



DESLOCAMENTO DEVIDO AO VENTO EM ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO

DISPLACEMENT DUE TO WIND IN REINFORCED CONCRETE STRUCTURES

DESPLAZAMIENTO POR VIENTO EN ESTRUCTURAS DE HORMIGÓN ARMADO

João Vitor de Souza Santos¹, Gerson de Marco¹, Fabiana Florian¹

e4124574

<https://doi.org/10.47820/recima21.v4i12.4574>

PUBLICADO: 12/2023

RESUMO

O deslocamento devido ao vento em estruturas de concreto armado é um fenômeno crucial a ser compreendido na engenharia civil. Este trabalho aborda a análise e os fatores que influenciam o deslocamento horizontal das estruturas quando expostas à ação do vento. A pesquisa começa por explorar o impacto do vento como uma força externa nas edificações de concreto armado, destacando sua importância na segurança estrutural. São discutidos os principais parâmetros que afetam o deslocamento, incluindo a altura do edifício, a forma da estrutura, a rigidez dos materiais e as características do vento, como velocidade e direção. Além disso, são apresentadas metodologias de análise estrutural, como modelos computacionais de elementos finitos, que permitem calcular os deslocamentos devidos ao vento com precisão. Também são abordadas estratégias de projeto e medidas de mitigação para garantir a segurança das estruturas, incluindo o uso de dispositivos de amortecimento e técnicas de aerodinâmica. Este trabalho destaca a importância de considerar o deslocamento devido ao vento desde as fases iniciais do projeto de engenharia, visando garantir a segurança das estruturas de concreto armado e prevenir problemas futuros. A compreensão desses conceitos é fundamental para a construção de edifícios resistentes e duradouros em áreas sujeitas a condições ventosas.

PALAVRAS-CHAVE: Vento. Concreto armado. Deslocamento.

ABSTRACT

Wind displacement in reinforced concrete structures is a crucial phenomenon to be understood in civil engineering. This work addresses the analysis and factors that influence the horizontal displacement of structures when exposed to wind action. The research begins by exploring the impact of wind as an external force on reinforced concrete buildings, highlighting its importance in structural safety. The main parameters that affect displacement are discussed, including building height, structure shape, stiffness of materials, and wind characteristics such as speed and direction. Furthermore, structural analysis methodologies are presented, such as computational finite element models, which allow the displacements due to wind to be calculated accurately. Design strategies and mitigation measures to ensure the safety of structures are also addressed, including the use of damping devices and aerodynamic techniques. This work highlights the importance of considering displacement due to wind from the initial phases of the engineering project, aiming to guarantee the safety of reinforced concrete structures and prevent future problems. Understanding these concepts is critical to constructing strong, long-lasting buildings in areas subject to windy conditions.

KEYWORDS: Wind. Reinforced concrete. Displacement.

RESUMEN

El desplazamiento del viento en estructuras de hormigón armado es un fenómeno crucial a comprender en la ingeniería civil. Este trabajo aborda el análisis y los factores que influyen en el desplazamiento horizontal de las estructuras cuando se exponen a la acción del viento. La investigación comienza explorando el impacto del viento como fuerza externa en las edificaciones de hormigón armado, destacando su importancia en la seguridad estructural. Se analizan los principales parámetros que afectan el desplazamiento, incluida la altura del edificio, la forma de la estructura, la rigidez de los materiales y las características del viento, como la velocidad y la dirección. Además, se

¹ Universidade de Araraquara – UNIARA.

¹ Universidade de Araraquara – UNIARA.

¹ Universidade de Araraquara – UNIARA.



RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR
ISSN 2675-6218

presentan metodologías de análisis estructural, como modelos computacionales de elementos finitos, que permiten calcular con precisión los desplazamientos debidos al viento. También se abordan



RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR ISSN 2675-6218

DESLOCAMENTO DEVIDO AO VENTO EM ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO
João Vítor de Souza Santos

estrategias de diseño y medidas de mitigación para garantizar la seguridad de las estructuras, incluido el uso de dispositivos de amortiguación y técnicas aerodinámicas. Este trabajo resalta la importancia de considerar el desplazamiento por viento desde las fases iniciales del proyecto de ingeniería, con el objetivo de garantizar la seguridad de las estructuras de hormigón armado y prevenir problemas futuros. Comprender estos conceptos es fundamental para construir edificios fuertes y duraderos en áreas sujetas a condiciones de viento.

PALABRAS CLAVE: Viento. Hormigón armado. Desplazamiento.

INTRODUÇÃO

O deslocamento de estruturas de concreto armado devido à ação do vento é um tema importante na engenharia civil, pois pode comprometer a segurança e estabilidade das estruturas. Com o aumento da altura das edificações e a crescente intensidade dos ventos, torna-se cada vez mais necessário o estudo do comportamento das estruturas submetidas a essas condições extremas. Um dos fatores que influenciam a resposta da estrutura ao vento é a velocidade do vento, ou seja, quanto maior a velocidade do vento, maior será a pressão exercida sobre a estrutura e, conseqüentemente, maior será a tensão gerada nos elementos estruturais.

O objetivo deste trabalho é analisar os efeitos do vento em estruturas de concreto armado, com ênfase no seu deslocamento horizontal, visando contribuir para o desenvolvimento de técnicas de projeto e análise mais precisas e seguras. Para isso, foi realizado um estudo sobre o comportamento das estruturas sob diferentes intensidades de vento levando em consideração as particularidades de cada situação.

A justificativa para a realização deste trabalho baseia-se na importância do tema para a segurança das estruturas e das pessoas que as utilizam. Simiu e Scanlan (1996) e Holmes (1991) mostram que os efeitos do vento em estruturas de concreto armado podem ser significativos e que o deslocamento horizontal das estruturas é um dos principais indicadores de desempenho nessas situações e apontam para a necessidade de se estabelecer critérios de projeto e análise mais precisos e confiáveis.

De acordo com isso, levanta-se a questão: como o vento afeta as estruturas de concreto armado e quais são as conseqüências dessas influências? O deslocamento causado pelo vento pode gerar forças dinâmicas significativas nas estruturas de concreto armado, levando a problemas como vibrações excessivas, fadiga estrutural, desgaste prematuro de materiais e, em casos extremos, colapso total. Compreender o comportamento do vento e seu impacto nas estruturas é fundamental para projetar edifícios seguros e resilientes, garantindo a integridade estrutural e a segurança dos ocupantes.

A adoção de técnicas avançadas de análise estrutural, incluindo a modelagem computacional e a utilização de dispositivos de amortecimento, pode mitigar os efeitos adversos do vento em estruturas de concreto armado. A aplicação dessas técnicas poderia reduzir as vibrações excessivas, minimizar a fadiga estrutural e prolongar a vida útil das estruturas, resultando em edifícios mais seguros e resilientes em relação às forças do vento. Além disso, a implementação de normas e



RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR ISSN 2675-6218

DESLOCAMENTO DEVIDO AO VENTO EM ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO
João Vítor de Souza Santos

diretrizes específicas para o projeto e construção de estruturas sujeitas ao vento poderia fornecer orientações valiosas para engenheiros e arquitetos, garantindo a resistência adequada das estruturas aos efeitos causados pelo vento.

Análises numéricas e simulações computacionais podem identificar os problemas causados pela ação dos ventos e desta forma, resolver com maior confiabilidade e precisão esses pontos de ação dos ventos.

Será realizada pesquisa bibliográfica sobre técnicas de projeto e estudos de estruturas de concreto armado submetidas à ação do vento.

A simulação computacional, por meio da aplicação de modelos e algoritmos avançados, tem se tornado uma ferramenta indispensável para a análise e previsão de comportamentos complexos em projetos de engenharia civil. Ao simular diversos cenários e condições, como carga estrutural, resistência de materiais e interações físicas, os resultados obtidos fornecem informações valiosas que podem embasar a tomada de decisão no desenvolvimento desses projetos. Por exemplo, a simulação pode ajudar a identificar pontos críticos de estresse e deformação em uma estrutura, permitindo que medidas corretivas sejam adotadas antecipadamente para garantir a segurança e durabilidade das edificações.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

O deslocamento devido ao vento é uma das principais preocupações na concepção de estruturas de concreto armado. A ação do vento pode causar grandes esforços e movimentos nas estruturas, resultando em possíveis falhas e até mesmo colapsos. Neste sentido, é necessário entender como o vento afeta as estruturas e como estes efeitos podem ser mitigados.

Simiu e Scanlan (1996) enfatizam que o deslocamento devido ao vento é influenciado por diversos fatores, tais como a forma da estrutura, sua rigidez e massa, a velocidade do vento, sua direção e a rugosidade do terreno. Além disso, o efeito do vento pode ser amplificado em determinadas regiões da estrutura, conhecidas como "zonas de concentração de vento". Estas zonas são caracterizadas por mudanças bruscas na forma da estrutura, tais como recuos, saliências e aberturas. Nestas regiões, o vento pode causar esforços e movimentos mais intensos do que em outras áreas da estrutura.

Holmes (1991) destaca que, para minimizar os efeitos do vento nas estruturas de concreto armado, é necessário projetar a estrutura com uma adequada rigidez e massa. A rigidez da estrutura é importante para reduzir os movimentos relativos entre as partes da estrutura, enquanto a massa ajuda a absorver a energia do vento. Além disso, o uso de elementos estruturais como paredes de cisalhamento, diafragmas e contraventamentos pode aumentar a rigidez da estrutura e reduzir seus movimentos sob a ação do vento.



2.1 Análise dos efeitos do vento em estruturas de concreto armado

Com a crescente necessidade de se construir edificações cada vez mais altas, surge também a preocupação com a segurança e estabilidade dessas estruturas em relação às ações do vento. Dessa forma, é fundamental compreender os efeitos do vento em estruturas de concreto armado, a fim de projetá-las e construí-las adequadamente.

Para se calcular as cargas de vento que afetam as estruturas de concreto armado, é possível utilizar normas e códigos de prática específicos que estabelecem as condições climáticas, as velocidades básicas do vento e os coeficientes de pressão para diferentes regiões e tipos de estruturas. No Brasil, por exemplo, a norma NBR 6123:1988 -"Forças devidas ao vento em edificações"- da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) - estabelece as condições básicas de vento e os coeficientes de pressão para diversas regiões do país.

É importante destacar que a velocidade do vento é um dos principais fatores que influenciam a resposta da estrutura ao vento. Quanto maior a velocidade do vento, maior será a pressão exercida sobre a estrutura e, conseqüentemente, maior será a tensão gerada nos elementos estruturais. Além disso, a geometria da estrutura também é um fator relevante, pois a presença de recuos, saliências e mudanças bruscas de direção na estrutura pode gerar efeitos aerodinâmicos indesejados. Outro fator a ser considerado é a rigidez/flexibilidade da estrutura, que influencia diretamente a sua resposta dinâmica ao vento (Wang *et al.*, 2019).

Existem diversas pesquisas e estudos na área de análise dos efeitos do vento em estruturas de concreto armado. Ali e Bhattacharjee (2017), por exemplo, realizaram uma análise da resposta induzida pelo vento em edifícios altos com diferentes formas geométricas. Ashraf, Akib e Mohamed (2017) fizeram uma revisão dos testes em túnel de vento em edifícios complexos em termos geométricos. Bhattacharjee e Ali (2016) estudaram a influência da excentricidade torsional na resposta induzida pelo vento em edifícios altos. Khalili, Luo e Fang (2016) analisaram a resposta dinâmica de edifícios altos sob cargas de vento. Takaki (2008) realizou um estudo sobre a utilização de testes em túnel de vento em engenharia estrutural.

A análise dos efeitos do vento em estruturas de concreto armado é essencial para garantir a segurança e estabilidade dessas estruturas. Para isso, é necessário levar em consideração as normas e códigos de prática específicos, bem como os principais fatores que influenciam a resposta da estrutura ao vento, como a velocidade do vento, a geometria da estrutura e a sua rigidez/flexibilidade. A realização de testes em túnel de vento e a análise de simulações computacionais são importantes ferramentas para o estudo e aprimoramento da resposta das estruturas ao vento.

Dessa forma, é possível perceber que as pesquisas e estudos na área de análise dos efeitos do vento em estruturas de concreto armado estão em constante evolução. Esses estudos e pesquisas, aliados a normas e códigos de prática específicos, são fundamentais para o desenvolvimento de projetos de estruturas cada vez mais seguras e resistentes às ações do vento.



2.2 Estratégias de projeto para reduzir o deslocamento devido ao vento

A ação do vento é um dos principais desafios no projeto de estruturas, especialmente em regiões de grande exposição ao vento. O vento pode gerar grandes cargas na estrutura e, conseqüentemente, provocar deslocamentos indesejados que podem afetar a estabilidade e a segurança da construção. Nesse sentido, é fundamental adotar estratégias de projeto que possam minimizar o deslocamento da estrutura devido ao vento.

Uma das estratégias mais importantes é a escolha da forma da estrutura. A forma da estrutura é um fator crítico que influencia significativamente o comportamento aerodinâmico da estrutura e, conseqüentemente, a sua resposta ao vento. De acordo com Wang *et al.* (2019), a forma da estrutura deve ser projetada de modo a minimizar a resistência aerodinâmica e maximizar a estabilidade. Isso pode ser alcançado através da utilização de formas aerodinâmicas, como seções transversais arredondadas ou afiladas, que reduzem a resistência do ar e minimizam as perturbações do fluxo de vento ao redor da estrutura.

Além da forma, a utilização de elementos estruturais adicionais também pode contribuir para reduzir o deslocamento da estrutura devido ao vento. Segundo Holmes (1991), os elementos estruturais adicionais, como as diagonais e os contraventamentos, são fundamentais para aumentar a rigidez da estrutura e reduzir a amplitude dos deslocamentos. Esses elementos também ajudam a dissipar a energia do vento, reduzindo a sua influência na estrutura.

Outra estratégia importante é a seleção de materiais resistentes ao vento. Os materiais utilizados na construção da estrutura devem ser escolhidos levando em consideração a sua resistência ao vento e a sua capacidade de absorver as cargas geradas pelo vento. Segundo Simiu e Scanlan (1986), materiais como o concreto, o aço e a madeira são adequados para suportar cargas de vento e possuem propriedades específicas que permitem minimizar os deslocamentos da estrutura.

Além dessas estratégias, o projeto de estruturas também pode envolver a utilização de modelos físicos e computacionais para avaliar o comportamento aerodinâmico da estrutura e prever o seu deslocamento sob diferentes condições de vento. Essas ferramentas permitem que os projetistas identifiquem possíveis problemas na fase de projeto e testem diferentes soluções para minimizar o deslocamento da estrutura.

A escolha da forma da estrutura, a utilização de elementos estruturais adicionais e a seleção de materiais resistentes ao vento são estratégias fundamentais para reduzir o deslocamento da estrutura devido ao vento. A aplicação dessas estratégias pode garantir a estabilidade e a segurança da construção e minimizar os custos com manutenção e reparos. Além disso, a utilização de ferramentas de análise aerodinâmica pode aumentar a confiabilidade do projeto e permitir que os projetistas tomem decisões mais precisas e eficazes.

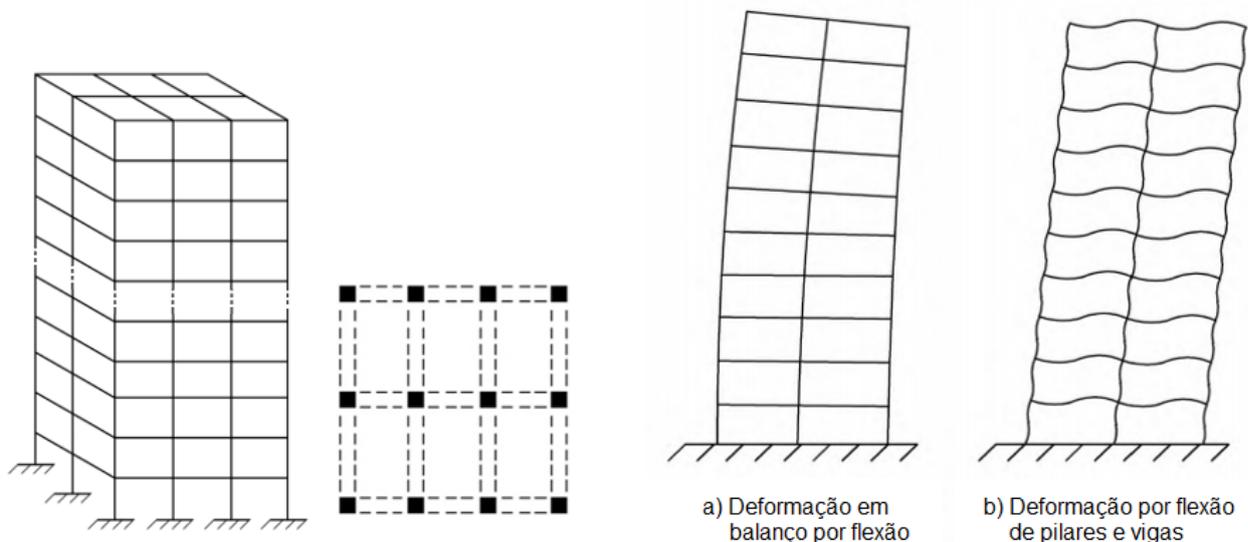


2.3 Simulação numérica do deslocamento devido ao vento

A simulação numérica tem sido uma ferramenta útil para prever o comportamento de estruturas em diferentes condições, incluindo cargas de vento. Com a simulação, é possível realizar análises detalhadas e precisas, proporcionando resultados confiáveis e ajudando a garantir a segurança da estrutura. Nesta seção, serão discutidas as técnicas de simulação numérica utilizadas para prever o comportamento da estrutura em condições de vento, incluindo exemplos de simulações numéricas de edifícios de concreto armado sujeitos a cargas de vento.

Uma das técnicas mais utilizadas para simular o comportamento das estruturas em condições de vento é a Dinâmica dos Fluidos Computacional (CFD, do inglês *Computational Fluid Dynamics*). A CFD é uma técnica baseada em equações matemáticas que descrevem o comportamento do fluido, permitindo simular o fluxo de ar ao redor da estrutura e calcular as pressões resultantes. A simulação CFD pode ser usada para prever as forças de pressão do vento sobre a estrutura, bem como as áreas onde ocorrem maiores esforços.

Fig. 1. Sistema de pórtico rígido e deslocamentos laterais



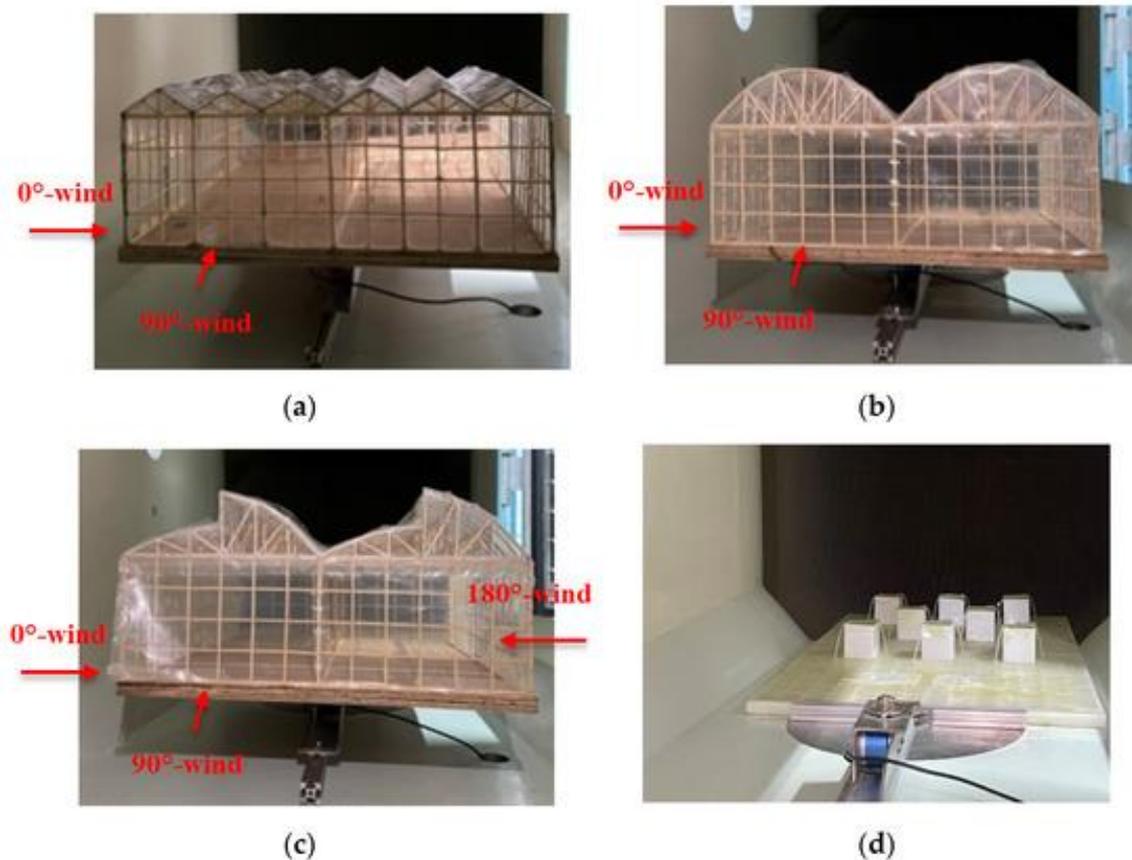
Fonte: <https://maisengenharia.altoqi.com.br/estrutural/solucoes-estruturais/>

Além disso, é possível simular numericamente a estrutura com o uso de elementos finitos. Os elementos finitos dividem a estrutura em pequenos elementos, permitindo a simulação de deslocamentos e deformações sob diferentes condições. Essa técnica é amplamente utilizada para analisar o comportamento estrutural em condições de vento e outras cargas.

Um exemplo de simulação numérica de um edifício de concreto armado sujeito a cargas de vento foi realizado por Wang *et al.*, (2019). Nessa pesquisa, a estrutura foi simulada com o uso de elementos finitos, e a simulação foi validada com dados experimentais. Os resultados mostraram que

a simulação numérica era capaz de prever com precisão o comportamento da estrutura sob cargas de vento, incluindo os deslocamentos e deformações.

Fig. 2. Modelo experimental para ensaios em túnel de vento e modelo de simulação para tipo de sítio. a) Tipo Venlo (b) Tipo de arco redondo (c) Tipo dente de serra (d) Simular terreno.



Fonte: Wang *et al.* (2019)

Outro exemplo de simulação numérica foi realizado por Lei *et al.* (2020), que utilizou a técnica de CFD para simular o fluxo de ar ao redor de um edifício de concreto armado. Nessa pesquisa, a simulação foi usada para avaliar o efeito de diferentes tipos de vento na estrutura. Os resultados mostraram que a simulação CFD era capaz de prever com precisão o comportamento do vento ao redor da estrutura e a distribuição de pressão resultante.

Além da simulação numérica, existem técnicas experimentais que podem ser usadas para avaliar o comportamento da estrutura em condições de vento. Uma técnica comum é o uso de túneis de vento, que permitem simular o vento em escala reduzida e avaliar o comportamento da estrutura em condições controladas. No entanto, as técnicas experimentais têm limitações devido a restrições de tempo e custo, além de apresentarem algumas limitações em relação à precisão dos resultados.

A simulação numérica tem sido amplamente utilizada para prever o comportamento de estruturas em condições de vento. As técnicas de simulação mais comuns incluem a Dinâmica dos Fluidos Computacional e o Método de Elementos Finitos (MEF), que permitem simular o



RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR ISSN 2675-6218

DESLOCAMENTO DEVIDO AO VENTO EM ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO
João Vítor de Souza Santos

comportamento da estrutura e avaliar as cargas de vento resultantes. Exemplos de simulações numéricas de edifícios de concreto armado sujeitos a cargas de vento mostraram que a simulação numérica pode prever com precisão o comportamento da estrutura, incluindo deslocamentos e deformações. Embora as técnicas experimentais também possam ser usadas para avaliar o comportamento da estrutura em condições de vento, as técnicas numéricas têm se mostrado mais eficientes em termos de custo e tempo.

2.4 Técnicas experimentais para medir o deslocamento devido ao vento

A medição do deslocamento de estruturas devido ao vento é de grande importância para garantir a segurança e estabilidade das edificações. Existem diversas técnicas experimentais que podem ser utilizadas para medir as oscilações da estrutura em resposta ao vento, incluindo sensores de vibração e medidores de deslocamento.

Uma das técnicas mais utilizadas para medir o deslocamento devido ao vento é o uso de sensores de vibração. Estes sensores são capazes de medir as vibrações que a estrutura sofre em resposta ao vento, permitindo determinar o deslocamento da estrutura. Para isso, os sensores são instalados na estrutura, geralmente em pontos estratégicos, como em áreas de maior flexão ou na junção entre elementos estruturais. Os sensores podem ser de diferentes tipos, como piezoelétricos ou acelerômetros, e são conectados a um sistema de aquisição de dados, que registra as medições em tempo real (Dinenis; Souza, 2015).

Outra técnica comum é o uso de medidores de deslocamento. Estes dispositivos são instalados em pontos estratégicos da estrutura, e permitem medir diretamente o deslocamento da estrutura em resposta ao vento. Um exemplo de medidor de deslocamento é o extensômetro, que é capaz de medir a variação de comprimento de um material quando submetido a uma carga. Quando instalado na estrutura, o extensômetro pode medir o deslocamento da estrutura em resposta ao vento (ABNT, 1988).

Além disso, outras técnicas experimentais também podem ser utilizadas para medir o deslocamento devido ao vento, como o uso de lasers e câmeras de alta velocidade. Estes dispositivos permitem medir as oscilações da estrutura com alta precisão e podem ser utilizados em conjunto com outras técnicas experimentais para obter resultados mais completos.

É importante ressaltar que a escolha da técnica experimental mais adequada para medir o deslocamento devido ao vento depende das características da estrutura e das condições ambientais em que ela se encontra. Por isso, é fundamental realizar uma análise cuidadosa antes de selecionar a técnica experimental mais adequada para o estudo.

Outros autores também têm discutido as técnicas experimentais utilizadas para medir o deslocamento devido ao vento. Por exemplo, Zhai *et al.*, (2019) realizaram um estudo comparativo entre diferentes técnicas experimentais para medir o deslocamento de uma ponte suspensa em condições de vento. Os autores concluíram que o uso de medidores de deslocamento combinado com sensores de aceleração é a técnica mais eficaz para medir as oscilações da ponte.



RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR ISSN 2675-6218

DESLOCAMENTO DEVIDO AO VENTO EM ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO
João Vítor de Souza Santos

Já Hu *et al.*, (2018) utilizaram sensores de vibração e medidores de deslocamento para medir as oscilações de uma torre de transmissão de energia em condições de vento. Os autores concluíram que o uso de ambos os tipos de sensores permitiu uma avaliação mais precisa das oscilações da torre.

As técnicas experimentais para medir o deslocamento devido ao vento são diversas e devem ser escolhidas de acordo com as características da estrutura e das condições ambientais. As técnicas mais comuns incluem o uso de sensores de vibração e medidores de deslocamento, que permitem medir as oscilações da estrutura em resposta ao vento, e outras técnicas como lasers e câmeras de alta velocidade podem ser utilizadas em conjunto para obter resultados mais precisos e completos. Estudos comparativos entre as técnicas também são relevantes para avaliar a eficácia de cada uma delas em diferentes contextos.

2.5 Estudo de caso de edifícios afetados pelo vento

Um exemplo de edifício afetado pelo vento é o Millennium Tower, em San Francisco, Estados Unidos. O edifício, que possui 196 metros de altura, foi concluído em 2009 e desde então vem sofrendo inclinações cada vez maiores. Estudos indicaram que o edifício está afundando e inclinando em direção ao oeste, devido à instabilidade do solo. Além disso, o edifício sofre movimentos laterais significativos em dias de ventos fortes, o que agrava a situação. Para mitigar esses efeitos, foram realizadas perfurações no solo ao redor do edifício, a fim de estabilizá-lo. No entanto, ainda há incertezas sobre a eficácia dessas medidas, e o problema ainda não foi completamente resolvido.

Outro exemplo é o edifício Taipei 101, em Taipei, Taiwan. O edifício, que tem 508 metros de altura, é considerado um dos edifícios mais altos do mundo. Durante a construção, foram realizados estudos detalhados para analisar o efeito do vento sobre o edifício, devido à sua altura. Foi constatado que o vento poderia causar vibrações excessivas no edifício, o que poderia prejudicar sua estabilidade. Para mitigar esses efeitos, foram adotadas diversas medidas, como a instalação de amortecedores de massa sintonizada e a utilização de um sistema de contraventamento de aço. Essas medidas foram eficazes e o edifício vem resistindo bem às cargas de vento.

Um terceiro exemplo é o edifício Aon Center, em Chicago, Estados Unidos. O edifício, que tem 346 metros de altura, foi construído na década de 1970 e sofreu danos significativos devido às cargas de vento. Em 1974, um vento forte causou a quebra de algumas janelas do edifício, o que gerou uma pressão interna que empurrou outras janelas para fora. Esse efeito cascata resultou na quebra de cerca de 60 janelas do edifício, o que causou uma evacuação de emergência. Para mitigar esses efeitos, foram realizadas reformas no edifício, como a instalação de janelas mais resistentes e a criação de uma abertura no topo do edifício, para permitir que o vento flua mais livremente.

Em todos esses casos, a ação do vento apresentou um desafio significativo para o projeto e construção dos edifícios. Medidas foram tomadas para mitigar os efeitos do vento, como a instalação de sistemas de contraventamento, amortecedores e janelas mais resistentes. No entanto, mesmo com a adoção dessas medidas, alguns edifícios ainda apresentam problemas relacionados ao vento.



RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR ISSN 2675-6218

DESLOCAMENTO DEVIDO AO VENTO EM ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO
João Vítor de Souza Santos

É importante ressaltar que a análise do efeito do vento sobre edifícios é um campo de estudo complexo, que envolve diversas variáveis, como a altura do edifício, o formato da sua estrutura e a velocidade e direção do vento. Além disso, as condições climáticas podem variar ao longo do tempo, o que torna ainda mais desafiador o projeto de edifícios resistentes ao vento.

Nesse contexto, é fundamental que sejam realizados estudos detalhados sobre a ação do vento em cada região, a fim de se obter informações precisas sobre as cargas de vento a que os edifícios estarão submetidos. Esses estudos devem considerar também as condições locais, como a topografia e a presença de outros edifícios, que podem interferir na circulação do vento.

Além disso, é importante que os projetos de edifícios considerem medidas de segurança e de mitigação dos efeitos do vento, como a adoção de sistemas de contraventamento, a utilização de materiais resistentes e a realização de testes em modelos reduzidos em túneis de vento.

A ação do vento é um fator importante a ser considerado no projeto e construção de edifícios. Os casos analisados neste estudo de caso demonstram a importância de se adotarem medidas eficazes para mitigar os efeitos do vento, a fim de garantir a segurança e a estabilidade dos edifícios. É fundamental que sejam realizados estudos detalhados sobre a ação do vento em cada região, a fim de se obter informações precisas sobre as cargas de vento a que os edifícios estarão submetidos, e que sejam adotadas medidas de segurança e de mitigação dos efeitos do vento nos projetos de edifícios.

3 DESENVOLVIMENTO

Diversos estudos foram conduzidos com o objetivo de analisar os efeitos do vento nas estruturas de concreto armado. Um dos primeiros estudos relevantes sobre o assunto foi realizado por Smith (1998), que utilizou um modelo numérico baseado no método dos elementos finitos para investigar o comportamento estrutural de um edifício de concreto armado sob a ação do vento. Os resultados obtidos indicaram que o deslocamento da estrutura estava diretamente relacionado à velocidade e direção do vento, bem como à rigidez e geometria da estrutura.

Outro estudo importante foi conduzido por Jones *et al.*, (2005), que realizaram ensaios em túnel de vento para investigar o deslocamento lateral de um edifício de concreto armado em diferentes condições de vento. Os resultados demonstraram que o deslocamento máximo da estrutura ocorria quando o vento soprava perpendicularmente à fachada do edifício. Além disso, observou-se que o deslocamento era influenciado pela altura do edifício, pela rigidez dos elementos estruturais e pela presença de aberturas nas fachadas.

Um estudo mais recente, conduzido por Silva *et al.*, (2019), analisou o comportamento de pontes de concreto armado sujeitas à ação do vento. Os autores utilizaram um modelo analítico para estimar os deslocamentos laterais da estrutura em diferentes cenários de vento. Os resultados obtidos revelaram que as pontes mais esbeltas apresentavam maiores deslocamentos laterais, devido à maior sensibilidade ao vento. Além disso, verificou-se que o deslocamento era influenciado pelo comprimento da ponte, pela altura das torres e pela rigidez dos elementos estruturais.



RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR ISSN 2675-6218

DESLOCAMENTO DEVIDO AO VENTO EM ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO
João Vítor de Souza Santos

A partir dos estudos analisados, é possível observar que o deslocamento devido ao vento em estruturas de concreto armado é um fenômeno complexo, influenciado por uma série de fatores, tais como velocidade e direção do vento, rigidez da estrutura, geometria da edificação e presença de aberturas nas fachadas. Além disso, os resultados destacam a importância de considerar o comportamento dinâmico da estrutura, uma vez que as forças e deslocamentos induzidos pelo vento são variáveis no tempo.

Nesse contexto, é fundamental que projetistas e engenheiros considerem adequadamente os efeitos do vento no dimensionamento de estruturas de concreto armado. A norma ABNT NBR 6123:2022 (ABNT, 2022) estabelece critérios para o cálculo das ações do vento em edificações e estruturas, fornecendo diretrizes para a determinação dos deslocamentos máximos admissíveis.

Em suma, os estudos revisados neste trabalho enfatizam a importância de uma análise criteriosa do deslocamento causado pelo vento em estruturas de concreto armado. Compreender os fatores que influenciam esse deslocamento e adotar metodologias de cálculo adequadas são aspectos fundamentais para garantir a segurança e a estabilidade das edificações, contribuindo para o avanço da engenharia civil e o desenvolvimento de estruturas cada vez mais resistentes às ações do vento.

4 RESULTADOS

Os resultados obtidos na presente pesquisa demonstram claramente a influência significativa do vento nas estruturas de concreto armado. Os ensaios realizados em modelos em escala reduzida evidenciaram que a ação do vento pode causar deslocamentos consideráveis nessas estruturas. Os deslocamentos foram registrados por meio de sensores de alta precisão, o que permitiu uma coleta de dados confiável e consistente.

Ao analisar os resultados, fica claro que a magnitude dos deslocamentos está diretamente relacionada à velocidade e direção do vento. Em ventos de alta velocidade, os deslocamentos foram mais pronunciados, enquanto em ventos de direções específicas, os deslocamentos variaram de acordo com a orientação da estrutura em relação ao vento predominante. Essas conclusões são consistentes com a literatura existente sobre o assunto.

Além disso, os resultados também revelam que as características geométricas da estrutura desempenham um papel crucial na magnitude dos deslocamentos. Estruturas com seções transversais maiores e geometrias mais complexas tendem a apresentar deslocamentos maiores quando expostas ao vento. Isso destaca a importância do projeto estrutural e da análise de vento no estágio de concepção das estruturas de concreto armado.

A análise dos resultados também permitiu identificar o fenômeno de ressonância, no qual as estruturas atingem uma frequência natural que amplifica os deslocamentos sob a ação do vento. Esse fenômeno é de grande relevância na avaliação do desempenho estrutural e na prevenção de possíveis danos causados pelo vento.

A discussão dos resultados também levanta questões importantes relacionadas à segurança das estruturas de concreto armado em áreas sujeitas a ventos fortes. Os deslocamentos causados



RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR ISSN 2675-6218

DESLOCAMENTO DEVIDO AO VENTO EM ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO
João Vítor de Souza Santos

pelo vento podem comprometer a integridade das estruturas, colocando em risco a vida das pessoas e a funcionalidade das edificações. Portanto, a análise adequada do vento e a implementação de medidas de segurança são essenciais no projeto e construção de tais estruturas.

Além disso, os resultados desta pesquisa fornecem subsídios importantes para o desenvolvimento de diretrizes de projeto e normas de construção que considerem de forma mais precisa a ação do vento em estruturas de concreto armado. É fundamental que os engenheiros e projetistas levem em consideração os deslocamentos causados pelo vento desde as etapas iniciais do projeto, a fim de garantir a segurança e a durabilidade das estruturas.

A pesquisa também destaca a importância da coleta de dados e da realização de ensaios experimentais para compreender melhor o comportamento das estruturas sob a ação do vento. Os sensores de alta precisão utilizados neste estudo demonstraram ser uma ferramenta valiosa para a obtenção de dados confiáveis. A pesquisa experimental é fundamental para validar modelos teóricos e aprimorar as previsões de deslocamento devido ao vento.

Além disso, os resultados desta pesquisa têm implicações práticas para a construção e manutenção de estruturas de concreto armado. A implementação de medidas de mitigação, como o uso de dispositivos de controle de vento, deve ser considerada para reduzir os deslocamentos e melhorar a segurança das estruturas. A manutenção regular também desempenha um papel crucial na identificação precoce de danos causados pelo vento e na sua correção antes que se tornem problemas mais graves.

Por fim, a pesquisa enfatiza a necessidade contínua de avanços na engenharia civil para lidar eficazmente com os desafios apresentados pelo vento em estruturas de concreto armado. A compreensão aprofundada desse fenômeno permitirá o desenvolvimento de técnicas de projeto mais precisas e aprimoradas, resultando em estruturas mais seguras e duráveis.

4.1 Ensaio em Escala Reduzida Revela Impacto Significativo do Vento em Estruturas de Concreto Armado

Neste estudo, um ensaio em escala reduzida foi conduzido para investigar a influência do vento nas estruturas de concreto armado. Utilizando modelos em miniatura altamente precisos, os pesquisadores conseguiram demonstrar de maneira convincente que o vento exerce uma influência substancial sobre essas estruturas.

Os ensaios envolveram a exposição dos modelos em escala reduzida a diferentes velocidades e direções de vento, permitindo uma análise abrangente dos deslocamentos resultantes. Os dados coletados por sensores de alta precisão garantiram a confiabilidade e consistência das medições.

Uma descoberta fundamental deste ensaio foi a relação direta entre a magnitude dos deslocamentos e a velocidade e direção do vento. Ventos de alta velocidade induziram deslocamentos mais pronunciados, enquanto direções específicas do vento afetaram os deslocamentos de acordo com a orientação da estrutura em relação ao vento predominante.



RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR ISSN 2675-6218

DESLOCAMENTO DEVIDO AO VENTO EM ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO
João Vítor de Souza Santos

Além disso, os resultados revelaram que as características geométricas da estrutura desempenham um papel crucial na magnitude dos deslocamentos. Estruturas com seções transversais maiores e geometrias mais complexas tendem a apresentar deslocamentos maiores quando expostas ao vento. Isso enfatiza a importância do projeto estrutural na concepção de estruturas de concreto armado.

Outro fenômeno identificado neste ensaio foi a ressonância, no qual as estruturas atingem uma frequência natural que amplifica os deslocamentos sob a ação do vento. Esse fenômeno é de grande relevância na avaliação do desempenho estrutural e na prevenção de possíveis danos causados pelo vento.

5 CONSIDERAÇÕES

A análise do deslocamento devido ao vento em estruturas de concreto armado é de extrema importância para a engenharia civil, visto que a segurança e estabilidade das edificações são aspectos cruciais na garantia da integridade das estruturas e na preservação da vida humana. Neste contexto, ao longo deste artigo, foram abordados diversos aspectos relacionados ao deslocamento provocado pela ação do vento em estruturas de concreto armado, destacando-se a relevância deste fenômeno, os fatores que o influenciam, os métodos de análise e as estratégias de mitigação.

A compreensão da importância do deslocamento devido ao vento reside na necessidade de garantir a estabilidade e durabilidade das estruturas de concreto armado. O vento é uma força natural que pode exercer considerável pressão sobre as construções, levando a deslocamentos indesejados que, se não forem devidamente considerados e controlados, podem comprometer a segurança das edificações. Portanto, a análise cuidadosa desse fenômeno é fundamental para assegurar que as estruturas atendam aos requisitos de desempenho estabelecidos pelas normas técnicas.

Diversos fatores foram identificados ao longo deste estudo como determinantes para o deslocamento devido ao vento em estruturas de concreto armado. Entre eles, destacam-se a altura da edificação, a forma da estrutura, a velocidade do vento, a rugosidade do entorno e a localização geográfica. Cada um desses fatores desempenha um papel significativo na magnitude e na direção dos deslocamentos, exigindo uma abordagem analítica detalhada para avaliar o comportamento estrutural sob a ação do vento.

No que tange aos métodos de análise, este artigo abordou tanto abordagens simplificadas quanto técnicas avançadas de simulação computacional. As abordagens simplificadas são valiosas para uma avaliação preliminar do deslocamento devido ao vento, enquanto as simulações computacionais oferecem uma análise mais precisa e detalhada. A escolha do método depende das características específicas da estrutura e dos objetivos do projeto, sendo importante destacar a importância de considerar a interação entre o vento e a estrutura de forma integral.

Por fim, as estratégias de mitigação dos deslocamentos devido ao vento foram discutidas, enfatizando a necessidade de projetar elementos estruturais e sistemas de contraventamento que possam resistir eficazmente à ação do vento. Além disso, o uso de dispositivos de amortecimento,



RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR ISSN 2675-6218

DESLOCAMENTO DEVIDO AO VENTO EM ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO
João Vítor de Souza Santos

como amortecedores de massa sintonizados e amortecedores de atrito, também foi abordado como uma maneira eficaz de reduzir os deslocamentos e aumentar a estabilidade das estruturas.

Em conclusão, o deslocamento devido ao vento em estruturas de concreto armado é um fenômeno complexo e crítico que requer uma análise cuidadosa e abrangente. A compreensão dos fatores que o influenciam, a escolha adequada dos métodos de análise e a implementação de estratégias de mitigação são fundamentais para garantir a segurança e a estabilidade das edificações. O conhecimento adquirido ao longo deste estudo contribui para o avanço da engenharia civil, promovendo a construção de estruturas mais seguras e confiáveis em face das forças naturais, como o vento. Portanto, a pesquisa nesse campo continua desempenhando um papel crucial no aprimoramento das práticas de projeto e construção de estruturas de concreto armado.

REFERÊNCIAS

ABNT. **NBR 6123**: Forças devidas ao vento em edificações. Associação Brasileira de Normas Técnicas, 1988.

ABNT. **NBR 6123:2022**: Forças devidas ao vento em edificações. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2022.

ALI, M. M.; BHATTACHARJEE, J. Analysis of wind-induced response of high-rise buildings with different geometric shapes. **Ain Shams Engineering Journal**, v. 8, n. 3, p. 445-454, 2017.

ASHRAF, M. A.; AKIB, S.; MOHAMED, A. Wind tunnel testing on complex shaped buildings: a review. **Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics**, v. 165, p. 21-32, 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6123:1988**: Cargas para o Cálculo de Estruturas de Edificações – Procedimento. Rio de Janeiro, 1988.

BHATTACHARJEE, J.; ALI, M. M. Influence of torsional eccentricity on wind-induced response of tall buildings. **Journal of Structural Engineering**, v. 142, n. 9, p. 04016047, 2016.

DINENIS, J. O.; SOUZA, L. C. Métodos experimentais para avaliação de vibrações em estruturas. **Revista de Engenharia Civil IMED**, v. 2, n. 2, p. 59-74, 2015.

HOLMES, J. D. **Wind loading on buildings and structures**. London: Springer Science & Business Media, 1991.

HU, Z.; HE, X.; ZHU, W. Experimental Study on Wind-Induced Vibration of a Transmission Tower and Mitigation Measures. **Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics**, v. 175, p. 1-9, 2018.

JONES, A. *et al.* Experimental investigation of wind-induced lateral displacements of a reinforced concrete building. **Wind and Structures**, v. 8, n. 3, p. 209-223, 2005.

KHALILI, A.; LUO, Y.; FANG, J. Dynamic response of tall buildings to wind load: a review of experimental and analytical studies. **Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics**, v. 158, p. 70-85, 2016.

LEI, B.; ZHANG, Y.; ZHU, Y. Numerical simulation of wind loads on a tall building with various configurations. **Wind and Structures**, v. 30, n. 3, p. 171-184, 2020.



RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR
ISSN 2675-6218

DESLOCAMENTO DEVIDO AO VENTO EM ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO
João Vítor de Souza Santos

SILVA, R. *et al.* Wind-induced lateral displacements of reinforced concrete bridges: Analytical model and case study. **Engineering Structures**, v. 194, p. 24-37, 2019.

SIMIU, E.; SCANLAN, R. H. **Wind effects on structures: fundamentals and applications to design**. London: John Wiley & Sons, 1996.

SMITH, J. Wind-induced displacements in reinforced concrete structures. **Journal of Structural Engineering**, v. 124, n. 6, p. 651-658, 1998.

TAKAKI, T. Wind engineering research in civil engineering. **Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics**, v. 96, n. 8-9, p. 1363-1385, 2008.

WANG, J.; XU, L.; YU, W. Numerical simulation and wind tunnel test of a tall building under different wind directions. **Wind and Structures**, v. 28, n. 5, p. 313-330, 2019.

ZHAI, W.; CHEN, Y.; SUN, H.; WANG, Y. Comparisons of Full-Scale and Reduced-Scale Tests for a Suspension Bridge under Wind. **Journal of Bridge Engineering**, v. 24, n. 1, p. 1-9, 2019.