



TÚNEL DE VENTO SUBSÔNICO

Débora Amanda Ramos dos Santos

João Carlos Santos Siqueira

Pedro Henrique Souza Santos

Orientadores: Alex Sandro Tomazini e Marcos Roberto Paglione

E. E. PEI Professor Celso Piva

Guarulhos

Setembro/2023

Resumo

Neste projeto, busca-se construir um túnel de vento subsônico de baixo custo e enfoque didático, superando barreiras financeiras e técnicas para proporcionar aos estudantes uma experiência prática e acessível no estudo da aerodinâmica. A escolha de um túnel de vento de circuito aberto é devido à sua versatilidade e capacidade de simular condições de fluxo livre. O objetivo é permitir testes práticos para determinar padrões de fluxo e medir coeficientes aerodinâmicos, aprofundando o conhecimento na área. A metodologia do projeto inclui uma revisão bibliográfica para embasar a construção do túnel, seleção de conceitos relevantes, cálculos para dimensionamento e desenho das peças. A viabilidade financeira do projeto será demonstrada por meio de uma tabela de custos, visando o aprendizado prático para os alunos, aplicando conceitos teóricos em um contexto real, desenvolvendo habilidades de pesquisa e análise de dados, além de despertar o interesse por carreiras científicas e tecnológicas.

Palavras-chave: Aerodinâmica. Simulação. Túnel de Vento.

Introdução

A construção de túneis de vento é uma prática consolidada e amplamente utilizada para o estudo das forças aerodinâmicas em corpos e superfícies. Existem diversos tipos de túneis de vento disponíveis no mercado, cada um com suas características e particularidades. Neste projeto, optou-se pela construção de um túnel de vento de circuito aberto devido à sua versatilidade e capacidade de simular condições de fluxo livre, que é um dos principais objetivos deste trabalho.

É importante ressaltar que este trabalho representa um ponto de partida e o túnel de vento construído poderá passar por melhorias e aprimoramentos em etapas futuras. Com o equipamento finalizado, será possível realizar testes práticos, como a determinação dos padrões de fluxo e a medição dos coeficientes aerodinâmicos, contribuindo assim para o aprofundamento do conhecimento na área de aerodinâmica.

Espera-se que este projeto do túnel de vento subsônico de baixo custo e foco didático seja uma ferramenta valiosa para o ensino acadêmico, proporcionando aos estudantes uma oportunidade de vivenciar e compreender os princípios da aerodinâmica de forma prática e envolvente.

Objetivo

O objetivo geral deste projeto é construir um túnel de vento subsônico de baixo custo, buscando superar barreiras financeiras e técnicas, para proporcionar uma experiência prática e acessível no estudo da aerodinâmica. O túnel de vento de circuito aberto será projetado para permitir testes práticos, determinando padrões de fluxo e medindo coeficientes aerodinâmicos, com o intuito de aprofundar o conhecimento nessa área.

Questão Problema

Como construir um túnel de vento subsônico de baixo custo e enfoque didático, superando desafios financeiros e técnicos, a fim de proporcionar uma experiência prática acessível no estudo da aerodinâmica, permitindo testes práticos para determinar padrões de fluxo e medir coeficientes aerodinâmicos, enquanto promove o aprendizado prático, desenvolve habilidades de pesquisa e análise de dados, e estimula o interesse por carreiras científicas e tecnológicas?

Hipótese

A construção do túnel de vento subsônico de circuito aberto, com a seleção adequada de materiais e componentes de baixo custo, juntamente com uma metodologia didática, permitirá que estudantes realizem testes práticos para determinar padrões de fluxo e medir coeficientes aerodinâmicos, promovendo assim o aprendizado efetivo da aerodinâmica e despertando o interesse por carreiras científicas e tecnológicas.

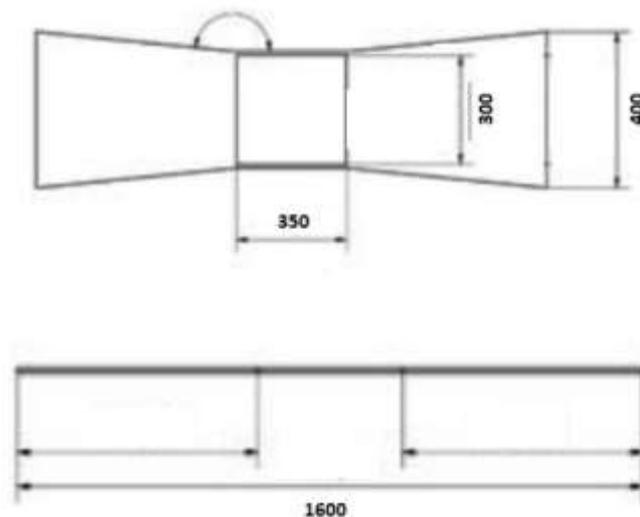
Metodologia

Para embasar a construção do túnel de vento, foi realizada uma revisão bibliográfica que abordou os diferentes tipos de túneis de vento existentes e suas particularidades. A partir desta revisão, foram selecionados os conceitos e parâmetros relevantes para o projeto, permitindo a realização dos cálculos necessários para o dimensionamento do equipamento.

Após essa revisão, foi realizado o corte em madeira MDF das peças componentes do túnel de vento, visando garantir a precisão e a funcionalidade do equipamento. Esta etapa de dimensionamento e medidas foi fundamental para garantir o correto funcionamento do equipamento e a obtenção de resultados confiáveis. Ficou estabelecido que as medidas para

corte da madeira MDF seriam na lateral, denominada difusor, na medida de 400 mm, a seção de testes na medida de 300 mm e a seção de contração na medida de 400 mm e o comprimento total do equipamento é 1600 mm. Após, as placas de madeira MDF foram unidas com cola de madeira e parafusos. Em seguida foi instalado o exaustor com o potencial ¼ hp com hélices de 30 cm de diâmetro na seção do difusor e na seção de contração foi instalada a colmeia quadrangular de plástico para reduzir as turbulências do escoamento, antes que o mesmo entre no bocal convergente. Em seguida foi instalado na seção de teste uma placa de vidro de 25 x 31 cm para visualizar os testes realizados com os foguetes. Também foi instalado uma placa de vidro de 10 x 25 cm na seção do difusor para observar a aerodinâmica do foguete dentro do túnel. Posteriormente, os foguetes de garrafa PET construídos pelos alunos para a Mostra Brasileira de Foguetes (MOBFOG) foram testados no túnel de vento.

Figura 1. Esboço do túnel de vento.



Fonte: Os autores, adaptado de TIBÚRCIO; RIZZO JÚNIOR (2021).

Desenvolvimento

Todos os corpos sujeitos a movimento do ar, como edifícios, asas, aviões, automóveis, entre outros diversos, possuem características aerodinâmicas privativas. A análise das características próprias dos corpos pode ser realizada por meio de metodologia qualitativa, como a medição do escoamento, e quantitativas, como medição em túneis de vento ou cálculo computacional (CAMPOS; DENADAI, 2005).

As forças que atuam na movimentação dos corpos em movimento, como os aviões, são: arrasto, lateral e sustentação. O arrasto é a resistência que o escoamento impõe ao movimento do corpo; a lateral é a força que desvia lateralmente o corpo de sua trajetória; a sustentação é a

força a força que atua simetricamente ao corpo, sendo perpendicular à direção do escoamento (CAMPOS; DENADAI, 205).

Um túnel de vento é um equipamento de medição cujo escopo é a análise do escoamento em volta de um corpo e as das forças geradas pela interação entre o fluido e o corpo. Ar é o fluido mormente utilizado nestes equipamentos, porém outros tipos de fluido podem ser utilizados (TIBÚRCIO; REZZIO JR., 2021). Os túneis de vento são uma das formas mais rápidas e eficazes para a condução de pesquisas sobre aerodinâmica (BRESCHI, 2019). O princípio deste equipamento é relativamente simples: demanda-se um controlado e reforçado fluxo de que passe por uma câmara, em que é possível realizar experimentos, como sobre a simulação do fluxo de ar em diferentes modelos aerodinâmicos.

Há diversos tipos de tuneis de vento, que são apropriados para variadas especificações, normalmente classificados de acordo com sua geometria e velocidade na seção de análise. Alguns dos tuneis de vento, são: túnel de vento de circuito aberto: composto pelas partes de entrada, colmeia, contração, telas de turbulência, seção de análise, difusor e ventilador. Neste modelo, o ar percorre uma trajetória reta, passando por todas as partes descritas, até a exaustão do fluido no ventilador (LINS, 2018). Suas vantagens são o baixo custo inicial e facilidade de análise quando se utiliza fumaça para verificação do processo de escoamento.

O túnel de vento de circuito fechado é relativamente mais complexo em relação ao de circuito aberto, visto que o fluido percorre um caminho contínuo pela passagem de retorno. Este modelo é composto por: difusor, seção de testes, cone de contração, tela, câmara de estabilização, aletas, o difusor da passagem de retorno e o ventilador. O menor consumo de energia e a facilidade de controlar o escoamento do fluido em volta do corpo são as vantagens deste modelo (LINS, 2018).

A classificação de acordo com a geometria supracitada, é básica, de forma que os tuneis de vento também podem ser classificados como túnel de fumaça subsônico de retorno aberto, túnel supersônico fechado por propulsão, túnel subsônico de retorno fechado, túnel de água, túnel subsônico de retorno aberto em grande escala, entre outros diversos, sendo projetados para propósitos e velocidade específicos (TIBÚRCIO; REZZIO JR., 2021)

Queiroga (2022) afirma que os túneis também podem ser classificados de acordo com a velocidade nas seções de teste, dividindo-se em supersônicos e subsônicos. Tal classificação é calculada pelo número de Mach, que é uma medida adimensional de velocidade. O túnel de vento é considerado supersônico quando a velocidade local do som for menor que a velocidade

da seção de testes ($M > 1$), e subsônico, quando a velocidade da seção de testes for inferior a velocidade local do som.

O número de Mach, parâmetro fundamental na caracterização da compressibilidade em um escoamento (LINS, 2018), é interpretado como a razão entre a inércia e a compressibilidade, sendo calculado pela razão de “V”, velocidade do escoamento pela velocidade local do som “C”: $m = \frac{v}{c}$ (LANHI, 2014).

Ressalta-se que a seção de testes é o local em que os experimentos são realizados, sendo geometricamente distinta na maioria dos projetos, de acordo com o tamanho do modelo e escopo da pesquisa, porém deve possuir espaço suficiente para instrumentação, bem como acessibilidade e iluminação adequada. Os formatos em quadrado e retângulo são mais comuns para a seção de testes, porém pode apresentar diversos outros formatos, a depender da finalidade do projeto (LANHI, 2014).

O dimensionamento desta seção deve ser calculada de acordo com o tamanho do modelo, com consideração pela área da espessura e interferências da camada limite, que reduzem a área utilizável, porém, independente do tamanho do modelo, o comprimento da seção de testes não deve possuir menos de 0,3 vezes o diâmetro hidráulico de escoamento da seção de testes (LINS, 2018)

Por fim, abordar-se-á a perda de carga, que representa a transformação de energia mecânica em energia térmica em razão dos atritos do sistema:

No túnel de vento, essa transformação ocorre devido ao escoamento do fluido com viscosidade sobre as paredes de cada componente e outras superfícies sólidas. Cada seção do túnel, por apresentar características distintas, contribui de maneira diferente para o aumento dessa perda (TIBÚRCIO; REZZIO JR., 2021, p. 32).

Ao longo da passagem do fluido pelo túnel, as perdas se apresentam como quedas de pressão sucessivas, que devem ser recuperadas pelo ventilador. A queda de pressão total de um circuito é descrita como a soma das quedas que ocorrem em todas as demais seções:

Figura 2. Equação do coeficiente de perda de carga.

$$\Delta P_{total} = \sum_i (\Delta P_i) = \sum_i (K_i \frac{\rho V_i^2}{2}),$$

Fonte: TIBÚRCIO; REZZIO JR (2021, p. 33).

Na equação acima demonstrada, ΔP_i representa a queda de pressão de cada componente, K_i representa o coeficiente da perda de carga, $\rho V^2/2$ a pressão dinâmica de cada interação e ΔP total representa a queda de pressão do circuito (TIBÚRCIO; REZZIO JR., 2021).

Em suma, os túneis de vento desempenham um papel fundamental na análise de escoamentos e são categorizados de acordo com sua geometria, velocidade e outras especificações, permitindo uma variedade de aplicações em pesquisas e desenvolvimento de projetos aerodinâmicos.

Resultados e Discussões

Os resultados obtidos com a construção e utilização do túnel de vento foram satisfatórios. O equipamento permitiu a realização de testes práticos para determinar padrões de fluxo e medir coeficientes aerodinâmicos, proporcionando uma compreensão mais profunda dos fenômenos aerodinâmicos. Contribuíram para o aprofundamento do conhecimento na área de aerodinâmica e forneceram informações importantes para o desenvolvimento de futuros projetos e aprimoramentos do túnel de vento.

Os foguetes construídos pelos alunos para a Mostra Brasileira de Foguetes (MOBFOG) foram testados no túnel de vento, permitindo a observação e análise do comportamento aerodinâmico em diferentes condições de fluxo. Esses testes possibilitam a obtenção de dados experimentais e a validação de modelos teóricos.

Figura 3. Apresentação para a comunidade interna.



Fonte: Os autores (2023).

Figura 4. Vista parcial do túnel de vento.



Fonte: Os autores (2023).

A utilização do túnel de vento proporcionou aos alunos uma experiência prática e envolvente no estudo da aerodinâmica. Eles puderam aplicar os conceitos teóricos aprendidos em sala de aula, desenvolver habilidades de pesquisa, experimentação e análise de dados, fortalecendo sua compreensão dos princípios aerodinâmicos.

Tabela 1. Gastos para a construção do túnel de vento.

Quantidade	Descrição	Custo
1 unid.	Placa MDF 9 mm	R\$ 155,00
36 unid.	Parafuso para madeira 3,5 x 35 mm	R\$ 5,00
1 unid.	Cola para madeira	R\$ 24,50
1 unid.	Piso plástico	R\$ 29,80
1 unid.	Lixa 100	R\$ 4,38
1 unid.	Tinta para madeira	R\$ 39,90
2 unid.	Vidro 25 x 31cm	R\$ -
1 unid.	Vidro 10 x 25cm	R\$ -
1 unid.	Motor exaustor 1/4hp	R\$ -
1 unid.	Umidificador	R\$ -
Total		R\$ 258,58

Fonte: Os autores (2023).

Analisando os custos para a construção do túnel de vento, podemos considerar que o valor total de R\$ 258,58 é relativamente baixo em comparação pois essa construção permitirá demonstrações práticas de conceitos relacionados à aerodinâmica.

Considerações Finais

A construção desse túnel de vento pode oferecer diversas vantagens educacionais, proporcionando aos alunos a oportunidade de aplicar seus conhecimentos teóricos em um ambiente prático e estimulando o desenvolvimento de habilidades de pesquisa, experimentação e solução de problemas. Além disso, ao construir o próprio túnel de vento, os estudantes tiveram um entendimento aprofundado dos princípios de engenharia envolvidos, desde o dimensionamento das peças até a montagem e o funcionamento do equipamento.

Outro aspecto relevante é o baixo custo associado a esse projeto. A utilização de materiais e recursos acessíveis pode tornar o túnel de vento mais viável financeiramente para instituições de ensino com recursos limitados. Isso possibilitaria a democratização do acesso a essa tecnologia, ampliando as oportunidades de aprendizado e pesquisa na área da aerodinâmica.

O túnel de vento precisa passar por melhorias e aprimoramentos em etapas futuras para ser empregado de maneira mais eficaz como uma ferramenta pedagógica em testes da Mostra Brasileira de Foguetes (MOBFOG).

Desse modo, esse projeto pode contribuir para a formação de estudantes mais qualificados e para o avanço do conhecimento nessa área, promovendo a democratização do acesso a ferramentas de ensino e pesquisa de qualidade.

Referências Bibliográficas

BRESCI, Christian Salaro. **Caracterização do túnel de vento de baixo nível de turbulência e execução de experimento piloto para detecção de ondas Tollminen-Schlichting artificiais**. São Carlos: Universidade de São Paulo, 2019.

CAMPOS, Filipe Nascimento. DENADAI, Marcelo Grijó. **Projeto e construção do túnel de vento, simulação de descolamento da camada limite**. Vitória: Universidade Federal do Espírito Santo, 2005.

LANHI, Sandmara. **Análise numérica para baixos números de Mach ao redor de geometrias aerodinâmicas e não aerodinâmicas**. Pato Branco/PR: Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2014.

LINS, Davi Ribeiro. **Dimensionamento de um túnel de vento subsônico**. Fortaleza: Universidade Federal do Ceará, 2018.

TIBÚRCIO, Josias Palucio. RIZZO JÚNIOR, Márcio Alves. **Túnel de vento: projeto, construção e instrumentação**. Cachoeiro de Itapemirim: Instituto Federal do Espírito Santo, 2021.

QUEIROGA, Arthur de Lima. **Projeto de Túnel de Vento**. Brasília, DF: Universidade de Brasília – UnB; Faculdade UnB Gama – FGA, 2022.