

PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DE MINAS GERAIS

Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica

Luiz Fernando Ribeiro Ledo

**ANÁLISE NUMÉRICA DE UM TÚNEL DE VENTO DE CAMADA LIMITE
ATMOSFÉRICA**

Belo Horizonte

2016

Luiz Fernando Ribeiro Ledo

**ANÁLISE NUMÉRICA DE UM TÚNEL DE VENTO DE CAMADA LIMITE
ATMOSFÉRICA**

Dissertação apresentada ao programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica da Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Engenharia Mecânica.

Orientadora: Prof.^a. Dr.^a Cristiana Brasil Maia

Área de concentração: Sistemas Térmicos e Fluidos

Belo Horizonte

2016

FICHA CATALOGRÁFICA

Elaborada pela Biblioteca da Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais

L474a Ledo, Luiz Fernando Ribeiro
Análise numérica de um túnel de vento de camada limite atmosférica / Luiz Fernando Ribeiro Ledo. Belo Horizonte, 2016.
102 f. : il.

Orientadora: Cristiana Brasil Maia
Dissertação (Mestrado) – Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais.
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica.

1. Túneis aerodinâmicos. 2. Camada limite. 3. Fluidodinâmica computacional.
4. Turbulência - Simulação (Computadores). 5. Escoamento - Modelos matemáticos. I. Maia, Cristina Brasil. II. Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica. III. Título.

SIB PUC MINAS

CDU: 629.7.018.1

Luiz Fernando Ribeiro Ledo

**ANÁLISE NUMÉRICA DE UM TÚNEL DE VENTO DE CAMADA LIMITE
ATMOSFÉRICA**

Dissertação apresentada ao programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica da Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Engenharia Mecânica.

Área de concentração: Sistemas Térmicos e Fluidos

Prof.^a. Dr.^a Cristiana Brasil Maia – PUC Minas (Orientadora)

Prof. Dr. Sérgio de Moraes Hanriot – PUC Minas (Banca Examinadora)

Prof. Dr. Ramón Molina Valle – UFMG (Banca Examinadora)

Belo Horizonte, 07 de outubro de 2016

AGRADECIMENTOS

A todos que contribuíram para a realização deste trabalho.

Aos meus pais pelo apoio, carinho e incentivo durante essa longa jornada.

À professora orientadora Cristiana pelo incentivo, acompanhamento, paciência e amizade durante a realização do projeto, aumentando o meu interesse pela pesquisa e desenvolvimento de novos estudos.

Ao professor Sérgio Hanriot, pela oportunidade inicial de realizar um trabalho de iniciação científica abrindo várias portas para a minha vida pessoal e profissional, além sempre incentivar à pesquisa.

À Maria Carla, minha namorada, pela paciência e apoio nas horas mais difíceis, e pela compreensão e companheirismo em todos os momentos.

A todos da MM & Associados pela compreensão, confiança e principalmente pelo apoio durante essa jornada, sem a ajuda de vocês as coisas seriam mais difíceis.

Aos meus amigos de mestrado e iniciação científica que contribuíram a todo o momento e de diversas maneiras, auxiliando não apenas nas pesquisas, mas em tornar o mestrado um ambiente prazeroso. Muito obrigado pela amizade de vocês.

À Valéria, pelo seu profissionalismo, por alegrar as nossas manhãs no mestrado, por sempre preocupar com a gente, ouvir nossos choros e sempre fazer o possível e impossível para nos ajudar.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão da bolsa de mestrado.

RESUMO

Um modelo numérico foi implementado para analisar o desenvolvimento do escoamento da camada limite atmosférica em um túnel de vento. A geometria utilizada foi baseada em um dispositivo citado na literatura para simular as condições reais em Alcântara, Brasil. A seção de testes do túnel é quadrada com aresta de 460 mm e comprimento de 1200 mm. Para prolongar a seção de testes, foi acoplado ao final da seção de testes um canal com largura de 410 mm e comprimento de 1200 mm. Com o intuito de acelerar o desenvolvimento e aumentar a espessura da camada limite, foram utilizados dispositivos passivos denominados agulhas, que consistem de placas triangulares dispostas na entrada da seção de testes e um tapete de 1310 mm de comprimento como elemento de rugosidade. O presente trabalho foi implementado com o software comercial ANSYS – CFX 14.5 para simular numericamente o escoamento turbulento em regime permanente no interior do túnel de vento. Em primeiro lugar, foi avaliado o túnel sem dispositivos passivos e elementos de rugosidade. Em seguida, foi avaliada a influência das dimensões destes dispositivos no escoamento e foram determinadas as dimensões a serem utilizadas no trabalho. Finalmente, um aparato denominado degrau simulando uma falésia foi adicionado no canal para simular uma falésia existente em Alcântara. Observou-se que a inserção de agulhas e do tapete afetam significativamente o perfil de velocidade no decorrer do túnel e o desenvolvimento da camada limite atmosférica. Com a adição do aparato degrau simulando uma falésia, observou-se que é criada uma área de recirculação a montante e jusante do degrau, como esperado. Quando comparados os valores numéricos aos valores experimentais, não se observou a concordância entre os mesmos, o que pode ser atribuído em parte a restrições de informações por parte da literatura.

Palavras-chave: CFX, Túnel de Vento, Camada Limite Atmosférica, ANSYS CFD, Dispositivos Passivos.

ABSTRACT

A numerical model was developed to analyze the development of the atmospheric boundary layer in a wind tunnel. The geometry used was based on a device cited in the literature to simulate the actual conditions in Alcântara, Brazil. The tunnel test section is square with an edge of 460 mm and a length of 1200 mm. To better simulate the fluid flow of a boundary layer, it was attached to the end of the test section a channel with a 410 mm of width and a length of 1200 mm. In order to improve the development and increase the thickness of the boundary layer, were used passive devices called spires, which this spires consist of triangular plates arranged near the test section and roughness elements section, using a carpet with the length of 1310 mm. This work was developed with the commercial software ANSYS - CFX 14.5 to numerically simulate the turbulent fluid flow in a steady state inside the wind tunnel. First, the wind tunnel was evaluated without passive devices and roughness elements, to assess its influence on the fluid flow behavior. After, the influence of the dimensions of these devices in the fluid flow was evaluated and were determined the dimensions to be used at work. Finally, a step apparatus simulating a cliff was added to the channel to simulate the existing cliff in Alcântara. It was observed that the insertion of the spires together with the carpet significantly affects the velocity profile throughout the tunnel and the development of the atmospheric boundary layer. With the addition of the step apparatus simulating a cliff, it was observed that there are created a recirculating area upstream and downstream of the step, as expected. When compared the numerical values with experimental data, it was not observed a concordance, what may be attributed to information restrictions by the literature.

Keywords: CFX, Wind Tunnel, Atmospheric Boundary Layer, ANSYS CFD, Passive Devices.