds-Averaged Navier–Stokes
VTK	Visualization Toolkit
k	Energia Cinética Turbulenta
ω	Taxa de Dissipação Específica da Turbulência
ε	Taxa de Dissipação da Energia Cinética Turbulenta

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	7
2. OBJETIVOS	10
2.1 OBJETIVO GERAL	10
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	10
3 REFERENCIAL TEÓRICO	11
3.1 ENGENHARIA DO VENTO E AÇÕES DO VENTO EM EDIFICAÇÕES	11
3.2 CARACTERÍSTICAS DO VENTO ATMOSFÉRICO E DA CAMADA LIMITE ATMOSFÉRICA	12
3.3 AÇÕES DO VENTO CONFORME ABNT NBR 6123:2023	15
3.4 INTERFERÊNCIA AERODINÂMICA ENTRE EDIFICAÇÕES	17
3.5 FLUIDODINÂMICA COMPUTACIONAL APLICADA À ENGENHARIA DO VENTO	21
4 METODOLOGIA	24
4.1 CLASSIFICAÇÃO DA PESQUISA	24
4.2 CARACTERIZAÇÃO DA EDIFICAÇÃO ANALISADA	26
4.3 DETERMINAÇÃO DAS AÇÕES DO VENTO CONFORME ABNT NBR 6123:2023	27
4.4 CÁLCULO DAS AÇÕES DO VENTO SEGUNDO A ABNT NBR 6123:2023	29
4.4.1 Velocidade básica do vento	31
4.4.2 Fator topográfico	31
4.4.3 Fator de rugosidade do terreno	32
4.4.4 Fator estatístico	32
4.4.5 Velocidade característica do vento	32
4.4.6 Pressão dinâmica do vento	33
4.4.7 Força de arrasto	33
4.5 SIMULAÇÃO NUMÉRICA DAS EDIFICAÇÕES POR MEIO DINÂMICA DOS FLUIDOS COMPUTACIONAL (CFD) - AUTODESK CFD 2027	35
4.5.1 Caso 1 - Edificação isolada	36
4.5.2 Caso 2 - Edificação Dupla	37
4.5.3 Caso 3 - Edificação Tripla	38
5. VISÃO CONSOLIDADA DAS PRESSÕES MÉDIAS OBTIDAS NOS 3 CASOS	40
6. RESULTADOS E DISCUSSÃO	40
7. CONSIDERAÇÕES FINAIS	41
REFERÊNCIAS	43

1. INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas, o crescimento acelerado dos centros urbanos tem sido acompanhado pela intensificação do processo de verticalização das cidades, impulsionado pelo aumento da densidade populacional, pela valorização dos espaços urbanos e pela necessidade de otimização do uso do solo. Como consequência, observa-se a implantação de edifícios cada vez mais altos e esbeltos em áreas densamente ocupadas, modificando significativamente a configuração do ambiente construído. Essa transformação altera não apenas o panorama urbano, mas também as condições de escoamento do vento, tornando sua avaliação um aspecto indispensável para o projeto estrutural de edificações (HOLMES, 2015; BLOCKEN, 2015).

Entre as ações variáveis consideradas no dimensionamento estrutural, o vento ocupa posição de destaque devido à sua natureza dinâmica e à capacidade de produzir esforços significativos em edificações de grande altura. Diferentemente das cargas gravitacionais, que atuam continuamente e apresentam comportamento relativamente previsível, as ações do vento dependem de fatores meteorológicos, topográficos, da rugosidade do terreno, da geometria da estrutura e das características do entorno urbano. À medida que aumenta a altura da edificação, cresce também a influência desses fatores sobre os deslocamentos, os esforços internos, as acelerações e as condições de estabilidade global da estrutura, exigindo critérios específicos para sua determinação, conforme estabelecido pela ABNT NBR 6123:2023 – Ações do vento em edificações (ABNT, 2023; HOLMES, 2015; BLESSMANN, 1995).

No Brasil, a determinação das ações do vento em edificações é regulamentada pela ABNT NBR 6123:2023 – Ações do vento em edificações, publicada pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), que estabelece os critérios para determinação das velocidades características do vento, das pressões atuantes e das ações eólicas consideradas no dimensionamento estrutural das edificações (ABNT, 2023).

Além da segurança estrutural, a adequada avaliação das ações do vento está diretamente relacionada ao desempenho das edificações ao longo de sua vida útil. Vibrações excessivas podem comprometer o conforto dos ocupantes, enquanto distribuições inadequadas das pressões aerodinâmicas podem resultar em esforços superiores aos inicialmente previstos

em projeto. Dessa forma, a consideração das ações do vento não se limita ao atendimento dos estados limites últimos, abrangendo também aspectos relacionados à funcionalidade, durabilidade e desempenho global das estruturas.

Entretanto, quando uma edificação é construída próxima a outra, o campo de velocidades do vento deixa de se comportar como em um edifício isolado, passando a sofrer alterações decorrentes da interação entre os obstáculos existentes. Fenômenos como aceleração localizada do escoamento, canalização entre edifícios, desprendimento de vórtices, zonas de recirculação e sombreamento aerodinâmico modificam significativamente a distribuição das pressões superficiais e, conseqüentemente, os esforços transmitidos às estruturas (HOLMES, 2015; BLOCKEN, 2015).

Esses fenômenos são conhecidos na literatura técnica como efeitos de interferência aerodinâmica ou efeitos de vizinhança. Dependendo da posição relativa das edificações, de suas dimensões, do espaçamento entre elas e da direção predominante do vento, a presença de construções vizinhas pode provocar tanto reduções quanto ampliações das pressões atuantes sobre determinada fachada. Em alguns casos, regiões anteriormente submetidas a baixas pressões passam a concentrar esforços elevados em decorrência da redistribuição do escoamento, demonstrando que o comportamento aerodinâmico de uma edificação não depende exclusivamente de sua geometria, mas também da configuração do ambiente urbano em que está inserida (BLOCKEN, 2021; TAMURA, 2021).

Nesse contexto, a Fluidodinâmica Computacional (*Computational Fluid Dynamics* – CFD) consolidou-se como uma importante ferramenta de análise na Engenharia Civil. Baseada na solução numérica das equações que governam o escoamento dos fluidos, essa técnica permite reproduzir computacionalmente o comportamento do vento ao redor de geometrias complexas, possibilitando a obtenção de campos de velocidade, distribuições de pressão e esforços aerodinâmicos com elevado nível de detalhamento. Nas últimas décadas, o avanço da capacidade computacional tornou o CFD uma ferramenta amplamente empregada em pesquisas de Engenharia do Vento, complementando ensaios em túnel de vento e permitindo a investigação de diferentes cenários urbanos (BLOCKEN, 2015).

Embora existam diversos estudos relacionados ao comportamento aerodinâmico de edifícios altos e ao emprego de CFD na Engenharia do Vento, ainda são relativamente limitadas as pesquisas voltadas à comparação entre os carregamentos previstos pela ABNT NBR 6123:2023 para edificações isoladas e aqueles obtidos em cenários urbanos progressivamente adensados por meio de simulações numéricas. Essa abordagem permite discutir não apenas a aplicação da norma, mas também os efeitos decorrentes da evolução da ocupação urbana sobre estruturas originalmente dimensionadas em condições distintas daquelas verificadas ao longo de sua vida útil.

Diante desse contexto, o presente trabalho investiga a influência da ocupação urbana nas ações do vento em edifícios altos por meio de uma análise comparativa entre o dimensionamento conforme a ABNT NBR 6123:2023 e simulações numéricas em Fluidodinâmica Computacional. Para isso, são analisados quatro cenários distintos: o dimensionamento normativo de um edifício isolado, a simulação computacional do mesmo edifício em condição isolada e duas configurações representativas da evolução do ambiente urbano, contendo duas e três edificações. A partir da comparação das distribuições de pressão, forças aerodinâmicas e momentos atuantes, busca-se compreender de que maneira a presença de edificações vizinhas modifica as ações do vento incidentes sobre uma estrutura previamente dimensionada conforme os procedimentos estabelecidos pela norma brasileira.

2. OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Analisar a influência da ocupação urbana nas ações do vento em edifícios altos por meio da comparação entre o dimensionamento realizado conforme a ABNT NBR 6123:2023 e simulações numéricas em Fluidodinâmica Computacional (CFD), avaliando os efeitos da interferência aerodinâmica decorrente da presença de edificações vizinhas.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar as ações do vento sobre um edifício alto isolado conforme os procedimentos estabelecidos pela ABNT NBR 6123:2023;
- Desenvolver um modelo numérico em CFD representativo de um edifício isolado para obtenção das distribuições de pressão, forças aerodinâmicas e momentos atuantes;
- Simular cenários urbanos com a presença uma, duas e três edificações, de forma a representar a evolução da ocupação urbana e seus efeitos sobre o escoamento do vento;
- Comparar os resultados obtidos pela metodologia normativa e pelas simulações computacionais quanto às distribuições de pressão, forças e momentos atuantes na edificação analisada;
- Avaliar a influência da interferência aerodinâmica entre edificações sobre as ações do vento incidentes na estrutura;
- Discutir as potencialidades e limitações da utilização da Fluidodinâmica Computacional como ferramenta complementar à ABNT NBR 6123:2023 na análise das ações do vento em ambientes urbanos.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 ENGENHARIA DO VENTO E AÇÕES DO VENTO EM EDIFICAÇÕES

A Engenharia do Vento constitui um dos ramos da engenharia dedicado ao estudo dos efeitos do vento sobre estruturas, edificações e ambientes urbanos, abrangendo a determinação das ações aerodinâmicas, a avaliação do desempenho estrutural e a análise dos impactos do escoamento atmosférico sobre o ambiente construído. O desenvolvimento dessa área tornou-se especialmente relevante com o avanço da verticalização das cidades, uma vez que edifícios mais altos e esbeltos apresentam maior sensibilidade às ações do vento, exigindo métodos cada vez mais precisos para a determinação dos carregamentos aerodinâmicos (ABNT, 2023; BLOCKEN, 2015).

Nas últimas décadas, o crescimento urbano modificou significativamente a forma como o vento interage com as edificações. A ocupação progressiva dos centros urbanos promoveu o surgimento de conjuntos edificados caracterizados por diferentes alturas, geometrias e espaçamentos, alterando o comportamento do escoamento atmosférico e tornando a avaliação das ações do vento um problema mais complexo do que aquele observado em edificações isoladas. Nesse contexto, a interação entre o vento e o ambiente urbano representa um dos principais desafios da Engenharia do Vento contemporânea, especialmente diante do aumento da densidade construtiva e da necessidade de projetos mais seguros e eficientes.

As ações do vento representam uma das principais ações variáveis consideradas no dimensionamento estrutural de edifícios altos. Diferentemente das cargas permanentes, cuja magnitude permanece praticamente constante durante a vida útil da estrutura, o vento apresenta natureza aleatória, variando continuamente em intensidade, direção e características turbulentas. Essa variabilidade influencia diretamente a distribuição das pressões nas superfícies da edificação, produzindo esforços que podem afetar tanto a estabilidade global quanto o comportamento local dos elementos estruturais e de vedação (ABNT, 2023).

No contexto brasileiro, a determinação das ações do vento é regulamentada pela ABNT NBR 6123:2023, que estabelece procedimentos para obtenção das velocidades

características do vento, fatores de ajuste, coeficientes aerodinâmicos e critérios para cálculo das cargas atuantes nas edificações. A norma representa a principal referência técnica para o dimensionamento estrutural sob ação do vento no país, fornecendo uma metodologia padronizada e amplamente consolidada na prática profissional (ABNT, 2023).

Entretanto, o comportamento do vento em ambientes urbanos depende de diversos fatores que extrapolam a geometria individual da edificação. A rugosidade do terreno, a topografia, a direção predominante do vento, a intensidade da turbulência e, principalmente, a presença de edificações vizinhas modificam significativamente o escoamento atmosférico. A configuração do entorno pode alterar os campos de velocidade e a distribuição das pressões superficiais, produzindo efeitos de aceleração localizada, canalização do fluxo, regiões de recirculação e zonas de sombra aerodinâmica, fenômenos que influenciam diretamente os esforços transmitidos às estruturas.

Nesse contexto, ferramentas numéricas baseadas em Fluidodinâmica Computacional (*Computational Fluid Dynamics* – CFD) têm ampliado a capacidade de investigação desses fenômenos, permitindo representar, com elevado nível de detalhamento, a interação entre o vento e geometrias urbanas complexas. Embora o dimensionamento estrutural continue fundamentado nas prescrições normativas, a utilização de simulações computacionais possibilita compreender o comportamento aerodinâmico em cenários específicos de ocupação urbana, complementando as análises convencionais e contribuindo para o desenvolvimento de projetos mais seguros e compatíveis com as características do ambiente construído. Essa complementaridade entre métodos normativos e ferramentas numéricas constitui um dos principais fundamentos da presente pesquisa.

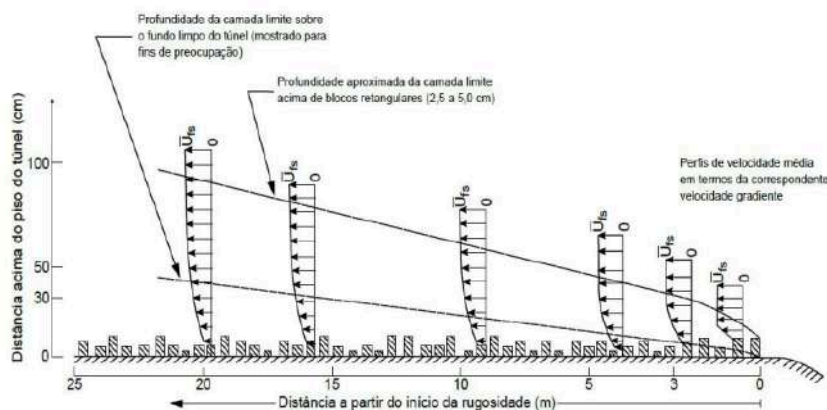
3.2 CARACTERÍSTICAS DO VENTO ATMOSFÉRICO E DA CAMADA LIMITE ATMOSFÉRICA

O vento atmosférico resulta das diferenças de pressão geradas pelo aquecimento desigual da superfície terrestre, pela rotação da Terra e pelas características geográficas de cada região. Em escalas próximas ao solo, entretanto, o comportamento do vento deixa de depender apenas dos fenômenos meteorológicos de grande escala e passa a ser fortemente influenciado pelas condições da superfície terrestre. A presença de edificações, vegetação,

relevo e demais obstáculos promove alterações significativas no escoamento do ar, originando uma região conhecida como camada limite atmosférica (*Atmospheric Boundary Layer – ABL*), na qual os efeitos do atrito com o terreno tornam-se predominantes (ABNT, 2023).

A camada limite atmosférica corresponde à porção inferior da atmosfera diretamente influenciada pela superfície terrestre, apresentando perfis de velocidade e intensidade de turbulência que variam conforme a rugosidade do terreno e as condições meteorológicas locais. Diferentemente do escoamento em regiões elevadas da atmosfera, onde a velocidade do vento tende a permanecer praticamente uniforme, na camada limite observa-se um crescimento progressivo da velocidade com a altura em razão da redução dos efeitos do atrito superficial. Esse comportamento constitui um dos fundamentos da Engenharia do Vento e é amplamente empregado na determinação das ações aerodinâmicas incidentes sobre edificações. A Figura 1 apresenta uma representação esquemática desse fenômeno, evidenciando o desenvolvimento da camada limite atmosférica sobre diferentes condições de rugosidade do terreno e o aumento progressivo da velocidade média do vento com a altura, em decorrência da redução dos efeitos do atrito superficial (ABNT, 2023; Solari et al., 2020).

Figura 1 - Simulação do crescimento natural da camada limite atmosférica



Fonte: (MARTINS, 2024)

Conforme ilustrado na Figura 1, a caracterização da camada limite atmosférica possui papel essencial no dimensionamento estrutural, uma vez que a distribuição vertical da velocidade do vento influencia diretamente a magnitude das pressões atuantes sobre uma edificação. Em regiões urbanas densamente ocupadas, a elevada rugosidade superficial reduz

a velocidade média do vento nas proximidades do solo, mas aumenta significativamente a intensidade da turbulência.

A caracterização da camada limite atmosférica possui papel essencial no dimensionamento estrutural, uma vez que a distribuição vertical da velocidade do vento influencia diretamente a magnitude das pressões atuantes sobre uma edificação. Em regiões urbanas densamente ocupadas, a elevada rugosidade superficial reduz a velocidade média do vento nas proximidades do solo, mas aumenta significativamente a intensidade da turbulência. Como consequência, edifícios altos passam a estar submetidos a um escoamento altamente tridimensional, caracterizado por flutuações contínuas de velocidade e direção, tornando a determinação das cargas aerodinâmicas um problema de elevada complexidade (TAMURA, 2021).

A rugosidade do terreno representa um dos principais parâmetros utilizados para descrever a interação entre o vento e a superfície terrestre. Áreas abertas, como regiões costeiras e campos, apresentam baixa rugosidade e permitem maior desenvolvimento da velocidade do vento junto ao solo. Em contrapartida, centros urbanos caracterizados pela elevada concentração de edificações produzem intenso atrito superficial, modificando o perfil vertical da velocidade e aumentando os níveis de turbulência. Em função dessas diferenças, normas técnicas de diversos países classificam o terreno em categorias de rugosidade, permitindo incorporar seus efeitos aos procedimentos de cálculo das ações do vento (ABNT, 2023; ASCE, 2022).

Essas alterações tornam-se particularmente relevantes quando edificações de diferentes alturas são implantadas em pequenas distâncias entre si. Nessas situações, o vento incidente sofre acelerações localizadas, mudanças bruscas de direção e formação de regiões de recirculação, modificando significativamente a distribuição das pressões superficiais. Dependendo da configuração do conjunto edificado, tais fenômenos podem produzir tanto reduções quanto amplificações das cargas aerodinâmicas atuantes sobre determinada estrutura, constituindo o denominado efeito de interferência entre edificações, tema que será discutido na próxima seção deste trabalho.

Dessa forma, a compreensão das características do vento atmosférico e da camada limite atmosférica representa um elemento indispensável para análises estruturais envolvendo ações do vento. Além de fundamentar os procedimentos estabelecidos pelas normas técnicas, esse conhecimento fornece a base física necessária para interpretar os fenômenos observados em simulações numéricas, especialmente em estudos que investigam a influência da ocupação urbana sobre o comportamento aerodinâmico de edifícios altos, como o desenvolvido nesta pesquisa.

3.3 AÇÕES DO VENTO CONFORME ABNT NBR 6123:2023

No Brasil, a determinação das ações do vento em edificações é regulamentada pela ABNT NBR 6123:2023 – Ações do vento em edificações, documento normativo que estabelece os critérios para avaliação das forças estáticas e dinâmicas decorrentes da ação do vento em estruturas. A publicação da nova edição representou uma atualização significativa da versão de 1988, incorporando avanços obtidos ao longo das últimas décadas em estudos climatológicos, pesquisas experimentais e desenvolvimento da Engenharia do Vento no país. Entre as principais alterações destacam-se a atualização do mapa de velocidades básicas do vento, a revisão de parâmetros meteorológicos e aerodinâmicos e o aprimoramento dos procedimentos de cálculo aplicáveis às edificações.

A norma estabelece que a ação do vento deve ser determinada a partir da velocidade básica do vento, definida como a velocidade característica associada a um período de retorno especificado para fins de projeto estrutural. Essa velocidade é obtida por meio de mapas de isopletas que representam a distribuição espacial das velocidades extremas no território brasileiro, elaborados com base em séries históricas de dados meteorológicos e estudos climatológicos recentes. A revisão desses mapas foi motivada pela ampliação da base de dados disponível e pela necessidade de representar de forma mais consistente os diferentes regimes de ventos observados nas diversas regiões do país. A representação desses mapas de isopletas e sua aplicação na determinação da velocidade básica do vento serão apresentadas posteriormente neste trabalho.

Entretanto, a velocidade básica não representa, isoladamente, a velocidade efetivamente atuante sobre uma edificação. Para considerar as características específicas do

local de implantação, a ABNT NBR 6123:2023 introduz fatores de ajuste que incorporam os efeitos da topografia, da rugosidade do terreno, da altura da edificação e da importância da construção. Esses parâmetros permitem adaptar os valores da velocidade do vento às condições reais de exposição da estrutura, reconhecendo que o comportamento do escoamento atmosférico varia significativamente conforme o ambiente em que a edificação está inserida.

O fator topográfico considera as alterações provocadas pelo relevo sobre o escoamento do vento. Regiões caracterizadas por morros, encostas, cristas ou escarpas podem promover acelerações locais do fluxo de ar, aumentando a intensidade das ações aerodinâmicas em comparação com áreas planas. Dessa forma, a consideração da topografia torna-se essencial para evitar subestimação das cargas de projeto em locais sujeitos à intensificação natural da velocidade do vento.

O fator relacionado à rugosidade do terreno representa um dos parâmetros mais importantes da metodologia normativa. Conforme discutido na seção anterior, o escoamento atmosférico sofre influência direta dos obstáculos presentes na superfície terrestre, fazendo com que a velocidade do vento varie com a altura e com o grau de ocupação do terreno. Assim, ambientes urbanos densamente edificados apresentam comportamento aerodinâmico distinto daquele observado em regiões abertas ou litorâneas. A classificação da rugosidade permite incorporar esses efeitos ao cálculo das ações do vento, refletindo de forma simplificada a influência do ambiente construído sobre o perfil vertical de velocidades.

Outro parâmetro considerado pela norma refere-se ao fator estatístico, responsável por adequar os carregamentos de acordo com a importância e a vida útil prevista para a estrutura. Edificações destinadas a funções essenciais, estruturas cuja falha implique elevado risco à população ou construções que demandem níveis superiores de confiabilidade podem requerer critérios diferenciados de dimensionamento, refletindo diferentes probabilidades de ocorrência dos eventos extremos de vento durante sua vida útil.

Após a determinação da velocidade característica do vento, a norma estabelece procedimentos para obtenção da pressão dinâmica, grandeza que representa a energia cinética do escoamento incidente sobre a estrutura. A partir dessa pressão, são aplicados coeficientes aerodinâmicos que dependem da geometria da edificação, da orientação das fachadas em

relação ao vento e das características do escoamento. Esses coeficientes permitem estimar as pressões atuantes nas diferentes superfícies da construção, constituindo a base para o cálculo das forças globais e locais utilizadas no dimensionamento estrutural.

Embora baseada em procedimentos simplificados, a metodologia proposta pela ABNT NBR 6123:2023 encontra respaldo em décadas de pesquisas experimentais e observações de campo, constituindo uma ferramenta robusta para o projeto estrutural de edificações usuais. Seu objetivo consiste em fornecer critérios seguros, padronizados e de aplicação prática para a determinação das ações do vento, permitindo que projetos estruturais sejam desenvolvidos de forma uniforme em todo o território nacional. Nesse sentido, a norma representa o principal instrumento técnico utilizado pelos projetistas brasileiros para o dimensionamento de edificações submetidas às ações eólicas.

Entretanto, como ocorre com qualquer procedimento normativo, os métodos empregados pela ABNT NBR 6123:2023 são fundamentados em modelos representativos destinados ao dimensionamento convencional das estruturas. Em situações caracterizadas por geometrias complexas ou elevada interação entre edificações, a representação detalhada do escoamento atmosférico pode exigir ferramentas complementares de análise. Estudos recentes apontam que técnicas baseadas em Fluidodinâmica Computacional e ensaios em túnel de vento têm sido empregadas para investigar cenários urbanos específicos, permitindo avaliar fenômenos como interferência aerodinâmica, canalização do fluxo e redistribuição das pressões superficiais, aspectos que extrapolam o escopo da metodologia normativa, mas não a invalidam. Ao contrário, essas abordagens atuam de forma complementar, ampliando a compreensão do comportamento do vento em ambientes urbanos complexos e fornecendo subsídios para análises mais detalhadas quando necessário. Essa perspectiva fundamenta a metodologia adotada neste trabalho, que utiliza a ABNT NBR 6123:2023 como referência para o dimensionamento do edifício isolado e emprega simulações em CFD para investigar os efeitos da evolução da ocupação urbana sobre as ações do vento.

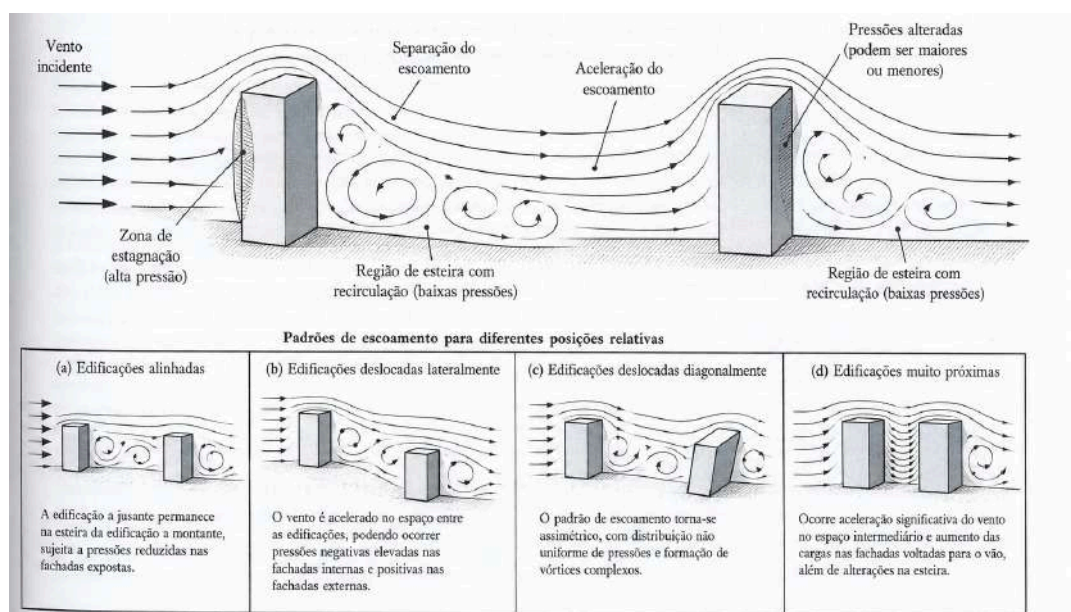
3.4 INTERFERÊNCIA AERODINÂMICA ENTRE EDIFICAÇÕES

A interferência aerodinâmica entre edificações corresponde ao conjunto de modificações no escoamento do vento provocadas pela interação entre duas ou mais estruturas

inseridas em um mesmo ambiente. Diferentemente da condição de edifício isolado, na qual o campo de velocidades é determinado predominantemente pela geometria da própria construção e pelas características da camada limite atmosférica, em conjuntos edificados o escoamento sofre alterações decorrentes da presença de obstáculos vizinhos, originando novos padrões de velocidade, turbulência e distribuição de pressões superficiais (TAMURA, 2021).

Nas últimas décadas, esse tema passou a ocupar posição de destaque na Engenharia do Vento em razão da intensificação da verticalização das cidades e da crescente complexidade dos ambientes urbanos. Estudos recentes demonstram que o comportamento aerodinâmico de um edifício não pode ser analisado exclusivamente a partir de suas características geométricas, pois a configuração do entorno exerce influência direta sobre o desenvolvimento do escoamento atmosférico. Como consequência, edificações de mesma altura e geometria podem apresentar distribuições de pressão significativamente distintas quando submetidas a diferentes configurações urbanas como pode ser observado na Figura 2 (BLOCKEN, 2021).

Figura 2 - Interferência aerodinâmica entre duas edificações



Fonte: Elaborado pelo autor (2026).

A interação entre edificações modifica o comportamento do escoamento por meio de diversos mecanismos físicos. Um dos primeiros fenômenos observados ocorre quando o vento encontra a edificação localizada a montante. Parte do fluxo é desviada para as laterais e para a

região superior da construção, enquanto outra parcela sofre desaceleração junto à fachada de incidência, formando uma região de elevada pressão estática conhecida como zona de estagnação. Após contornar a edificação, o escoamento acelera, separa-se das superfícies e origina regiões turbulentas caracterizadas por intensa recirculação do ar. A presença de uma segunda edificação inserida nesse campo de escoamento altera significativamente esses mecanismos, produzindo diferentes padrões aerodinâmicos conforme a posição relativa das estruturas (TOMINAGA; BLOCKEN, 2022).

Entre os fenômenos mais frequentemente descritos na literatura destaca-se o efeito de canalização (*channeling effect*). Esse mecanismo ocorre quando o espaçamento entre edificações restringe a passagem do vento, promovendo aceleração do escoamento em função da redução da seção disponível para o fluxo. Como consequência, verificam-se aumentos localizados da velocidade do vento e das pressões aerodinâmicas nas fachadas voltadas para a região canalizada. Estudos experimentais e numéricos indicam que esse efeito pode influenciar não apenas as cargas estruturais, mas também o conforto de pedestres e a ventilação urbana, sendo fortemente dependente da distância entre as edificações e da direção do vento incidente (BLOCKEN, 2021).

Outro mecanismo amplamente investigado corresponde ao efeito de sombreamento aerodinâmico (*shielding effect*). Nessa situação, uma edificação posicionada a montante reduz parcialmente a intensidade do vento que atinge uma construção localizada posteriormente. Embora esse fenômeno frequentemente resulte em diminuição das pressões sobre determinadas superfícies, a literatura demonstra que a redistribuição do escoamento pode gerar regiões localizadas de aceleração nas extremidades laterais e superiores das edificações, produzindo campos de pressão bastante heterogêneos. Dessa forma, o efeito de sombreamento não deve ser interpretado como simples redução das cargas de vento, mas como uma alteração complexa do comportamento aerodinâmico do conjunto edificado (TAMURA, 2021).

Os efeitos de interferência aerodinâmica apresentam comportamento altamente não linear. Pequenas modificações no posicionamento relativo das edificações podem provocar alterações expressivas nos campos de velocidade e nas distribuições de pressão. Essa sensibilidade torna difícil o estabelecimento de relações simplificadas capazes de representar adequadamente todos os cenários urbanos possíveis. Por esse motivo, pesquisas recentes têm

empregado extensivamente ensaios em túnel de vento e simulações em Fluidodinâmica Computacional como ferramentas para investigar diferentes configurações geométricas e compreender os mecanismos responsáveis pelas alterações das cargas aerodinâmicas (BLOCKEN, 2021; TOMINAGA; BLOCKEN, 2022).

A relação entre a altura das edificações e o espaçamento horizontal influencia os mecanismos de interferência aerodinâmica. Edifícios de alturas semelhantes tendem a produzir mecanismos de interferência distintos daqueles observados em conjuntos compostos por estruturas de diferentes dimensões. Da mesma forma, o afastamento entre construções modifica significativamente o desenvolvimento das esteiras turbulentas (*wake flows*), podendo ampliar ou reduzir os efeitos de canalização e recirculação. Esses fatores evidenciam que a interferência aerodinâmica constitui um fenômeno dependente de múltiplos parâmetros, cuja compreensão exige a análise integrada da geometria urbana e das características do escoamento atmosférico.

Nos últimos anos, o avanço da capacidade computacional possibilitou o desenvolvimento de modelos numéricos capazes de representar com elevado nível de detalhamento o comportamento tridimensional do vento em ambientes urbanos. Paralelamente, campanhas experimentais em túneis de vento permitiram validar diferentes estratégias de modelagem, contribuindo para o aperfeiçoamento das técnicas atualmente empregadas na Engenharia do Vento. Em conjunto, esses estudos consolidaram o entendimento de que a presença de edificações vizinhas modifica significativamente as condições aerodinâmicas locais, constituindo um dos principais desafios para análises envolvendo edifícios inseridos em ambientes urbanos densamente ocupados.

Assim, a interferência aerodinâmica entre edificações deve ser compreendida como um fenômeno inerente ao ambiente urbano contemporâneo, resultante da interação entre o escoamento atmosférico e múltiplos obstáculos distribuídos no espaço. Sua complexidade decorre da combinação entre fatores geométricos, meteorológicos e turbulentos, tornando necessária a utilização de métodos de análise capazes de representar adequadamente essas interações e contribuir para o avanço do conhecimento na Engenharia do Vento.

3.5 FLUIDODINÂMICA COMPUTACIONAL APLICADA À ENGENHARIA DO VENTO

O desenvolvimento da Fluidodinâmica Computacional transformou significativamente a forma como problemas relacionados ao escoamento dos fluidos são investigados na engenharia. Na área de Engenharia do Vento, a evolução da capacidade computacional e o aperfeiçoamento dos modelos numéricos permitiram que simulações anteriormente restritas ao ambiente acadêmico passassem a integrar estudos aplicados ao projeto de edificações, planejamento urbano e avaliação do comportamento aerodinâmico de estruturas complexas. Como resultado, a CFD consolidou-se como uma ferramenta de análise capaz de complementar métodos experimentais e normativos, oferecendo maior detalhamento do escoamento atmosférico em situações específicas (BLOCKEN, 2021).

A utilização dessa ferramenta na Engenharia do Vento está diretamente associada à necessidade de compreender fenômenos que dificilmente podem ser representados por procedimentos analíticos simplificados. Em ambientes urbanos, a interação entre edificações produz campos de velocidade altamente tridimensionais, caracterizados por regiões de aceleração, separação do escoamento, recirculação e intensa turbulência. A representação desses fenômenos exige técnicas capazes de descrever espacialmente o comportamento do fluxo, permitindo identificar alterações locais na distribuição das pressões e nos esforços aerodinâmicos atuantes sobre as estruturas (BLOCKEN, 2015).

Entre as principais contribuições da CFD destaca-se a possibilidade de visualizar o comportamento do vento em todo o domínio analisado. Diferentemente dos métodos convencionais de dimensionamento, que fornecem valores representativos para determinadas condições de projeto, as simulações numéricas permitem obter campos contínuos de velocidade, pressão, linhas de corrente e intensidade turbulenta. Essas informações possibilitam interpretar os mecanismos físicos responsáveis pela formação de zonas de estagnação, esteiras turbulentas (*wake flows*), recirculações e efeitos de canalização, contribuindo para uma compreensão mais abrangente da interação entre o vento e as edificações (TOMINAGA; BLOCKEN, 2022).

Outro aspecto relevante refere-se à flexibilidade proporcionada pelas simulações computacionais. A alteração de parâmetros geométricos, distâncias entre edificações, alturas,

orientações em relação ao vento e características do terreno pode ser realizada de forma relativamente rápida quando comparada à construção de novos modelos experimentais para ensaios em túnel de vento. Essa característica torna a CFD particularmente adequada para estudos paramétricos, nos quais diferentes configurações urbanas são analisadas com o objetivo de compreender a influência de cada variável sobre o comportamento aerodinâmico das estruturas (BLOCKEN, 2021).

Apesar das vantagens associadas à modelagem numérica, a literatura destaca que a confiabilidade das simulações depende diretamente da qualidade do modelo computacional adotado. A definição adequada da geometria, das condições de contorno, do domínio de cálculo, da discretização espacial e do modelo de turbulência influencia significativamente os resultados obtidos. Pequenas alterações nesses parâmetros podem modificar a distribuição das pressões superficiais e os campos de velocidade, motivo pelo qual diferentes diretrizes internacionais recomendam procedimentos específicos para o desenvolvimento e a validação de estudos envolvendo CFD aplicada à Engenharia do Vento (FRANKE et al., 2021).

A validação dos modelos numéricos constitui outro aspecto amplamente discutido na literatura científica. Diversas pesquisas têm comparado resultados provenientes de simulações computacionais com ensaios realizados em túneis de vento e medições em escala real, buscando avaliar a capacidade dos modelos em reproduzir o comportamento do escoamento atmosférico. De modo geral, observa-se boa concordância entre os métodos quando são respeitadas as recomendações de modelagem e os critérios de qualidade estabelecidos para a representação da camada limite atmosférica e da turbulência, reforçando a confiabilidade da CFD como ferramenta de investigação científica (BLOCKEN, 2015).

No campo específico da interferência aerodinâmica entre edificações, a CFD apresenta uma vantagem adicional ao possibilitar a análise detalhada de diferentes cenários de ocupação urbana. A inserção, remoção ou reposicionamento de edifícios pode ser realizada diretamente no modelo computacional, permitindo investigar como alterações na configuração do entorno modificam os campos de velocidade, as distribuições de pressão e os esforços atuantes sobre determinada estrutura. Essa característica torna a ferramenta particularmente útil em pesquisas que buscam compreender os efeitos da evolução da malha urbana sobre edificações existentes,

uma vez que diferentes configurações podem ser avaliadas de maneira sistemática e comparativa.

Embora não substitua os procedimentos estabelecidos pelas normas técnicas nem os ensaios experimentais em situações que exijam elevado nível de precisão, a Fluidodinâmica Computacional representa atualmente uma das principais ferramentas de apoio à Engenharia do Vento. Sua capacidade de reproduzir fenômenos aerodinâmicos complexos, associada ao contínuo avanço dos recursos computacionais e das técnicas de modelagem, contribuiu para ampliar significativamente as possibilidades de investigação do comportamento do vento em ambientes urbanos. Nesse contexto, a utilização da CFD constitui uma abordagem tecnicamente consistente para estudos que envolvem a análise da interferência aerodinâmica entre edificações e a avaliação da influência da ocupação urbana sobre as ações do vento. A Tabela 1 apresenta uma síntese de estudos recentes que evidenciam as principais aplicações da CFD na Engenharia do Vento, bem como as metodologias empregadas e os resultados alcançados.

Tabela 1 – Síntese de estudos recentes sobre CFD aplicada à Engenharia do Vento e interferência aerodinâmica

Autor(es)	Ano	Objetivo	Metodologia	Principais conclusões
Blocken	2021	Revisar a evolução da Engenharia do Vento Computacional nos últimos 50 anos.	Revisão da literatura e análise da evolução das técnicas de CFD.	A CFD consolidou-se como ferramenta complementar aos ensaios em túnel de vento, sendo amplamente empregada em estudos urbanos e ações do vento em edificações.
Tominaga e Blocken	2022	Apresentar o estado da arte da CFD aplicada à física urbana.	Revisão bibliográfica.	A confiabilidade das simulações depende da correta definição da camada limite atmosférica, da malha computacional e dos modelos de turbulência.
Blocken	2015	Discutir recomendações para simulações CFD em física urbana.	Revisão técnica.	Foram propostas boas práticas para domínio computacional, refinamento de malha e validação dos modelos numéricos.
Franke et al.	2021	Atualizar diretrizes para modelagem CFD em ambientes urbanos.	Documento técnico.	A padronização das condições de contorno melhora a confiabilidade e a reprodutibilidade das simulações.

Kodakkal et al.	2022	Avaliar a aplicação da CFD no projeto aerodinâmico de edifícios altos.	Simulações CFD e otimização estrutural.	A CFD pode contribuir para reduzir ações do vento e melhorar o desempenho aerodinâmico das edificações.
Hågbo; Giljarhus; Hjertager	2020	Investigar a influência da modelagem geométrica em simulações urbanas.	Comparação entre modelos CFD.	A representação da geometria urbana influencia diretamente a precisão dos resultados.

Fonte: Elaborado pelo autor (2026), com base em Blocken (2015; 2021), Franke et al. (2021), Tominaga e Blocken (2022), Kodakkal et al. (2022) e Hågbo, Giljarhus e Hjertager (2020).

A análise dos estudos apresentados evidencia que a Fluidodinâmica Computacional se consolidou como uma ferramenta amplamente empregada na Engenharia do Vento para investigação de fenômenos aerodinâmicos em ambientes urbanos. Apesar das diferenças quanto aos objetivos e metodologias adotadas, observa-se consenso na literatura de que a confiabilidade das simulações depende da adequada representação da camada limite atmosférica, da definição das condições de contorno, da qualidade da malha computacional e da validação dos modelos numéricos. Além disso, os trabalhos recentes reforçam o potencial da CFD para análise da interferência aerodinâmica entre edificações, permitindo investigar cenários urbanos complexos e avaliar alterações no comportamento do vento decorrentes da configuração do entorno construído.

4 METODOLOGIA

4.1 CLASSIFICAÇÃO DA PESQUISA

A presente pesquisa caracteriza-se como aplicada, uma vez que busca investigar um problema de natureza prática relacionado à influência da ocupação urbana sobre as ações do vento em edifícios altos, empregando ferramentas de análise que possibilitam avaliar situações representativas da realidade da engenharia estrutural. Segundo Gil (2022), pesquisas aplicadas têm como finalidade gerar conhecimentos voltados para a solução de problemas específicos, utilizando fundamentos científicos para subsidiar aplicações práticas.

Quanto à abordagem do problema, a pesquisa é classificada como quantitativa, pois fundamenta-se na obtenção, processamento e comparação de dados numéricos referentes às pressões aerodinâmicas, forças e momentos atuantes sobre a edificação analisada. Esses resultados foram obtidos por meio de cálculos baseados na ABNT NBR 6123:2023 e de simulações numéricas realizadas em ambiente de Fluidodinâmica Computacional (CFD), permitindo a comparação objetiva entre os diferentes cenários investigados.

Em relação aos objetivos, o estudo possui caráter descritivo e comparativo. A pesquisa descreve o comportamento das ações do vento sobre uma edificação alta submetida a diferentes configurações de ocupação urbana e compara os resultados obtidos pelo procedimento normativo com aqueles provenientes das simulações computacionais. Essa abordagem permite identificar alterações nas distribuições de pressão, forças aerodinâmicas e momentos decorrentes da presença de edificações vizinhas, possibilitando avaliar a influência da interferência aerodinâmica sobre o comportamento estrutural da edificação analisada.

Quanto aos procedimentos técnicos, a pesquisa fundamenta-se em levantamento bibliográfico, aplicação de procedimentos normativos e modelagem computacional. Inicialmente, realizou-se uma revisão da literatura sobre Engenharia do Vento, interferência aerodinâmica entre edificações e Fluidodinâmica Computacional, com base em normas técnicas, livros de referência e artigos científicos recentes. Em seguida, foram determinadas as ações do vento conforme os procedimentos estabelecidos pela ABNT NBR 6123:2023 para um edifício isolado. Posteriormente, desenvolveu-se um modelo tridimensional da edificação em ambiente computacional, no qual foram realizadas simulações numéricas representando diferentes cenários de ocupação urbana.

A metodologia foi estruturada em quatro etapas principais. Na primeira etapa, realizou-se o dimensionamento das ações do vento conforme a ABNT NBR 6123:2023, estabelecendo um cenário de referência para comparação. Na segunda etapa, foi desenvolvido o modelo computacional do edifício isolado e realizadas as simulações em CFD. Na terceira etapa, foram simulados cenários contendo duas e três edificações, representando diferentes níveis de ocupação urbana e permitindo avaliar os efeitos da interferência aerodinâmica. Por fim, procedeu-se à extração das pressões médias atuantes em cada fachada, ao cálculo das

forças e dos momentos correspondentes e à análise comparativa entre todos os casos estudados.

4.2 CARACTERIZAÇÃO DA EDIFICAÇÃO ANALISADA

O objeto de estudo desta pesquisa consiste em uma edificação prismática de geometria regular, adotada como modelo de referência para a análise das ações do vento em diferentes configurações de ocupação urbana. A escolha de uma geometria simplificada teve como finalidade reduzir a influência de particularidades arquitetônicas sobre o comportamento aerodinâmico, permitindo que as variações observadas nos resultados fossem atribuídas predominantemente à presença de edificações vizinhas e aos efeitos de interferência aerodinâmica.

A edificação possui planta retangular com dimensões de 20 m de largura, 30 m de comprimento e 100 m de altura, resultando em uma estrutura representativa de edifícios altos encontrados em centros urbanos brasileiros. Essas dimensões foram definidas de forma a representar uma tipologia estrutural frequentemente empregada em edificações comerciais e residenciais de múltiplos pavimentos, possibilitando avaliar o comportamento do vento em uma estrutura cuja altura torna as ações eólicas particularmente relevantes para o dimensionamento estrutural.

Para facilitar a identificação das superfícies durante as etapas de processamento dos resultados, as fachadas foram identificadas de acordo com o sistema de coordenadas adotado no modelo tridimensional. As faces perpendiculares ao eixo X foram denominadas +X e -X, enquanto as superfícies perpendiculares ao eixo Y foram identificadas como +Y e -Y. A cobertura da edificação foi considerada como a superfície superior (+Z) e a base permaneceu vinculada ao plano de apoio da estrutura. Essa padronização permitiu manter a correspondência entre as superfícies analisadas nos cálculos normativos e aquelas identificadas nas simulações numéricas, reduzindo a possibilidade de inconsistências durante a extração e comparação dos resultados.

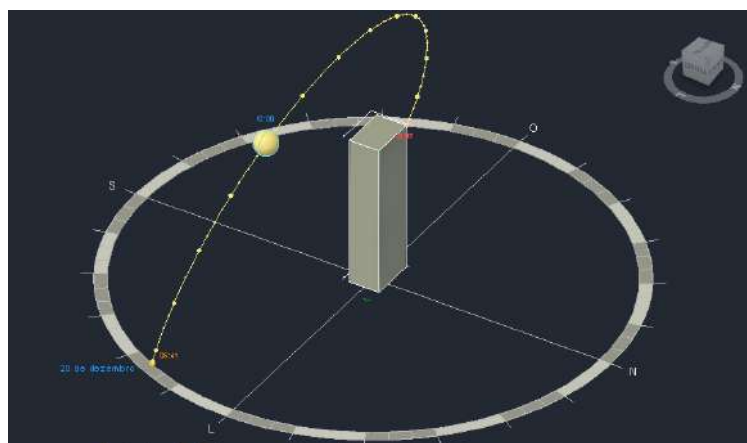
As áreas das fachadas foram determinadas diretamente a partir das dimensões geométricas da edificação. As faces correspondentes aos lados de 20 m $\times$ 100 m apresentam área de 2.000 m², enquanto as fachadas de 30 m $\times$ 100 m possuem área de 3.000 m². Esses

valores foram utilizados tanto na determinação das forças conforme os procedimentos estabelecidos pela ABNT NBR 6123:2023 quanto no processamento dos resultados obtidos nas simulações computacionais.

Com o objetivo de avaliar exclusivamente a influência da ocupação urbana sobre as ações do vento, foram mantidas inalteradas as características geométricas da edificação em todos os cenários analisados. Assim, altura, dimensões da planta, orientação e propriedades geométricas permaneceram constantes durante toda a pesquisa, sendo modificada apenas a configuração do entorno construído nos diferentes casos de estudo. Essa estratégia permitiu que as diferenças observadas entre os resultados fossem atribuídas exclusivamente à presença de edificações vizinhas, eliminando interferências decorrentes de alterações na geometria da estrutura principal.

A Figura 3 apresenta a geometria tridimensional adotada como modelo de referência, indicando suas principais dimensões e a identificação das fachadas utilizadas ao longo das análises.

Figura 3 – Geometria da edificação analisada e identificação das fachadas.



Fonte: Elaborado pelo autor (2026).

4.3 DETERMINAÇÃO DAS AÇÕES DO VENTO CONFORME ABNT NBR 6123:2023

Como referência para a análise comparativa desenvolvida nesta pesquisa, as ações do vento foram inicialmente determinadas conforme os procedimentos estabelecidos pela ABNT NBR 6123:2023 – Ações do vento em edificações. Esse procedimento constituiu o cenário de

referência para as comparações realizadas posteriormente com os resultados obtidos por meio das simulações em Fluidodinâmica Computacional (CFD).

A aplicação da metodologia normativa foi conduzida considerando uma edificação isolada, conforme as condições previstas pela norma para o dimensionamento estrutural convencional. Inicialmente, foi definida a velocidade básica do vento correspondente à região de estudo, obtida a partir do mapa de isopletras apresentado na ABNT NBR 6123:2023, que neste trabalho, será apresentado o mapa das isopletras em seção adiante. Em seguida, foram considerados os fatores de correção relacionados às características topográficas, à rugosidade do terreno, à altura da edificação e ao nível de confiabilidade estabelecido para a estrutura, permitindo determinar a velocidade característica do vento incidente sobre o edifício. Os critérios adotados para a definição desses parâmetros, bem como os respectivos valores utilizados nos cálculos, são apresentados na seção seguinte.

Com base na velocidade característica, foi determinada a pressão dinâmica do vento, utilizada como parâmetro para o cálculo das pressões atuantes nas diferentes fachadas da edificação. Posteriormente, foram aplicados os coeficientes aerodinâmicos previstos pela norma para a geometria analisada, possibilitando a obtenção das pressões externas correspondentes às superfícies expostas ao escoamento atmosférico.

As forças atuantes em cada fachada foram determinadas a partir da multiplicação entre a pressão média obtida e a respectiva área da superfície analisada. Posteriormente, foram calculados os momentos fletores em relação à base da estrutura, considerando a distribuição das cargas ao longo da altura da edificação. Esses parâmetros constituíram a base de comparação com os resultados provenientes das simulações computacionais.

Durante toda a aplicação da metodologia normativa, foram mantidas constantes as características geométricas da edificação, bem como sua orientação em relação ao vento incidente. Dessa forma, as diferenças observadas entre os cenários analisados decorreram exclusivamente das alterações introduzidas nas simulações computacionais, relacionadas à presença de edificações vizinhas, preservando a comparabilidade entre os resultados.

Os valores obtidos por meio da ABNT NBR 6123:2023 foram organizados em um banco de dados contendo as pressões médias, forças resultantes e momentos atuantes em cada

fachada da edificação. Esse conjunto de informações foi utilizado como referência para a comparação com os resultados extraídos do Autodesk CFD, permitindo avaliar as diferenças entre o procedimento normativo e os cenários de ocupação urbana simulados.

4.4 CÁLCULO DAS AÇÕES DO VENTO SEGUNDO A ABNT NBR 6123:2023

Para a determinação das ações do vento sobre a edificação de referência foi adotado o procedimento estabelecido pela ABNT NBR 6123:2023 – Forças devidas ao vento em edificações. A edificação foi considerada isolada, de forma a servir como caso-base para posterior comparação com as simulações numéricas realizadas por meio de Dinâmica dos Fluidos Computacional (CFD).

Dados da edificação

Os parâmetros adotados para o cálculo são apresentados a seguir:

- Localização: João Pessoa – PB;
- Norma utilizada: ABNT NBR 6123:2023;
- Categoria do terreno: IV, caracterizada por regiões urbanas densamente edificadas, com edificações de médio e grande porte, nas quais a rugosidade superficial influencia significativamente o perfil vertical da velocidade do vento, conforme a ABNT NBR 6123:2023.
- Topografia: terreno plano, sem escarpas e sem morros;
- Dimensões da edificação: 20 m (X) × 30 m (Y) × 100 m (Z);
- Direção do vento: perpendicular à face de 20 m;
- Área frontal exposta ao vento:

$$A_f = X \times Z \quad (1)$$

$$A_f = 20 \times 100 = 2000m^2$$

- Velocidade característica do vento:

A velocidade característica do vento é determinada pela Equação (2):

$$V_k = V_0 * S_1 * S_2 * S_3 \quad (2)$$

em que:

V_k = velocidade característica do vento (m/s);

V_0 = velocidade básica do vento obtida nas isopletras da norma (m/s);

S_1 = fator topográfico (adotado igual a 1,0 para terreno plano);

S_2 = fator de rugosidade do terreno e das dimensões da edificação (Categoria IV – Classe C);

S_3 = fator estatístico (adotado igual a 1,0 para a edificação em estudo, conforme a ABNT NBR 6123:2023).

- Pressão dinâmica do vento:

A pressão dinâmica é calculada pela expressão apresentada pela Equação (3):

$$q = 0,613 * V_k^2 \quad (3)$$

em que:

q = Pressão dinâmica do vento (N/m²);

V_k = Velocidade característica do vento (m/s).

- Força:

A Equação (4) apresenta a relação para determinação da força global do vento:

$$F = C_a * q * A_e \quad (4)$$

em que:

C_a = Coeficiente de arrasto;

q = Coeficiente de pressão (Pa);

A_e = Área de influência.

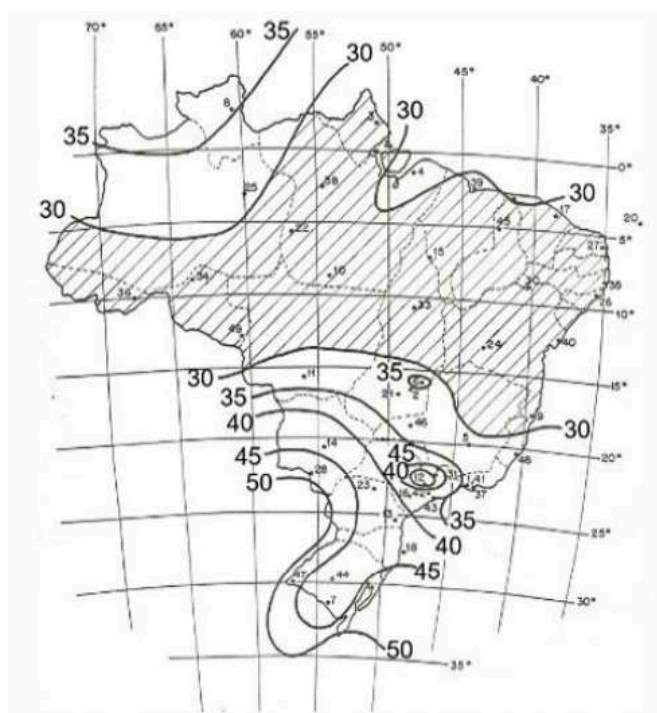
Após a definição dos parâmetros estabelecidos pela ABNT NBR 6123:2023, procede-se à determinação dos fatores necessários para o cálculo da velocidade característica do vento atuante sobre a edificação. Inicialmente são obtidos a velocidade básica do vento

para a região de estudo, o fator topográfico, o fator de rugosidade do terreno e o fator estatístico. Em seguida, esses parâmetros são utilizados para o cálculo da velocidade característica do vento, da pressão dinâmica e da força de arrasto atuante sobre a fachada da edificação, conforme as equações apresentadas anteriormente.

4.4.1 Velocidade básica do vento

A velocidade básica do vento corresponde à velocidade de referência estabelecida pela ABNT NBR 6123:2023 para cada região do território brasileiro, sendo obtida por meio do mapa de isopletras apresentado na norma. Para o município de João Pessoa, estado da Paraíba, adota-se a velocidade básica do vento de $V_0 = 35 \text{ m/s}$

Figura 4 - Isopletras de velocidade básica V_0



Fonte: (ABNT, 2023).

4.4.2 Fator topográfico

O fator topográfico considera a influência do relevo sobre a velocidade do vento. Conforme a ABNT NBR 6123:2023, para edificações implantadas em terrenos planos ou

fracamente acidentados, sem a presença de escarpas, morros ou outras irregularidades topográficas significativas, adota-se: $S1 = 1,0$.

4.4.3 Fator de rugosidade do terreno

O fator de rugosidade leva em consideração a influência da categoria do terreno, das dimensões da edificação e da altura analisada sobre o perfil vertical da velocidade do vento.

Para essa condição, a ABNT NBR 6123:2023 estabelece a seguinte expressão apresentada pela Equação (5):

$$S2 = b * Fr(z/10) * p \quad (5)$$

em que:

b = parâmetro adimensional que depende da categoria de rugosidade do terreno;

Fr = fator de rajada correspondente às características do terreno e da edificação;

p = expoente adimensional associado ao perfil vertical da velocidade do vento, definido em função da categoria do terreno;

z = altura, em metros, em relação ao terreno, na qual se determina a velocidade característica do vento (para este estudo, $z = 100$ m).

Para a Categoria IV do terreno, adotaram-se os seguintes valores: $b = 0,84$, $Fr = 0,95$, $p = 0,135$ e $z = 100$ m. Assim, para a edificação analisada, obtém-se $S2 = 1,09$.

4.4.4 Fator estatístico

Conforme a ABNT NBR 6123:2023, para edificações destinadas ao uso residencial, o valor estabelecido pela norma é de: $S3 = 1,0$.

4.4.5 Velocidade característica do vento

Com a determinação dos fatores que compõem a velocidade característica do vento, aplica-se a Equação (2) apresentada anteriormente:

$$V_k = V_0 * S_1 * S_2 * S_3 \quad (2)$$

$$V_k = 35 * 1 * 1,09 * 1$$

$$V_k = 38,15 \text{ m/s}$$

4.4.6 Pressão dinâmica do vento

Após obtermos a velocidade característica do vento, utilizamos o valor encontrado, para através da Equação (3), determinar a pressão dinâmica do vento.

$$q = 0,613 * V_k^2$$

$$q = 0,613 * (38,15)^2$$

$$q = 892,5 \text{ N/m}^2 \text{ ou } 0,893 \text{ kN/m}^2$$

4.4.7 Força de arrasto

O coeficiente de arrasto representa a influência da geometria da edificação sobre a força exercida pelo vento. Conforme a ABNT NBR 6123:2023, esse coeficiente é determinado graficamente em função das proporções da edificação e da direção de incidência do vento.

Inicialmente, são calculadas as relações geométricas da edificação:

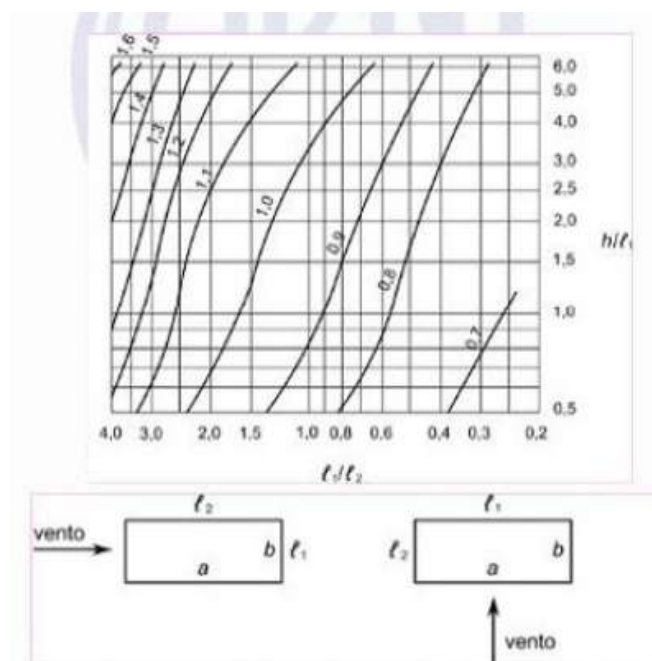
$$H/l_2 = 100/20 = 5$$

$$X/Y = 20/30 = 0,667$$

em que (h) corresponde à altura da edificação, (X) à dimensão paralela à direção do vento e (Y) à dimensão perpendicular à direção do vento.

Esses valores foram localizados no gráfico de coeficiente de arrasto apresentado na Figura 5 pela ABNT NBR 6123:2023. A interseção entre as relações ($h/l_2 = 5,0$) e ($X/Y = 0,67$) fornece um coeficiente de arrasto aproximado de: $C_a = 1,0$.

Figura 5 - Coeficiente de arrasto



Fonte: (ABNT, 2023).

4.4.8 Força global do vento

A força global do vento é obtida pela Equação (4) citada anteriormente:

$$F = C_a * q * A_e$$

$$F = 1 * 0,893 * 2000$$

$$F = 1786 \text{ kN}$$

4.5 SIMULAÇÃO NUMÉRICA DAS EDIFICAÇÕES POR MEIO DA DINÂMICA DOS FLUIDOS COMPUTACIONAL (CFD) - AUTODESK CFD 2027

Inicialmente, foi realizada a modelagem geométrica das edificações no software Autodesk Revit, considerando as dimensões definidas para os casos analisados. Essa etapa teve como objetivo representar as diferentes configurações de ocupação adotadas no estudo e preparar a geometria para sua posterior utilização nas simulações numéricas no Autodesk CFD 2027. A Figura 6 apresenta os modelos das edificações considerados nas diferentes configurações analisadas.

Figura 6 – Modelagem das configurações das edificações no Autodesk Revit



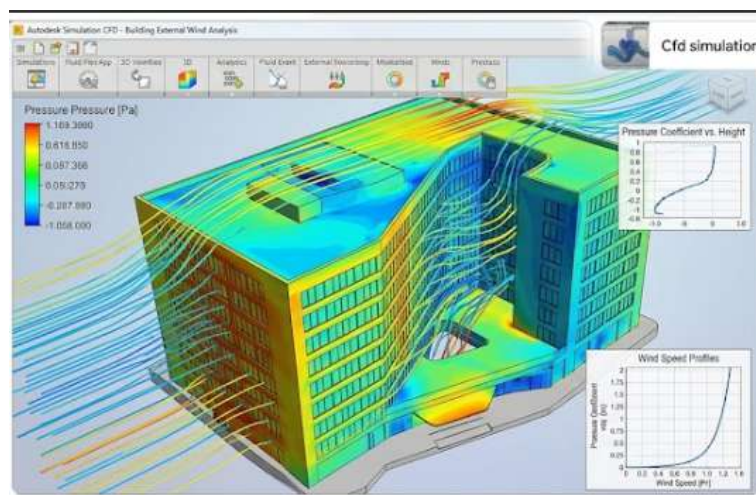
Fonte: Elaborado pelo autor no Autodesk Revit (2026).

Após a determinação das ações do vento sobre a edificação isolada conforme os procedimentos da ABNT NBR 6123:2023, procedeu-se à realização das simulações numéricas por meio da Dinâmica dos Fluidos Computacional (CFD). Para isso, foram utilizadas as geometrias previamente modeladas, considerando edificações com dimensões de $20\text{ m} \times 30\text{ m} \times 100\text{ m}$ e velocidade característica do vento de $38,15\text{ m/s}$, obtida a partir dos cálculos normativos.

As simulações, realizadas no Autodesk CFD 2027, permitiram analisar o comportamento do escoamento ao redor das edificações e obter parâmetros como distribuição de pressões e velocidades. Posteriormente, os resultados foram comparados com os valores determinados conforme a ABNT NBR 6123:2023, possibilitando avaliar os efeitos

decorrentes das diferentes configurações de edificações adotadas no estudo. A Figura 7 é uma exemplificação do software utilizado para as simulações realizadas.

Figura 7 - Exemplificação do software Autodesk CFD 2027



Fonte: Elaborado pelo autor no Autodesk CFD (2026).

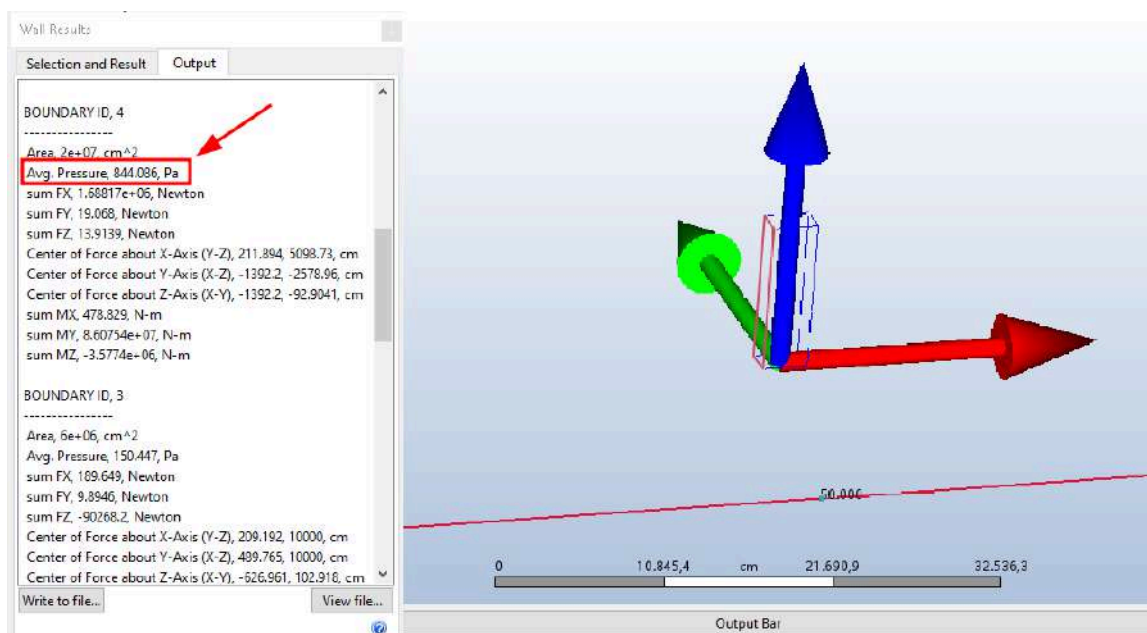
4.5.1 Caso 1 - Edificação isolada

O primeiro caso corresponde à simulação da edificação isolada, utilizando as mesmas dimensões adotadas nos cálculos normativos ($20\text{ m} \times 30\text{ m} \times 100\text{ m}$) e a velocidade característica do vento de $V0 = 38,15\text{ m/s}$. Este caso tem como objetivo estabelecer uma condição de referência para comparação com os resultados obtidos nas configurações contendo duas e três edificações, considerando a incidência do vento perpendicular à face de 20 m da edificação. A partir da solução numérica foram obtidos os campos de velocidade, pressão e as forças aerodinâmicas atuantes sobre a estrutura.

Com base nos resultados apresentados na Figura 8, observa-se que a simulação numérica da edificação isolada forneceu uma pressão máxima de 844 Pa , enquanto o cálculo realizado conforme a ABNT NBR 6123:2023 resultou em 893 Pa . A diferença entre os valores é de aproximadamente $5,5\%$, indicando boa concordância entre a modelagem computacional e o procedimento normativo para o caso de uma edificação isolada. Essa proximidade demonstra que o modelo desenvolvido no Autodesk CFD 2027 representa

adequadamente o comportamento do escoamento do vento, possibilitando sua utilização na análise dos casos com interferência aerodinâmica entre edificações.

Figura 8 - Caso 1 (Prédio Isolado)



Fonte: Elaborado pelo autor no Autodesk CFD (2026).

4.5.2 Caso 2 - Edificação Dupla

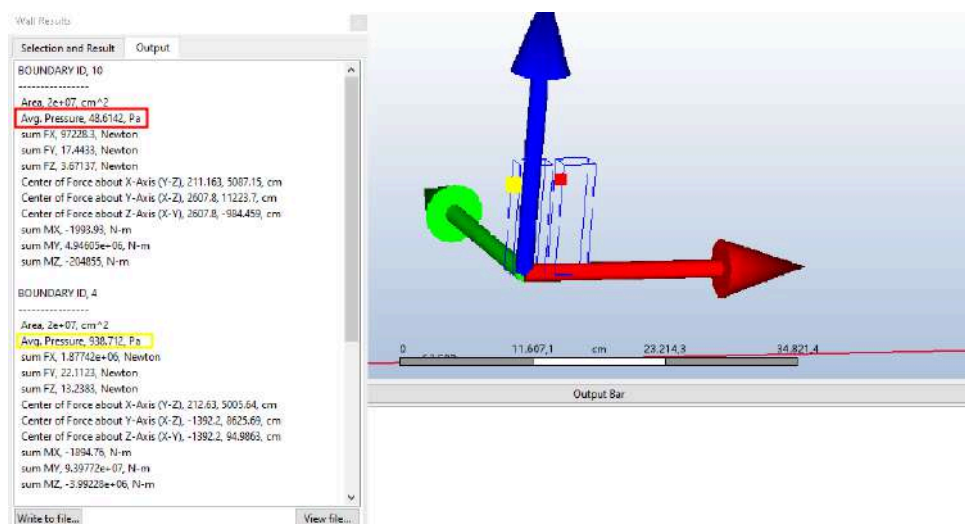
Neste segundo caso foi analisada a interferência aerodinâmica entre duas edificações idênticas, ambas com dimensões de 20 m × 30 m em planta e 100 m de altura, posicionadas conforme a configuração definida na metodologia. Dessa forma, a única variável analisada foi a influência da proximidade entre as edificações sobre o escoamento do vento, eliminando os efeitos decorrentes de diferenças geométricas.

A simulação mostrou que a presença da segunda edificação altera significativamente a distribuição das pressões do vento. No caso isolado, a pressão média obtida na fachada de incidência foi de 844,09 Pa. Com a inclusão da segunda edificação, a pressão na fachada frontal do Prédio 1 aumentou para 938,17 Pa, representando um acréscimo de aproximadamente 11,1%.

Já o Prédio 2, localizado atrás da primeira edificação em relação à direção do vento, apresentou uma pressão média de apenas 48,61 Pa. Esse resultado indica uma redução de aproximadamente 94,2% em relação ao caso isolado, demonstrando que o primeiro edifício atuou como uma barreira ao escoamento do vento, reduzindo significativamente a pressão incidente sobre a segunda edificação.

Esses resultados apresentados na Figura 9 mostram que, mesmo quando as edificações possuem dimensões idênticas, a presença de uma construção vizinha pode modificar significativamente o comportamento do vento e alterar as pressões atuantes nas fachadas. Enquanto a primeira edificação sofreu um aumento na pressão devido à interferência do escoamento, a segunda ficou protegida pelo efeito de sombra aerodinâmica gerado pela primeira torre. Dessa forma, verifica-se que a interação entre edificações deve ser considerada em estudos de engenharia, principalmente em regiões com elevada verticalização.

Figura 9 - Caso 2 (Dupla Edificação)



Fonte: Elaborado pelo autor no Autodesk CFD (2026).

4.5.3 Caso 3 - Edificação Tripla

A simulação com três edificações permitiu avaliar o comportamento do escoamento do vento em uma configuração urbana mais complexa. Os resultados mostraram que a presença

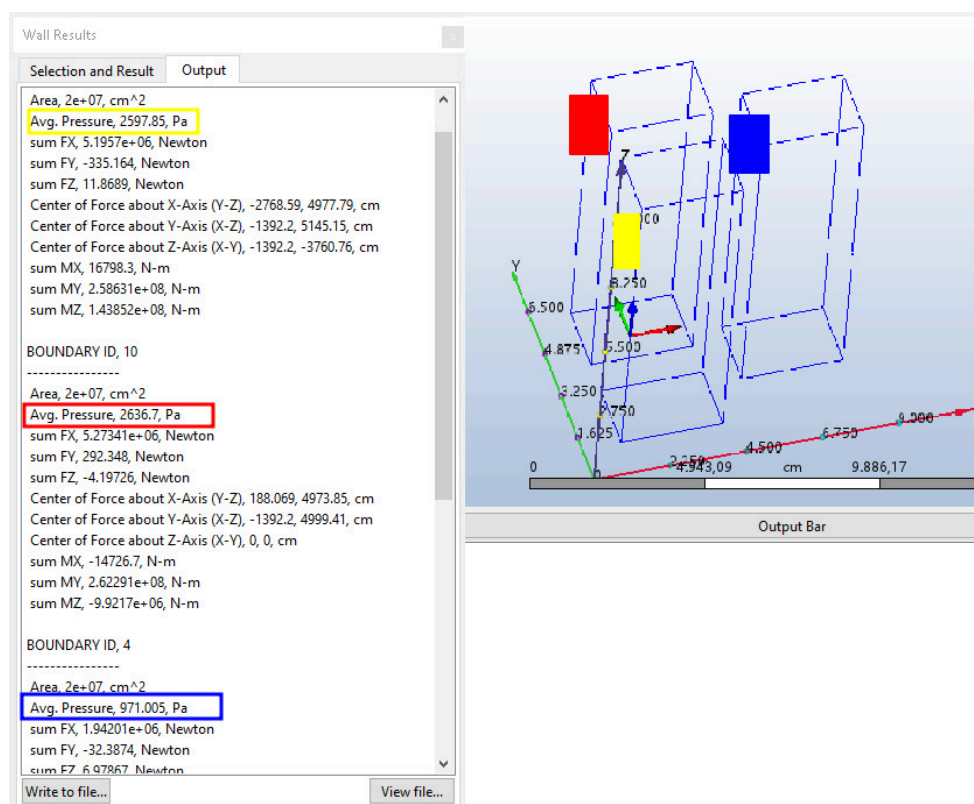
de múltiplas edificações altera significativamente a distribuição das pressões nas fachadas, evidenciando o efeito da interferência aerodinâmica entre os edifícios.

As edificações A e B, localizadas diretamente na região de incidência do vento, apresentaram as maiores pressões na fachada frontal, com valores médios de 2636,70 Pa e 2597,85 Pa, respectivamente. Esses resultados indicam que ambas receberam praticamente a mesma intensidade do escoamento, podemos observá-los na Figura 10.

Para o Prédio C, localizado a jusante das edificações A e B, foi obtida uma pressão média de 971,01 Pa na fachada frontal. Embora esse valor seja inferior ao observado nas edificações posicionadas à montante, ele permanece superior ao obtido para a edificação isolada (844,09 Pa), indicando que o escoamento, após passar entre os dois primeiros edifícios, ainda atingiu o terceiro com intensidade significativa.

De modo geral, os resultados confirmam que a disposição das edificações influencia diretamente o comportamento do vento, alterando a distribuição das pressões superficiais. A configuração adotada favoreceu a concentração do escoamento entre os edifícios A e B, modificando as cargas atuantes e evidenciando que a interação aerodinâmica pode produzir efeitos diferentes daqueles observados em edificações isoladas.

Figura 10 - Caso 3 (Tripla Edificação)



Fonte: Elaborado pelo autor no Autodesk CFD (2026).

5. VISÃO CONSOLIDADA DAS PRESSÕES MÉDIAS OBTIDAS NOS 3 CASOS

Com o objetivo de consolidar os resultados obtidos, foi elaborada a Tabela 2, no qual são apresentados os valores da pressão média na fachada de incidência para cada configuração analisada. Além disso, o quadro apresenta a variação percentual da pressão média em relação ao valor de referência obtido por meio da ABNT NBR 6123:2023, permitindo uma comparação direta entre os diferentes casos estudados.

Tabela 2 – Dados consolidados comparativos

Caso	Configuração	Edificação	Pressão média na fachada de incidência (Pa)	Variação em relação à NBR 6123:2023
------	--------------	------------	---	-------------------------------------

1	NBR 6123:2023	PRÉDIO 1	892,5	0,00
2	CFD – Edificação isolada	PRÉDIO 1	844,09	-5,42
3	CFD – Duas edificações	PRÉDIO 1	938,17	5,12
		PRÉDIO 2	48,61	-94,55
4	CFD – Três edificações	PRÉDIO 1	2636,7	195,43
		PRÉDIO 2	2597,85	191,08
		PRÉDIO 3	971,01	8,80

Fonte: Elaborado pelo autor (2026).

6. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Inicialmente foi realizada a comparação entre os resultados obtidos pela ABNT NBR 6123:2023 e a simulação numérica de uma edificação construída de forma isolada, com o objetivo de verificar a confiabilidade do modelo computacional desenvolvido no Autodesk CFD. A pressão média obtida pela norma foi de 892,5 Pa, enquanto a simulação apresentou 844,09 Pa, correspondendo a uma diferença de aproximadamente 5,4%. Essa pequena diferença demonstra que a modelagem numérica reproduziu satisfatoriamente o comportamento esperado para uma edificação isolada, permitindo sua utilização nas análises seguintes.

No caso composto por duas edificações, verificou-se que a presença de um edifício vizinho modificou significativamente a distribuição das pressões. A pressão média na fachada frontal do primeiro edifício (A) aumentou para 938,17 Pa, representando um acréscimo de aproximadamente 5,1% em relação ao valor normativo. Em contrapartida, a fachada frontal do segundo edifício (B) apresentou pressão média de apenas 48,61 Pa, evidenciando que o primeiro edifício reduziu significativamente a velocidade do escoamento que atingiu a segunda edificação, caracterizando o efeito de sombra aerodinâmica.

Na configuração composta por três edificações, observou-se uma alteração ainda mais significativa do escoamento do vento. As edificações A e B apresentaram pressões médias de 2636,70 Pa e 2597,85 Pa, respectivamente, indicando uma forte concentração das pressões devido à interação entre os edifícios. Já a edificação C apresentou pressão média de 971,01 Pa, valor superior ao obtido para a edificação isolada, porém muito inferior às pressões observadas nas edificações A e B. Esse comportamento indica que a geometria formada pela configuração das três torres promoveu uma redistribuição do fluxo de ar, intensificando as pressões em determinadas regiões e reduzindo-as em outras.

De maneira geral, os resultados demonstram que a presença de edificações vizinhas influencia diretamente o comportamento do vento e a distribuição das pressões nas fachadas. Enquanto a ABNT NBR 6123:2023 fornece resultados adequados para edificações isoladas, as simulações em CFD mostraram que diferentes configurações urbanas podem provocar aumentos ou reduções significativas das ações do vento. Dessa forma, a utilização da Dinâmica dos Fluidos Computacional mostrou-se uma ferramenta eficiente para complementar as análises previstas pela norma, especialmente em situações de interferência aerodinâmica entre edificações.

7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho teve como objetivo analisar a influência da ocupação urbana nas ações do vento em edifícios altos por meio da comparação entre os procedimentos estabelecidos pela ABNT NBR 6123:2023 e simulações numéricas em Dinâmica dos Fluidos Computacional (CFD). Os resultados demonstraram que, para uma edificação isolada, a diferença entre o valor obtido pela norma e a simulação foi de aproximadamente 5,4%, indicando boa concordância entre os métodos e validando a utilização do modelo computacional desenvolvido.

A análise dos cenários com duas e três edificações evidenciou que a presença de construções vizinhas altera significativamente o comportamento do escoamento do vento. Foram observados tanto aumentos expressivos das pressões, decorrentes de efeitos de canalização e concentração do fluxo, quanto reduções significativas provocadas pelo

sombreamento aerodinâmico. Esses resultados confirmam que a configuração do entorno urbano exerce influência direta sobre as ações do vento incidentes em edifícios altos.

Embora a ABNT NBR 6123:2023 forneça procedimentos seguros e adequados para o dimensionamento convencional de edificações isoladas, verificou-se que ela não representa de forma detalhada os efeitos da interferência aerodinâmica entre edificações. Nesse contexto, as simulações em CFD mostraram-se uma ferramenta complementar eficiente, permitindo visualizar o comportamento do escoamento e identificar regiões de aceleração, recirculação e redistribuição das pressões.

Como limitações desta pesquisa, destaca-se a adoção de geometrias simplificadas e a análise de apenas uma direção predominante do vento, não sendo considerados diferentes formatos arquitetônicos, orientações ou condições atmosféricas variáveis. Tais simplificações foram adotadas para possibilitar uma análise comparativa controlada entre os diferentes cenários estudados.

Como sugestão para trabalhos futuros, recomenda-se investigar diferentes espaçamentos entre edificações, variadas direções de incidência do vento, geometrias arquitetônicas mais complexas e realizar comparações com ensaios experimentais em túnel de vento, contribuindo para o aprofundamento dos estudos sobre interferência aerodinâmica em ambientes urbanos.

REFERÊNCIAS

AMERICAN SOCIETY OF CIVIL ENGINEERS. ASCE/SEI 7-22: Minimum Design Loads and Associated Criteria for Buildings and Other Structures. Reston: ASCE, 2022.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 6123:2023 – Ações do vento em edificações. Rio de Janeiro: ABNT, 2023.

BLESSMANN, Joaquim. O vento na engenharia estrutural. Porto Alegre: Editora da UFRGS, 1995.

BLOCKEN, Bert. Computational Fluid Dynamics for urban physics: Importance, scales, possibilities, limitations and ten tips and tricks towards accurate and reliable simulations. *Building and Environment*, v. 91, p. 219–245, 2015.

BLOCKEN, B. Fifty years of Computational Wind Engineering: Past, present and future. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, v. 214, 2021.

CHU, R. et al. CFD in Urban Wind Resource Assessments: A Review. *Energies*, v. 18, n. 10, 2025.

FRANKE, J. et al. Best Practice Guideline for the CFD Simulation of Flows in the Urban Environment. Hamburgo: COST Action 732, 2021.

GIL, Antonio Carlos. Métodos e técnicas de pesquisa social. 7. ed. Barueri: Atlas, 2022.

HOLMES, John D. Wind Loading of Structures. 3. ed. Boca Raton: CRC Press, 2015.

LOREDO-SOUZA, A. M. et al. Mapa de isopletras para a NBR-6123 com base em climatologia de ventos extremos no Brasil. *Revista IBRACON de Estruturas e Materiais*, v. 16, n. 4, 2023.

POTSIS, T. Computational modeling of wind flow and wind-induced loads: review of current code provisions, wind tunnel data and CFD results. Concordia University, 2024.

SOLARI, G. et al. Emerging challenges and new frameworks for wind loading of structures in the modern era. *Engineering Structures*, 2020.

TAMURA, Y. Towards practical use of computational wind engineering in structural design. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 2021.

TOMINAGA, Y.; BLOCKEN, B. Computational Fluid Dynamics simulation of urban physics: Present status and future perspectives. *Building and Environment*, v. 219, 2022.

	INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DA PARAÍBA
	Campus João Pessoa - Código INEP: 25096850
	Av. Primeiro de Maio, 720, Jaguaribe, CEP 58015-435, João Pessoa (PB)
	CNPJ: 10.783.898/0002-56 - Telefone: (83) 3612.1200

Documento Digitalizado Ostensivo (Público)

TCC com Ficha Catalográfica e Folha de Aprovação

Assunto:	TCC com Ficha Catalográfica e Folha de Aprovação
Assinado por:	Rhuan Gois
Tipo do Documento:	Anexo
Situação:	Finalizado
Nível de Acesso:	Ostensivo (Público)
Tipo do Conferência:	Cópia Simples

Documento assinado eletronicamente por:

- Rhuan Matheus Carvalho de Gois, DISCENTE (202112220025) DE BACHARELADO EM ENGENHARIA CIVIL - JOÃO PESSOA, em 07/08/2026 10:50:34.

Este documento foi armazenado no SUAP em 07/08/2026. Para comprovar sua integridade, faça a leitura do QRCode ao lado ou acesse <https://suap.ifpb.edu.br/verificar-documento-externo/> e forneça os dados abaixo:

Código Verificador: 1940699
Código de Autenticação: 8f20ceeddf

