

## PROJETO DE TÚNEL DE VENTO DIDÁTICO

Arthur de Lima Queiroga, arthurqueiroga96@gmail.com<sup>1</sup>

Rhander Viana, rhanderviana@gmail.com<sup>2</sup>

Universidade de Brasília, UnB - Brasília, DF, 70910-900,

**Resumo.** Projeto e construção de um túnel de vento de pequeno porte. Usando importantes literaturas da área e simulações CFD, as geometrias do túnel foram definidas para um melhor escoamento em seu interior. Para a fabricação das peças foram criados moldes usando a router CNC.

**Palavras chave:** Túnel de vento. Fluidodinâmica computacional(CFD). Router CNC.

**Abstract.** Design and construction of a small wind tunnel. Using important literature from the area and CFD simulations, the geometries of the tunnel were defined for a better flow in its interior. For the manufacture of parts, molds were created using the CNC router.

**Keywords:** Wind Tunnel, Computational fluid dynamics, Router CNC

### 1. INTRODUÇÃO

Pesquisas em aerodinâmica são aplicadas em diversas áreas, como: construções (p. ex. edifícios e pontes), veículos (p. ex. automóveis e aviões), equipamentos especiais (p. ex. aero geradores e paraquedas), dentre outras. Desde meados do século XX, as pesquisas na área de aerodinâmica foram motivadas, principalmente, pela necessidade de melhorar o desempenho e o consumo de combustíveis de carros e aviões, principalmente, quando os fabricantes constataram que os carros perdiam potência pela resistência do ar (Mehta and Bradshaw, 1979). As pesquisas na área aerodinâmica evoluíram essencialmente com o desenvolvimento dos túneis de vento. Túneis de vento são equipamentos que permitem aos engenheiros estudar o fluxo de ar sobre objetos de interesse, forças que atuam sobre eles e sua interação com o fluxo. Os túneis de vento são utilizados para investigar teorias aerodinâmicas, e facilitar, principalmente, o projeto de aeronaves. Atualmente, a pesquisa aerodinâmica tem expandido para outros campos, como indústria automotiva, arquitetura, meio ambiente e educação, fazendo com que os testes realizados em túneis de vento de baixa velocidade sejam ainda mais importantes (Carminatti and Konrath, 2019). A prática da aerodinâmica experimental de baixa velocidade foi fundamental no desenvolvimento de uma série de veículos, e outros dispositivos que devem desempenhar suas funções na presença de forças geradas por elevados fluxos de ar ou água.

Os túneis de vento podem ser de circuito aberto ou fechado. Os sistemas de circuito aberto não recirculam o ar e são mais viáveis economicamente, pois eles são compostos por três estruturas principais: um bocal, uma seção de teste e um difusor. Já em um túnel de circuito fechado o ar recircula dentro do sistema, portanto ele tem mais componentes e é um sistema mais complexo e custoso. Portanto, o projeto é um túnel de vento de circuito aberto, onde as simulações de CFD foram feitas e analisadas para compreender o problema, com isso, a geometria do túnel foi definida para facilitar a construção das geometrias mais complexas.

Outra tecnologia importante para a engenharia é a fabricação de peças usando a router CNC que proporciona precisão e velocidade na fabricação de peças. Usando essa máquina os moldes do bocal de difusor podem ser fabricados de forma precisa e eficiente.

### 2. Metodologia

A metodologia do projeto proposto segue as etapas descritas a seguir.

#### 2.1 Projeto e Simulação das Partes Constituintes do Túnel de Vento

O objetivo desta etapa será projetar as partes que constituem um túnel de vento subsônico na escala 1:10, contendo: bocal, seção de teste, difusor, telas, colmeias e câmara de estabilização. Será projetado um túnel de circuito aberto em que o fluido não circula, pois não possuirá passagem de retorno. Os túneis de circuito abertos são amplamente utilizados para

fins de instrução e para calibração de dispositivos de fluxo. Para todas as partes constituintes do túnel de vento proposto será calculada sua geometria e perdas de pressão. A retidão nestes cálculos será crucial para a construção de um túnel de vento preciso e eficaz, que atenda o escopo deste projeto. A seção de teste, local em que os corpos a serem testados são posicionados para os experimentos, será retangular confeccionada em acrílico com iluminação adequada para aquisição de imagens. A seção de teste será projetada de maneira que as interferências no corpo de prova sejam mínimas. O difusor terá como finalidade reduzir a velocidade com pequenas perdas, tanto quanto possível, convertendo energia cinética em energia de pressão.

A partir das literaturas as seções do túnel e a potência do motor foram dimensionadas. O bocal e o difusor serão feitos de fibra de vidro e a seção de teste de acrílico. Simulações de CFD foram realizadas com o ANSYS AIM 2020 R2 academic para uma melhor compreensão do comportamento do escoamento.

Uma das primeiras coisas a ser feita é definir as dimensões da seção de teste e a velocidade do escoamento no seu interior, onde seu diâmetro hidráulico será a referência para a para projetar o bocal e o difusor.

Para a fabricação de componentes complexos como o bocal e o difusor, é necessário a confecção de moldes feitos em router CNC. Esses moldes serão desenhados usando o software SOLIDWORKS 2019.

## 2.2 Seção de Testes

A seção de testes do túnel de vento possui um diâmetro hidráulico de 0,2 m. De acordo com Barlow *et al.* (1999) a seção de teste deve ter um comprimento duas vezes maior que o seu diâmetro hidráulico. Portanto, a seção de testes possui um comprimento de 0,4 m. E para as análises aerodinâmicas foi definida uma velocidade de 8 m/s.

## 2.3 Ventilador

Inicialmente é necessário ter uma noção da magnitude da potência envolvida no sistema. Usando Barlow *et al.* (1999) a potência na seção de testes é definida para sua área transversal, de  $0,04 \text{ m}^2$ . Com a seguinte equação de Barlow *et al.* (1999), obtêm-se potência usada no sistema

$$P_{st} = \frac{1}{2} \dot{m}_{st} V_{st}^2 \quad (1)$$

onde  $\dot{m}_{st}$  e  $V_{st}$  são a vazão mássica e a velocidade na seção de testes, respectivamente. A presença de pás retas no ventilador é outra boa prática apresentada por Barlow *et al.* (1999).

## 2.4 Controle de Velocidade

O controle de velocidade do ventilador é feito usando um modulador de largura de pulso, mais conhecido como PWM. Para escolher o melhor controlador é necessário calcular a corrente máxima do ventilador usando a equação da potência apresentada a seguir

$$P = iU \rightarrow i = \frac{P}{U} \quad (2)$$

em que P é a potência do ventilador, U a tensão e i a corrente.

## 2.5 Difusor

O difusor deve ter um ângulo  $\theta$  entre  $2^\circ$  e  $3,5^\circ$ . O comprimento do difusor foi calculado usando a Eq. (3)(Barlow *et al.*, 1999), respeitando esse intervalo de  $\theta$ . Outro fator importante para o tamanho do difusor, são os ventiladores presentes no mercado, que atendessem a dimensão estipulada para o projeto. Um exemplo de difusor está apresentado na Fig. 1.

$$\theta = \arctan\left(\frac{R_2 - R_1}{L}\right) \rightarrow L = \frac{R_2 - R_1}{\tan\theta} \quad (3)$$

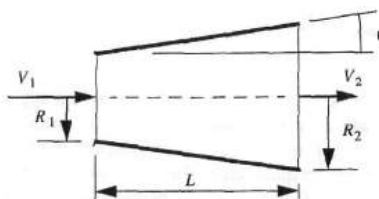


Figura 1. Geometria do difusor

## 2.6 Bocal

O bocal foi dimensionado de acordo com Ahmed (Ed.) seguindo a mesma ideia do difusor, porém o ângulo de contração  $\theta$  deve ser de  $12^\circ$ . Outra consideração importante é o formato do bocal, pois ele pode ser curvado ou reto. Com as simulações presentes no livro Driss (Ed.) concluiu-se que uma geometria curvada resulta em um melhor escoamento na seção de teste.

Para definir o tamanho do bocal foi usada a razão de áreas da entrada do bocal e de sua saída. De acordo com Ahmed (Ed.) considerando estudos aeronáuticos a razão de contração deve estar na faixa de 8 a 9. A razão de contração,  $N$ , pode ser calculada da seguinte forma

$$N = \frac{A_e}{A_s} \quad (4)$$

onde  $A_e$  e  $A_s$  são área de entrada e área de saída, respectivamente.

## 2.7 Simulação CFD

A simulação CFD foi realizada com o software ANSYS AIM 2020 R2 academic, usada para compreender melhor o problema e avaliar o escoamento na seção de teste. A discretização, na Fig. 2, foi realizada usando elementos hexagonais, com um total de 257250 elementos. A métrica utilizada para a qualidade da malha foi a skewness, onde seu maior valor é de 0,56 e seu valor médio de 0,19 o que garante uma malha aceitável para avaliar a simulação.

O modo de turbulência usado foi o  $k-\omega$  SST, onde a espessura da primeira camada é de 0,00004639 m.

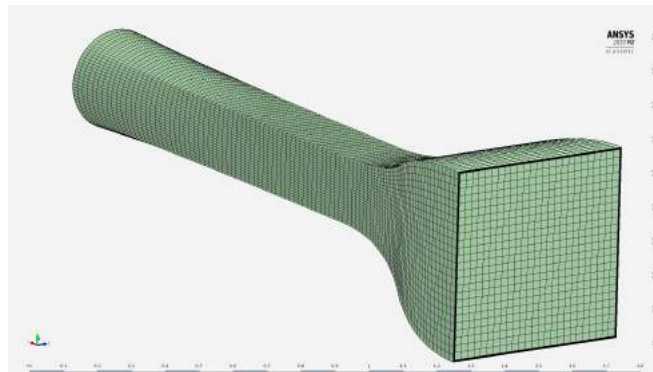


Figura 2. Discretização do escoamento

## 3. RESULTADOS

O resultado final é um túnel de 2,3 m de comprimento. A Fig. 3 as três partes principais de um túnel de vento. Onde os limitantes são o comprimento da estrutura e a escolha do ventilador mais adequado para o sistema.

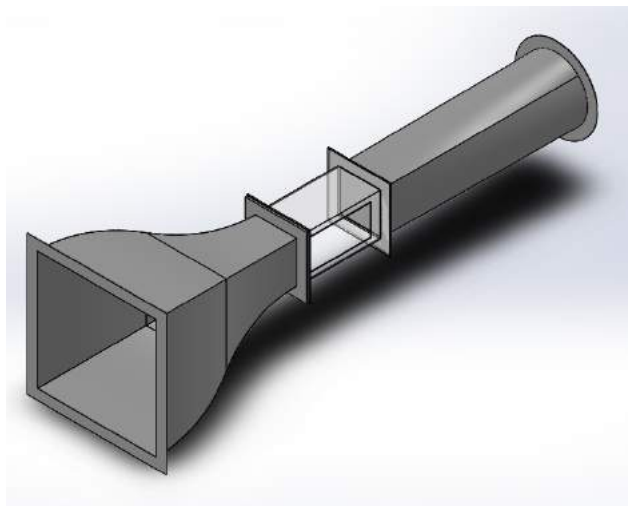


Figura 3. CAD do Túnel de vento

### 3.1 Seção de Testes

A seção de testes quadrada, na Fig. 4, possui um diâmetro hidráulico de 0,2 m e seu comprimento é de 0,4 m. Essa peça possui uma abertura lateral de 0,3 m X 0,15 m para manuseio de experimentos.

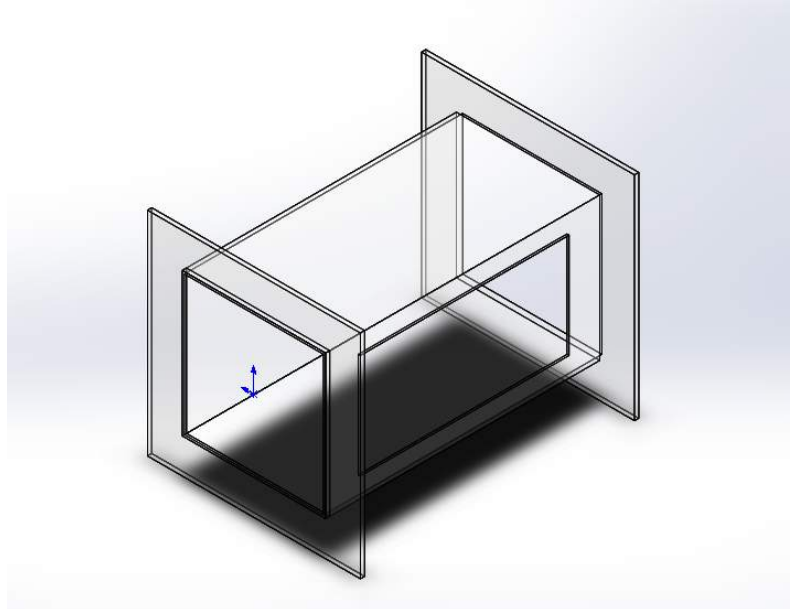


Figura 4. Seção de testes

### 3.2 Ventilador

A potência na seção de testes,  $P_{st}$ , calculada pela Eq. (1) é de 24 W, considerando uma velocidade de 8 m/s e um diâmetro hidráulico de 0,2 m. Ao pesquisar o mercado de ventiladores axiais, e usando a Eq. (3) com um ângulo  $\theta$  de  $3^\circ$  optou-se por um ventilador de 0,3 m de diâmetro. Esse ventilador possui 12 Volts e 80 Watts de potência e está representado na Fig. 5



Figura 5. Ventilador

### 3.3 Controle de Velocidade

Com a Eq. (2) e as informações do ventilador a corrente máxima é 6,6 Ampère. Assim, uma fonte de 12 Volts e 5 Ámpere de corrente foi escolhida, junto com um controlador PWM de 12V e corrente máxima de 5 A, apresentado na Fig. 6. Esta fonte de alimentação é capaz de fornecer 60 W de potência, porém não será necessária toda essa potência de acordo com a Eq. (1).



Figura 6. Controlador PWM

### 3.4 Difusor

A partir do diâmetro do ventilador e usando a Eq. (3), o comprimento do difusor é de 0,954 m. A região de entrada do ar é a parte quadrada na Fig.7, que possui 0,2 m X 0,2 m de dimensão, e a porção onde o ventilador é fixado têm um diâmetro de 0,3 metros.

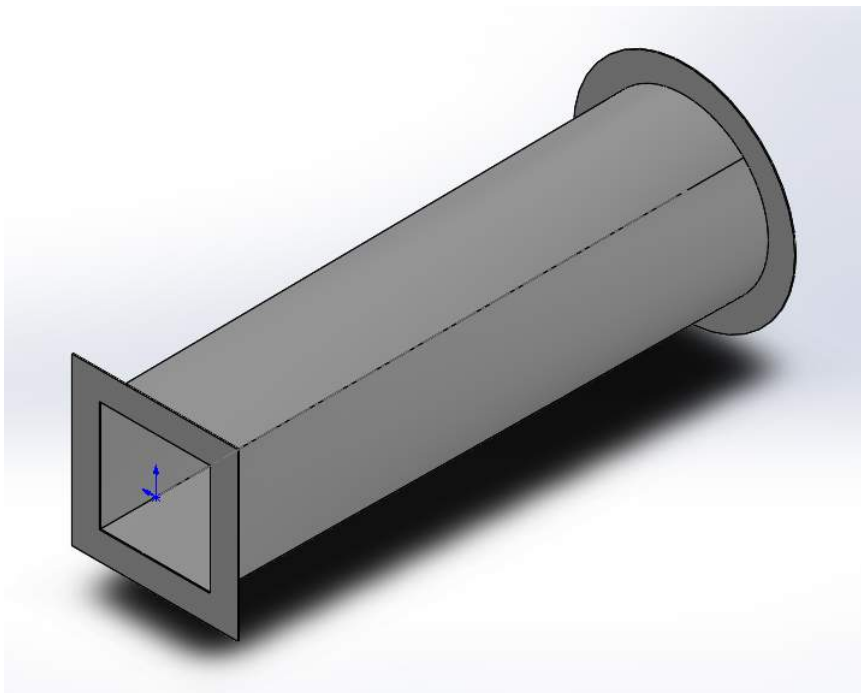


Figura 7. Difusor

### 3.5 Bocal

A razão de contração do bocal escolhida foi de 8,41, ou seja, a área de entrada do bocal é de  $0,3364m^2$  e a área de saída é de  $0,04m^2$ . Portanto, as dimensões da entrada e da saída são  $0,58\text{ m} \times 0,58\text{ m}$  e  $0,2\text{ m} \times 0,2\text{ m}$ , respectivamente. Usando a Eq. (3), o comprimento do bocal é de 0,874 metros.

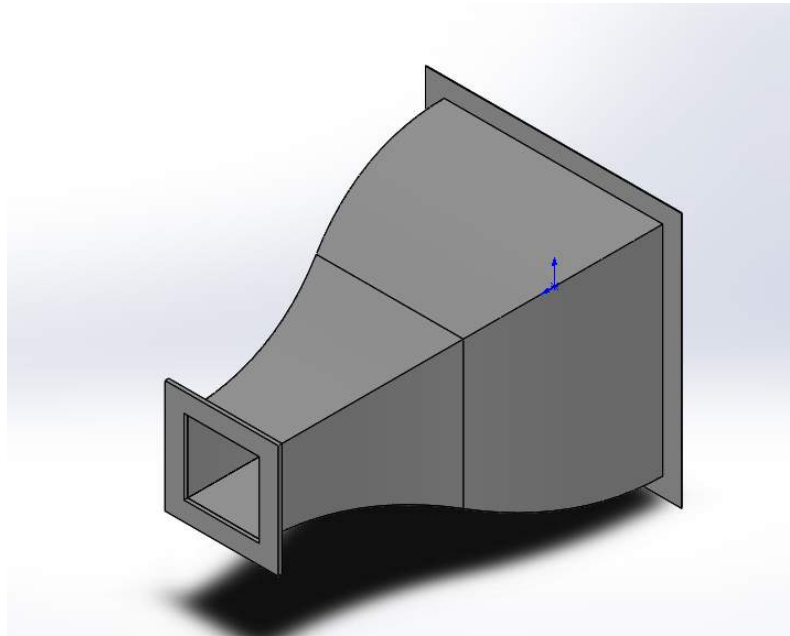


Figura 8. Bocal

### 3.6 Simulação CFD

O resultado da simulação em regime permanente é apresentado a seguir na Fig. 9, em que é possível observar o perfil de velocidade dentro da seção de testes. Na simulação, o ar entra com uma velocidade de 1 m/s no bocal e na seção de testes chega com uma velocidade média de 8.3 m/s.

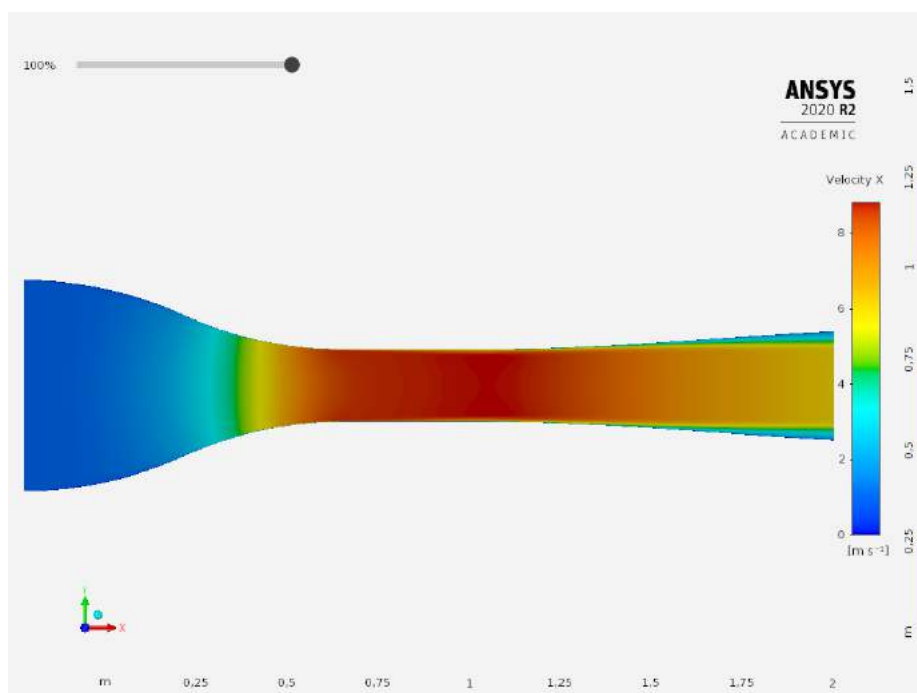


Figura 9. Velocidade do escoamento

De acordo com Barlow *et al.* (1999) é interessante colocar chanfros de 45° nas quinas da seção de teste, pois melhora o comportamento do escoamento. Porém, a dificuldade construtiva do túnel ficaria maior, dessa forma ao observar a Fig. 10 é possível observar uma maior turbulência nas quinas da seção, contudo o interior do escoamento apresenta uma velocidade uniforme. Sendo assim, optou-se por construir uma seção de testes sem chanfros em sua quinas.

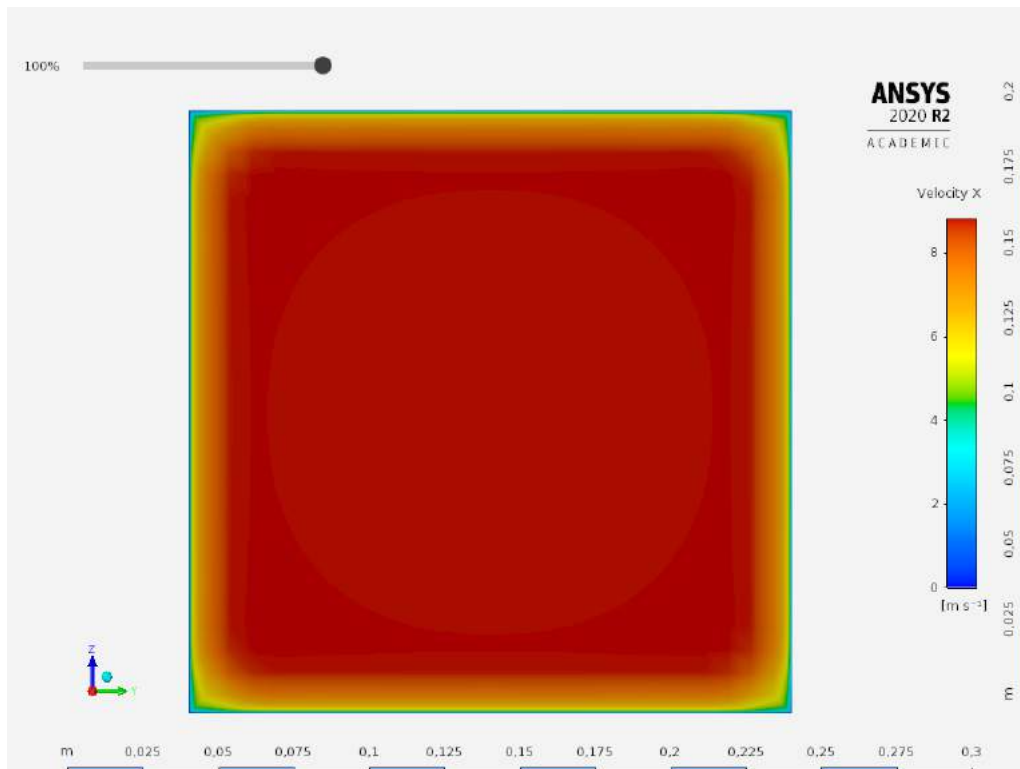


Figura 10. Corte transversal do escoamento na seção de testes

#### 4. CONCLUSÃO

As dimensões e geometrias do túnel de vento foram determinadas, com essa estrutura os estudos aerodinâmicos poderão ser realizados para diferentes velocidades, usando o controlador PWM. A partir da simulação, a geometria quadrada foi implementada na seção de teste. Além disso, é possível observar na simulação a região da seção de teste com as velocidades mais uniformes, com isso, a melhor posição para acoplar os experimentos dentro do túnel.

#### 5. AGRADECIMENTOS

Agradeço ao Decanato de Pós-Graduação - Diretoria de Fomento à Iniciação Científica da UnB.

#### 6. REFERÊNCIAS

- Ahmed(Ed.), N.A., 2013. *Wind Tunnel Designs and Their Diverse Engineering Applications*. Intech, Croatia, 1st edition.
- Barlow, J.B., William H. Rae, J. and Pope, A., 1999. *Low-speed Wind Tunnel Testing*. John Wiley Sons, 3rd edition.
- Carminatti, L.J. and Konrath, R., 2019. “Desenvolvimento de um túnel de vento subsônico com foco no ensino didático”. *Anais Engenharia Mecânica UCEFF*, Vol. 4, No. 1, pp. 1–17.
- Driss(Ed.), Z., 2019. *Wind Tunnels Uses and Developments*. Nova Science Publishers, New York, 1st edition.
- Mehta, R.D. and Bradshaw, P., 1979. “Technical notes: Design rules for small low speed wind tunnels”. *The Aeronautical Journal of The Royal Aeronautical Society*.

#### 7. RESPONSABILIDADE PELAS INFORMAÇÕES

Os autores são os únicos responsáveis pelas informações incluídas neste trabalho.