

REPRESENTAÇÃO EM MODELO COMPUTACIONAL DA AÇÃO DO VENTO NA ESTRUTURA DO SANTUÁRIO DA MISERICÓRDIA, EM MACEIÓ/AL

Gustavo Batista Oliveira¹

Fabício de Araújo Santos Lima²

Francisca Lucidalva Rodrigues³

Engenharia Civil



ISSN IMPRESSO 1980-1777

ISSN ELETRÔNICO 2316-3135

RESUMO

Estruturas metálicas são sistemas construtivos que utilizam peças relativamente esbeltas com elevada capacidade de suporte. Conseqüentemente, são estruturas mais leves se comparado ao concreto armado, por exemplo. Por este motivo este tipo de estrutura se torna mais suscetível às ações externas como a do vento. Por outro lado, novas tecnologias na área da engenharia vêm sendo desenvolvidas com o objetivo de fornecer aos projetistas panoramas mais complexos das estruturas projetadas e do comportamento de elementos dinâmicos sob os quais uma edificação pode estar submetida. Este estudo tem por objetivo a representação gráfica por meio de modelagem computacional do Santuário da Misericórdia com o uso do *software Flow Design da Autodesk*. Para isto foi utilizado um modelo em escala submetido a uma simulação virtual de túnel de vento devidamente parametrizado e proporcional a escala real. Foi possível representar graficamente por modelagem computacional as direções do fluxo de vento, velocidades e pressões incidentes na estrutura do santuário com suas respectivas variações a partir da passagem no mesmo.

PALAVRAS-CHAVE

Estruturas Metálicas. *Flow Design*. Vento. Aerodinâmica.

ABSTRACT

Metallic structures are construction systems that use relatively slim parts with high support capacity. Consequently, they are lighter structures compared to reinforced concrete, for example. For this reason, this type of structure becomes more susceptible to external actions like a wind. On the other hand, new technologies in the field of execution engineering developed with the aim of providing designers with more complex panoramas of the structures and dynamic components under which a building may be subjected. This study aims at a graphic representation through the computer modeling of the Sanctuary of Mercy with the use of the Autodesk Flow Design software. For this, a scale model was used, submitted to a virtual wind tunnel simulation, duly parameterized and proportional to the real scale. It was possible to represent graphically by computational modeling as persistence of the wind flow, expansion and pressures on the structure of the sanctuary with its variations from the passage in it.

KEYWORDS

Metallic structure, Flow Design, Wind, Aerodynamics

1 INTRODUÇÃO

Com o avanço e aprimoramento das técnicas e tecnologias aplicadas às estruturas metálicas para edificações, tornou-se possível a obtenção de peças com finalidades e geometrias diversas, inclusive disposições construtivas alternativas que oferecem, por exemplo, boa capacidade de suporte para grandes vãos, sendo as treliças espaciais um exemplo.

Alguns benefícios relacionados ao uso de treliças espaciais com estruturas metálicas, segundo Makowski (1981), são: elevado grau de hiperestaticidade, deslocamentos discretos, velocidade de execução e facilidade no manuseio das partes que compõem, flexibilidade no arranjo estrutural, aspecto visual agradável, integração a sistemas complementares da edificação e leveza.

Andreolla (2016) afirma que, em contrapartida, os cuidados com carregamentos provenientes do fluxo de vento são imprescindíveis à concepção dos projetos em estruturas de aço, visto que nestes casos os coeficientes aerodinâmicos de pressão interna e externa apresentam valores consideráveis, ocasionando uma pressão dinâmica elevada gerando, conseqüentemente, solicitações na estrutura de importância equivalente aos carregamentos acidentais, adicionais e ao peso próprio da edificação.

De acordo com Chamberlain (2018), a ação do vento não apresenta preocupação significativa em edificações baixas, inclusive pesadas e/ou com paredes espessas. Contudo, ao tratar de estruturas altas e esbeltas, o fluxo de vento incide na estrutura de maneira significativa. Para complementar, o autor cita algumas estruturas leves

como exemplos, tais como hangares, coberturas de estádios, ginásios de maneira geral, as que possuem grandes vãos livres, como pavilhões, entre outros.

Para a compreensão da interação entre as ações externas provenientes do fluxo de vento e a estrutura metálica, é necessário, antes, caracterizar como os ventos ocorrem.

Rios (2016) descreve o vento como o fluxo de ar na direção horizontal, provocado pelas condições de pressão e temperatura em que diferentes porções de ar estão sujeitas. Por exemplo, o deslocamento de ar ocorre quando uma porção de ar de maior temperatura e leveza tem a tendência de elevar sua altitude, enquanto porções de ar com temperatura inferior e mais pesado possui tendência de ocupar um ponto mais baixo.

Assim, os ventos estarão sujeitos às condições de gradiente de temperatura existentes no globo terrestre, o qual, por sua vez, segundo Taranath (1988), estará sujeito aos diferentes níveis de incidência dos raios solares e características térmicas dos oceanos e superfícies.

Borba (2005), baseando-se na condição de que a temperatura e pressão de uma massa de ar possuem propriedades diretamente interligadas, afirma que, para o equilíbrio de diferentes níveis de pressão, é necessário que haja fluxo de ar de uma região de alta pressão para uma de baixa pressão.

Para categorizar diferentes níveis de pressão, Ferreira (2008) apresenta as cartas meteorológicas como válidas, visto que nestas, é possível delimitar visualmente o contorno de regiões de pressão por meio de linhas denominadas isobáricas.

Dentro desta perspectiva, o fluxo de vento pode ser caracterizado pelo modo como o ar se desloca. De acordo com Varejão-Silva (2006), ventos de carregamento leve que transmitem a elementos sensíveis condições de conforto são denominadas brisas. Existem também os ventos alísios que se caracterizam por um nível acima das brisas no tocante a velocidade de deslocamento e carregamento. O autor considera ainda que, a sobreposição entre ventos alísios e brisas, que possuem sentido e direção semelhantes, apresentam efeito acumulativo, onde poderão promover em conjunto, ventos de força superior denominadas rajadas.

Blessmann (1998) define que rajadas, são fluxos com velocidades elevada e dimensões variadas. Para a compreensão dos efeitos de rajadas, o autor dimensiona as mesmas a partir da consideração de um comprimento de onda linear (λ). Assim, para $L/\lambda \ll 1$ (onde L é a maior dimensão característica da estrutura) a rajada irá aplicar pressão de maneira equivalente na estrutura como um todo, já no caso contrário, $L/\lambda \gg 1$, o carregamento pelo fluxo de vento será pontual e variável na estrutura.

De acordo com Mendis e outros autores (2007), para o dimensionamento adequado de estruturas suscetíveis à ação do vento, devem ser verificados os seguintes itens: impacto no entorno que se refere as variações sofridas pelo fluxo do vento a partir da construção da estrutura; cargas de vento aplicadas em superfícies específicas, referentes à aplicação direta da carga de vento em áreas aerodinâmicas, a partir de sua geometria peculiar; e cargas de vento aplicadas como um todo, onde se destaca, principalmente, a sujeição de deslocamento, flexão ou rotação dos elementos que compõe o sistema estrutural.

Para a elaboração de um projeto estrutural adequado, verificando-se os pontos críticos (áreas e elementos que sofrerão maior esforço) e carregamentos, os projetistas utilizam diversas técnicas de representação em escala em modelo virtual das edificações. A aplicação de túneis de vento e simulação de fluxo ocorrem de maneira equivalente, com apresentação de resultados visuais satisfatórios para uma verificação do comportamento proporcional da estrutura que ocorrerá na escala real.

O *software Autodesk Flow Design* versão educacional (AUTODESK, 2018), trata de um modelador virtual tridimensional, permitindo a realização de túneis de vento para análises de desenvolvedores, engenheiros, arquitetos e especialistas. Consiste na simulação de fluxo de ar com parâmetros preestabelecidos para a verificação do comportamento de uma estrutura quando submetido à ação de vento.

O objetivo deste artigo é representar graficamente, por meio de modelo computacional, as condições de fluxo de vento e pressão incidentes na estrutura do Santuário da Divina Misericórdia São João Paulo II e Irmã Dulce dos Pobres, ou como é popularmente chamado “Santuário da Misericórdia”, com simulação de túnel de vento através do *software Flow Design da Autodesk*.

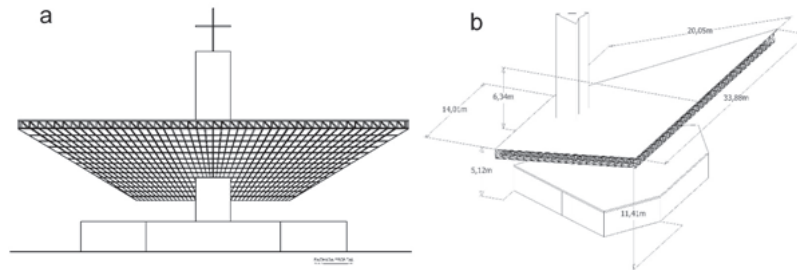
2 CARACTERIZAÇÃO E MÉTODO

Foram realizadas pesquisas bibliográficas em publicações acadêmicas especializadas na área de abordagem, pesquisa de documentações históricas em impressos da época e compilação dos projetos de engenharia disponíveis acerca da estrutura abordada.

O Santuário da Divina Misericórdia São João Paulo II e Irmã Dulce dos Pobres (Santuário da Misericórdia) foi construído no ano de 1991 na Cidade de Maceió, Alagoas, para receber o então Papa João Paulo II durante uma visita ao Brasil.

A estrutura é composta de um pavimento semienterrado, um pilar robusto composto por um núcleo metálico e porção externa em concreto armado com dezessete metros de altura, e uma cobertura de uma água, que confere características aerodinâmicas, com estrutura em treliça metálica espacial e vedação original em policarbonato translúcido. Após reforma e revitalização no ano de 2013, utilizou-se telhas de fibrocimento, todavia sem desconfigurar a geometria original da construção.

A cobertura, de formato trapezoidal, tem uma área total de aproximadamente quatrocentos e oitenta metros quadrados, é sustentada por apoio direto no pilar central e por meio de tirantes que partem das extremidades da cobertura e seguem em direção ao topo e base do pilar. A disposição geométrica da estrutura em fachada e perspectiva, estão representadas na Figura 1.

Figura 1 – Fachada frontal (a) e perspectiva (b) do santuário

Fonte: Projeto arquitetônico (2013) Secretária Estadual de Infraestrutura.

Em uma primeira etapa, foi realizado a modelagem tridimensional da estrutura em escala com utilização do *software Google Sketchup*. O modelo obedeceu às dimensões do santuário, conforme apresentadas nos documentos disponíveis. Levando-se em consideração o fato de que não foi encontrado registro do projeto original, datado no ano de 1991, utilizou-se os projetos referentes à obra de reforma e revitalização da estrutura, ocorrida em 2013, porém sem descaracterizar a geometria original.

Posteriormente, por meio de compatibilização entre as linguagens e programações inerentes aos softwares utilizados, o modelo 3D foi exportado para o programa *Autodesk Flow Design*, onde foi possível simular um túnel de vento para o objeto modelado no Sketchup. Naquele software, as condições de posição da estrutura, a direção, velocidade e característica do fluxo de vento foram parametrizadas, bem como a amplitude do túnel de vento em relação a estrutura e as mais diversas formas de representação.

A partir de então foram gerados gráficos bidimensionais e tridimensionais representativos em escalas de cores e símbolos para caracterizar o fluxo e velocidade do vento e zonas de pressão incidentes nos elementos estruturais.

3 RESULTADOS

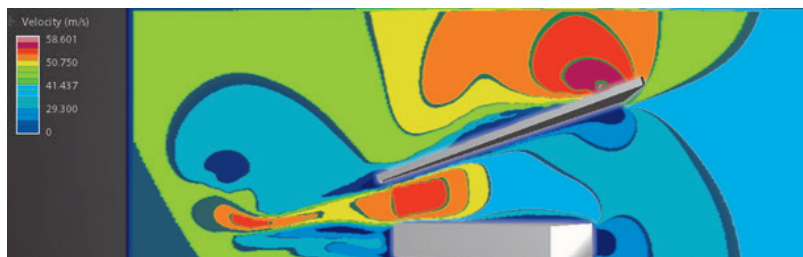
Foi possível verificar, tendo como base a velocidade básica do vento, de trinta metros por segundo, obtida a partir do gráfico de isopletras, encontrado na NBR 6123/2013 para a região, comportamentos peculiares na zona de barlavento (que recebe a ação do vento, neste caso, a fachada frontal da estrutura) e nas zonas de sotavento (região onde o vento se desprende da estrutura, neste caso, na fachada posterior).

Na face inferior da zona de barlavento (da coberta) é representada, na cor azul mais escura, uma diminuição abrupta de velocidade, ao passo que na face superior da zona de barlavento (da coberta), ocorre um aumento significativo de velocidade do vento, constatada pela mudança de cor, de azul para verde em diferentes tonalidades, conforme apresentado na Figura 2.

Já na região de sotavento, na face superior da coberta, ocorre uma desaceleração discreta do fluxo de vento, ao passo que na face inferior, verifica-se uma discreta

aceleração. Ambas em graus inferiores as variações que ocorrem na zona de barlavento, podendo-se constatar pelas cores correspondentes.

Figura 2 – Representação gráfica das velocidades do fluxo de vento no entorno da estrutura do santuário

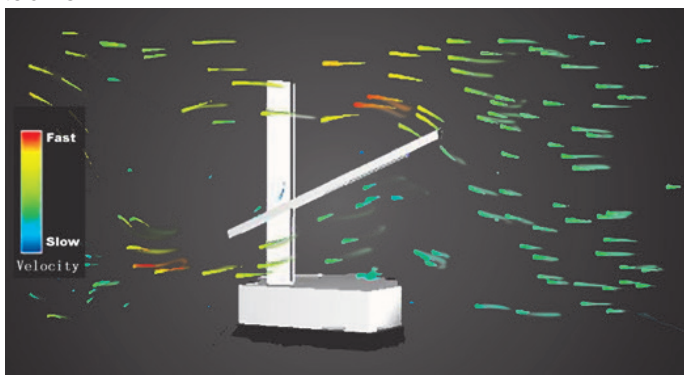


Fonte: Autodesk Flow Design. Autores.

Pode-se verificar que o fluxo predominante de vento na estrutura parte da fachada frontal em sentido à fachada posterior, e de acordo com a Figura 3, as linhas de fluxo são influenciadas pela geometria geral da estrutura. Observa-se, portanto a ocorrência de formação de vórtices sutis acima da cobertura, imediatamente após passar pela zona de barlavento.

O desprendimento de vórtices nesta área ocorre na direção transversal ao fluxo original, em sentido rotatório na direção da superfície da cobertura (de cima para baixo) e com aumento de velocidade, conforme a representação por cores.

Figura 3 – Representação bidimensional das linhas de fluxo de vento no entorno da estrutura do santuário



Fonte: Autodesk Flow Design. Autores.

Por meio do *Flow Design*, foi possível, também, analisar as variações de pressão no fluxo de vento e na superfície da estrutura. A Figura 4 apresenta um comportamento de pressões inversamente proporcional ao comportamento das velocidades de fluxo, apresentado anteriormente.

Na zona de barlavento, onde as variações são mais significativas, percebe-se na face inferior, um aumento considerável de pressão, ao passo que na face superior,

uma diminuição de pressão no fluxo representados por meio das cores graduadas de azul a vermelho, conforme Figura 4.

Na região do pilar, nota-se ainda uma curva de pressão constante demonstrado pela cor verde clara que segue o contorno do pilar.

Figura 4 – Representação gráfica das pressões provenientes do fluxo de vento no entorno da estrutura do santuário



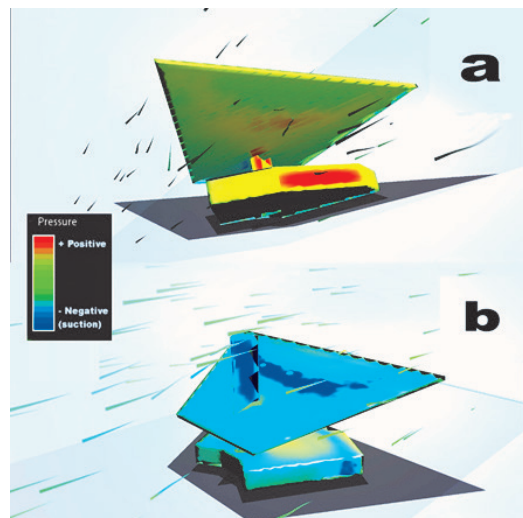
Fonte: Autodesk Flow Design. Autores.

Na superfície da estrutura de piso do santuário, verificou-se, também, zonas de pressão e sucção nas quais a estrutura está submetida em função do fluxo de vento parametrizado no *software*.

Na Figura 5 é possível identificar que existe uma ocorrência de pressão direta na superfície que recebe a incidência do vento, tanto no pavimento semienterrado quando na cobertura.

Destaca-se, também, uma zona maior de pressão (região avermelhada) na porção intermediária da coberta na face inferior e, mais claramente, uma zona maior de sucção (região azul escuro) na face superior.

Figura 5 – Representação gráfica das zonas de pressão nas superfícies inferior (a) e superior (b) da estrutura do santuário



Fonte: Autodesk Flow Design. Autores.

4 DISCUSSÃO

Observa-se a relação entre o comportamento das zonas de pressão e a variação de velocidade do vento na borda de barlavento. Isto é, com a redução da pressão (zona de sucção), o ar é imediatamente sugado para esta região, aumentando sua velocidade. Da mesma forma, é possível considerar um aumento (em menor grau) da velocidade do vento na borda de sotavento, ao passo que a pressão é reduzida apenas sensivelmente nesta região.

Foram diagnosticadas as zonas de elevação de velocidade do vento localizadas na superfície superior da cobertura a partir da borda de barlavento e na face inferior a imediatamente antes da borda de sotavento.

No tocante à formação de vórtice verificada durante a análise, este se dá pela inclinação da cobertura e direção do vento, o que propõe um efeito similar a uma asa aerodinâmica inclinada, devido a mudança rápida na direção, imediatamente após o contato do fluxo de vento com a cobertura.

5 CONCLUSÃO

Identificou-se, por meio da modelagem computacional realizada, as variações de velocidade do fluxo de vento em diversas regiões na superfície e no entorno da estrutura do santuário. Também foram identificadas as direções predominantes na região e as mudanças que ocorrem devido a passagem do vento pela estrutura, além da representação das zonas de pressão e incidência dos carregamentos impostos devido ao vento na superfície do santuário.

Recomenda-se, em estudos futuros, uma abordagem acerca da capacidade de carga da estrutura sujeita a estas ações do vento, seus comportamentos no entorno da estrutura e dos efeitos diversos encontrados por meio da representação computacional apresentada neste artigo, para que seja possível uma compreensão específica nos casos especiais de coberturas isoladas com grandes áreas e ângulo de inclinação acentuado.

REFERÊNCIAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas de Normas Técnicas. **NBR 8681:** Ações e segurança nas estruturas -Procedimento. Rio de Janeiro, 2003.

ABNT – Associação Brasileira de Normas de Normas Técnicas. **NBR 8800:** Projeto e Execução de Estruturas de Aço de Edifícios. Rio de Janeiro, 2008.

ABNT – Associação Brasileira de Normas de Normas Técnicas. **NBR 6123:** Forças devidas ao vento em edificação. Rio de Janeiro, 2013.

ANDREOLLA, Mariélen. **A ação do vento no dimensionamento de pavilhões de estrutura de aço**. 2016. 1 v. TCC (Graduação) – Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2016.

BLESSMANN, J. **Introdução ao estudo das ações dinâmicas do vento**. 2.ed. Porto Alegre: Ed. Da UFRGS, 1998.

BORBA, J. C. C. **Identificação do potencial eólico no Estado de Alagoas utilizando dados de reanálises**. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) – Universidade Federal de Alagoas, Maceió, Alagoas, 2005.

CHAMBERLAIN, Zacarias. **Ações do vento em edificações**. Disponível em: http://usuarios.upf.br/~zacarias/acoes_vento.pdf. Acesso em: 20 mar. 2018.

FERREIRA, N. A. C. Efeito do vento em edifícios altos – aplicação a um caso concreto, 2008. Dissertação (Mestrado Integrado em Engenharia Civil) – Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2008.

MAKOWSKI, Z.S. Review of development of various types of double-layer grids. *In*: MAKOWSKI, Z.S. (ed.). **Analysis, design and construction of doublelayer grids**. London: Applied Science Publishers, 1981. p.1-55.

MENDIS, P.; *et al.* Wind loading on tall building. **Electronic Journal of Structural Engineering (EJSE)**, 2007.

RIOS, Marina Polónia. **Efeito de amortecedores no comportamento dinâmico de edifícios altos sob cargas de vento**. 2015. Dissertação (Mestrado) – Departamento de Engenharia Civil, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, 2015.

SPECIAL Issue: Loading on Structures. Disponível em: <http://www.ejse.org/>. Acesso em: 18 mar. 2018.

TARANATH, B. **Structural analysis and design of tall building**. New York, EUA: Mc Graw Hill Book Company, 1988

Data do recebimento: 23 de novembro de 2020

Data da avaliação: 11 de dezembro de 2020

Data de aceite: 12 de dezembro de 2020

1 Bacharel em Engenharia Civil pelo Centro Universitário Tiradentes – UNIT-AL.

E-mail: gustavoliveira02@gmail.com

2 Bacharel em Engenharia Civil pela Faculdade de Tecnologia de Alagoas – FAT/AL.

E-mail: fabriciolimaus@gmail.com

3 Mestre em Engenharia Civil pela Universidade Federal Fluminense – UFF; Professora do curso de Engenharia Civil do Centro Universitário Tiradentes – UNIT-AL. E-mail: francisca.lucidalva@souunit.com.br