



**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO
TOCANTINS
CAMPUS PALMAS
CURSO SUPERIOR DE ENGENHARIA CIVIL**

CAIO LUCAS DOS SANTOS

**PROJETO E CONSTRUÇÃO DE UM MINI TÚNEL DE VENTO DE BAIXO
CUSTO PARA FINS DIDÁTICOS EDUCACIONAIS**

**PALMAS-TO
2021**

CAIO LUCAS DOS SANTOS

**PROJETO E CONSTRUÇÃO DE UM MINI TÚNEL DE VENTO DE BAIXO
CUSTO PARA FINS DIDÁTICOS EDUCACIONAIS**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado como requisito parcial para
obtenção do Título de Bacharel do Curso
Superior de Engenharia Civil do Instituto
Federal de Educação, Ciência e Tecnologia
do Tocantins, Campus Palmas.

Orientador: Prof. Dr. Moacyr Salles Neto
Coorientadora: Prof.^a Dra. Liliane Flávia
Guimarães da Silva

**PALMAS-TO
2021**

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Bibliotecas do Instituto Federal do Tocantins

S237p Santos, Caio Lucas dos
PROJETO E CONSTRUÇÃO DE UM MINI TÚNEL DE VENTO
DE BAIXO CUSTO PARA FINS DIDÁTICOS EDUCACIONAIS / Caio
Lucas Dos Santos. – Palmas, TO, 2021.
90 f.

Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia
Civil) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do
Tocantins, Campus Palmas, Palmas, TO, 2021.

Orientador: Dr. Moacyr Salles Neto
Coorientadora: Dra. Liliane Flávia Guimarães da Silva

1. Túnel de vento. 2. Estruturas. 3. Educação. I. Neto, Moacyr
Salles. II. Silva, Liliane Flávia Guimarães da. III. Título.

CDD 624

A reprodução total ou parcial, de qualquer forma ou por qualquer meio, deste documento é
autorizada para fins de estudo e pesquisa, desde que citada a fonte.

**Elaborado pelo sistema de geração automática de ficha catalográfica do IFTO com os
dados fornecidos pelo(a) autor(a).**

FOLHA DE APROVAÇÃO

CAIO LUCAS DOS SANTOS

**PROJETO E CONSTRUÇÃO DE UM MINI TÚNEL DE VENTO DE BAIXO
CUSTO PARA FINS DIDÁTICOS EDUCACIONAIS**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado como requisito parcial
para obtenção do Título de Bacharel
do Curso Superior de Engenharia Civil
do Instituto Federal de Educação,
Ciência e Tecnologia do Tocantins,
Campus Palmas.

Aprovado em: 03 / 12 / 2021

BANCA AVALIADORA



Prof. Dr. Moacyr Salles Neto
Orientador



Prof.ª Dra. Liliane Flávia Guimarães da Silva
Coorientadora

Thiago Dias de Araújo e Silva
2021.12.10 16:05:58 -03'00'

Prof. Dr. Thiago Dias de Araújo e Silva
Examinador interno



Prof.ª MSc. Adriana Soraya Alexandria Monteiro
Examinadora interna

AGRADECIMENTOS

A Deus, por me dar força e provisão em todos os meus desafios.

Aos meus eternos mestres e professores, por toda a contribuição dada durante minha trajetória acadêmica.

Ao meu orientador Prof. Dr. Moacyr Salles Neto, pelo empenho de me auxiliarno desenvolvimento deste trabalho e pela sabedoria com a qual soube lidar com os temas e direcionamentos da pesquisa.

À minha coorientadora Prof. Dra. Liliane Flávia Guimarães da Silva, pela enorme prestatividade em tirar dúvidas, contribuir e apontar as devidas correções para a melhoria da pesquisa.

Aos meus pais Fausto e Léia, por todo o incentivo e amparo a mim ofertadosmesmo a distância.

Aos meus tios Fábio e Karine por toda a assistência fundamental para a conclusão do curso.

A todos os meus amigos, em especial o Davi Maciel, pelo auxílio disponibilizado na parte prática final do túnel.

A todos os demais amigos que fiz durante minha passagem pelo movimento estudantil do IFTO, em especial a equipe da Proae, Higor, Marilene e todos os estudantes que tive a oportunidade de conhecer e dialogar.

Ao Crésio Soares, gerente de vendas da empresa “Mundo dos Ferros”, que viabilizou com muito encargo e gentileza a doação das chapas de zinco galvalume para a confecção do corpo do túnel.

Ao Múcio, proprietário da empresa “On Madeiras” que ofertou de coração aberto a chapa de madeirite cola branca para as bases do túnel.

Em síntese, a todos que contribuíram de alguma forma para a concretizaçãodeste sonho: me tornar um engenheiro civil.

“A crise da educação no Brasil não é uma crise; é um projeto.”
(Darcy Ribeiro)

RESUMO

Os efeitos do vento sobre as edificações provocam uma diversidade de análises fundamentais para o dimensionamento das estruturas civis. Nesse sentido, o vento não era considerado um problema para construções térreas, pesadas e de paredes grossas, contudo tornou a ser, e de maneira gradativa, uma vez que os empreendimentos foram se tornando cada vez mais esbeltos e utilizando cada vez menos material nas estruturas. No Brasil, o cálculo das forças do vento é regido pela ABNT NBR 6123/1988, a qual impõe limites de sua aplicação. Para determinados tipos de projeto, a norma estabelece que são necessários estudos especiais para melhor analisar o comportamento do fluido. Assim, o túnel de vento surge como uma ferramenta analítica, criada para suprir a incapacidade de modelagens computacionais e matemáticas de representarem ações reais de forma fidedigna. Além disso, hoje no Brasil tem-se um panorama educacional de muitos desafios, atrelado a um cenário pós-pandêmico, no qual busca-se estratégias que valorizem e incentivem o processo de ensino e aprendizagem na prática dos estudantes. Com base nessa perspectiva, o presente trabalho apresenta o projeto e a construção de um mini túnel de vento de baixo custo para fins didáticos educacionais. Inicialmente projetado para ser construído com a utilização de fôrma de pilar circular e sucata de ventilador de ar condicionado, devido a problemas logísticos e de elevação de custos, a pesquisa sofreu algumas alterações de seus materiais componentes projetados. A fôrma de pilar inicialmente pensada teve de ser substituída por chapas de zinco galvanizado, mais acessíveis e baratas, chegando-se ao custo final de R\$219,37. Com o auxílio de materiais doados por empresas e do uso de itens disponíveis no próprio Instituto, o equipamento fabricado resultou em características de um túnel de circuito aberto do tipo soprador, com 60cm de diâmetro e 3m de comprimento. Para mais, realizou-se ensaios iniciais no protótipo utilizando o modelo kit mola estrutural, cujo qual foram testadas duas configurações de pórtico. As disposições com e sem contraventamento foram submetidas a ensaios em três posições diferentes: 0°, 45° e 90°. Assim, a partir do experimento e da comparação de vídeos produzidos, foi possível visualizar que na posição de 90° o modelo contraventado apresentou maior rigidez de movimentação quando comparado ao pórtico sem contraventamento. Já nas posições 0° e 45°, os modelos apresentaram comportamentos ambíguos, devido à dificuldade de diferenciação visual. Por fim, acredita-se ter produzido uma ferramenta institucional para o uso didático, capaz de contribuir para o ensino, pesquisa e extensão no âmbito do IFTO - Campus Palmas.

Palavras-chave: Vento. Estruturas. Educação. NBR 6123. Túnel de vento didático.

ABSTRACT

The effects of wind on buildings lead to a variety of fundamental analyzes for the design of civil structures. In this sense, the wind was not considered a problem for single-storey, heavy and thick-walled constructions, however it did come back to be, and gradually, as projects became increasingly slimmer and used less and less material in the structures. In Brazil, the calculation of wind forces is governed by ABNT NBR 6123/1988, which imposes limits on its application. For certain types of projects, the standard establishes that special studies are needed to better analyze the fluid's behavior. Thus, the wind tunnel appears as an analytical tool, created to overcome the incapacity of computational and mathematical modeling to reliably represent real actions. Furthermore, today in Brazil there is an educational panorama of many challenges, linked to a post-pandemic scenario, in which strategies are sought that value and encourage the teaching and learning process in the practice of students. Based on this perspective, this work presents the design and construction of a low-cost mini wind tunnel for educational teaching purposes. Initially designed to be built with the use of circular pillar formwork and air conditioning fan scrap, due to logistical problems and rising costs, the research underwent some changes in its projected component materials. The pillar formwork initially designed had to be replaced by more accessible and cheaper galvalume zinc sheets, reaching a final cost of R\$219.37. With the help of materials donated by companies and the use of items available at the Institute itself, the equipment manufactured has the characteristics of a blower-type open circuit tunnel, 60cm in diameter and 3m in length. Furthermore, initial tests were carried out on the prototype using the structural spring kit model, in which two frame configurations were tested. The dispositions with and without bracing were submitted to tests in three different positions: 0°, 45° and 90°. Thus, from the experiment and the comparison of videos produced, it was possible to see that in the 90° position the braced model presented greater movement stiffness when compared to the frame without bracing. In the 0° and 45° positions, the models presented ambiguous behavior, due to the difficulty of visual differentiation. Finally, it is believed to have produced an institutional tool for didactic use, capable of contributing to teaching, research and extension within the scope of the IFTO - Campus Palmas.

Keywords: Wind. Structures. Teaching. NBR 6123. Didatic Wind Tunnel.

LISTA DE SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
BIM	Building Information Modeling / Modelagem da Informação da Construção
IES	Instituições de Ensino Superior
IFTO	Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Tocantins
IPT	Instituto de Pesquisas Tecnológicas
LACAF	Laboratório de Conforto Ambiental e Física Aplicada
NASA	National Aeronautics and Space Administration / Administração Nacional Aeronáutica e Espacial dos Estados Unidos
NBR	Norma Brasileira
MTV	Mini Túnel de Vento
TCC	Trabalho de Conclusão de Curso
UFPA	Universidade Federal do Pará
UFRGS	Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Unicamp	Universidade Estadual de Campinas

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Bola de tênis se movendo pelo ar em um túnel de vento	15
Figura 2 - Oscilação torsional da Ponte Tacoma Narrows.....	18
Figura 3 - Galpão 01 colapsado pelo vento	18
Figura 4 - Galpão 02 colapsado pelo vento	19
Figura 5 - Colapso do Edifício Real Class no Brasil	19
Figura 6 - Força tangencial constante agindo sobre um fluido	22
Figura 7 - escoamento unidimensional de um fluido na seção.....	23
Figura 8 - Caracterização da camada limite	24
Figura 9 - Túnel de vento “Blessmann” pioneiro na América Latina	25
Figura 10 - Planta baixa do circuito aerodinâmico Prof. Blessmann.....	26
Figura 11 - Fluxograma resumo de classificação dos túneis de vento	28
Figura 12 - Ventilador axial propulsor	29
Figura 13 - Ventilador centrífugo de pás curvadas para frente.....	29
Figura 14 - Tipos de colmeias ilustradas	30
Figura 15 - Ilustração de um bocal de entrada com redução de seção	31
Figura 16 - Ábaco do coeficiente de arrasto para edificações paralelepípedas em vento de baixa turbulência.....	33
Figura 17 - Isopletas da velocidade básica V_0 (m/s)	34
Figura 18 - Maquete do edifício Jorge Coelho no ensaio de túnel de vento	36
Figura 19 - (a) Hospital Rede Sarah em Belém, (b) modelo em miniatura para ensaio	36
Figura 20 - Pontos de medição localizados nos sheds.....	37
Figura 21 - (a) Modelo reduzido de área urbana sem vegetação, (b) com vegetação, (c) com vegetação e aproximado	37
Figura 22 - Fluxograma Geral de Pesquisa.....	38
Figura 23 - Fluxograma de andamento da 1ª Fase	40
Figura 24 - Fluxograma de fechamento da 2ª Fase.....	42
Figura 25 - Vista 3D do túnel de vento	44
Figura 26 - Vista 3D rotacionada	45
Figura 27 - Planta baixa do mini túnel de vento.....	45
Figura 28 - Vista lateral do MTV-IFTO.....	46
Figura 29 - Seções transversais do túnel	46
Figura 30 - Imagem fotorrealística do túnel de vento situado no Laboratório de Fenômenos dos Transportes do IFTO.....	47
Figura 31 - Ilustrações de fôrmas circulares de papelão para concreto	48
Figura 32 - Obra comercial com pilares circulares na fachada em Palmas-TO.....	49
Figura 33 - Chapa de zinco galvalume do tipo bobina.....	50
Figura 34 - Sucatas de ventiladores de sala de aula	50
Figura 35 - Sucatas de ventiladores de ar condicionado	51
Figura 36 - Plástico flexível transparente.....	52
Figura 37 - Plástico flexível transparente.....	53
Figura 38 - Marcação e corte do compensado com serra tico-tico	53
Figura 39 - Seções transversais do túnel com base	54
Figura 40 - Confeção da mesa de experimentação com redução do diâmetro.....	54
Figura 41 - (a) Detalhe da mesa, (b) encaixe no tubo de PVC	55
Figura 42 - Representação dos cortes realizados na chapa de zinco	55
Figura 43 - (a) Posicionamento da chapa na mesa, (b) tesoura para corte de chapa	56

Figura 44 - (a) Chapas cortadas, (b) dobra no zinco, (c) emendas rebitadas.....	56
Figura 45 - (a) Adequação da chapa a seção, (b) corte na seção de testes com lixadeira, (c) seção de testes cortada.....	57
Figura 46 - Túnel de vento ao chegar no campus	57
Figura 47 - Sucatas de ventiladores testados na pesquisa	58
Figura 48 - (a) Adaptações elétricas no ventilador, (b) tomada do sistema de propulsão.....	59
Figura 49 - Sentido de rotação e impulso manual no ventilador.....	59
Figura 50 - Características de fábrica do motor do ventilador utilizado	60
Figura 51 - (a) Lâmpada tubular LED, (b) rabicho de lâmpada, (c) interruptor externo simples, (d) plugue macho para ligar a iluminação da mesa de testes	60
Figura 52 - Cabine de testes com iluminação interna.....	61
Figura 53 - (a) Dobradiças de porta, (b) abertura do compartimento, (c) seção de testes fechada.	61
Figura 54 - Solvente aguarrás e tinta esmalte sintético para madeira.....	62
Figura 55 - (a) Pintura do material compensado, (b) 1º demão aplicada.....	62
Figura 56 - Túnel de vento finalizado	63
Figura 57 - Pontos de medição da velocidade do ar no túnel.....	65
Figura 58 - Anemômetro com vazão de ar	66
Figura 59 - (a) Medição da velocidade em P1, (b) medição da velocidade em P2...	66
Figura 60 - Simulação das cargas incidentes na estrutura como o uso do dedo.....	67
Figura 61 - (a) Pórtico a 0° sem contraventamento, (b) pórtico contraventado.....	68
Figura 62 - (a) Pórtico a 0° sem contraventamento, (b) pórtico contraventado.....	68
Figura 63 - (a) Pórtico a 90° sem contraventamento, (b) pórtico contraventado.....	69
Figura 64 - Deformação de pórticos 2D submetidos a carga pontual e linearmente distribuída.....	70

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Classificação dos túneis de vento em função do número Match	27
Tabela 2 - Coeficiente de perda de carga associado ao tipo de colmeia.....	30
Tabela 3 - Custos Finais do Mini Túnel de Vento Do IFTO (sem considerar mão de obra).....	64

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Classificação da Pesquisa.....	39
--	----

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
1.1	PROBLEMA DE PESQUISA.....	16
1.2	JUSTIFICATIVA	17
1.3	OBJETIVOS	21
1.3.1	Objetivo Geral.....	21
1.3.2	Objetivos Específicos.....	21
2	REVISÃO DE LITERATURA	22
2.1	Mecânica dos fluidos	22
2.2	Os primeiros túneis de vento.....	25
2.3	Tipologias de túneis de vento.....	26
2.3.1	Geometria ou circuito	26
2.3.2	Velocidade do fluxo.....	26
2.3.3	Sentido de escoamento	27
2.4	Componentes de um túnel de vento.....	28
2.4.1	Seção de testes	28
2.4.2	Sistema de propulsão	28
2.4.3	Sistema de estabilização	30
2.4.4	Bocal de entrada e saída	31
2.5	NBR 6123 e as forças horizontais devido ao vento	31
2.5.1	Coeficiente de arrasto (C_a).....	32
2.5.2	Pressão dinâmica (q)	33
2.5.3	Velocidade característica (V_k).....	34
2.6	Ensaio realizados em túneis de vento no Brasil.....	35
2.6.1	Edifício Jorge Coelho em São Paulo - SP	35
2.6.2	Rede de Hospitais Sarah Kubitschek	36
2.6.3	Área Urbana Bairro São José	37
3	PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	38
3.1	Caracterização da Pesquisa	39
3.2	Primeira Etapa	40
3.3	Segunda Etapa.....	41
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	44
4.1	Modelagem do projeto no software	44
4.2	Aquisição dos materiais	47
4.3	Etapas construtivas do túnel	52
4.4	Somatório dos custos de projeto	63
4.5	Medição da velocidade do vento no túnel	65
4.6	Ensaio utilizando o modelo kit mola estrutural.....	67

5	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	71
5.1	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	72
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	73
	APÊNDICES	78

1 INTRODUÇÃO

O impacto do vento nas edificações proporciona uma série de análises e estudos indispensáveis para o dimensionamento das estruturas. Nesse sentido, o conhecimento das características aerodinâmicas incidentes torna-se fundamental para a concepção de diversos projetos.

De acordo com Brasil e Silva (2013, p. 17), “os movimentos oscilatórios podem levar a reações e a esforços internos solicitantes maiores que os determinados estaticamente” devendo-se, portanto, pensar em situações de análise dinâmica das estruturas civis, a exemplo do efeito do vento sobre as estruturas, do efeito de sismos, do movimento rítmico de pessoas, veículos entre outros.

Para mais, Brasil e Silva (2013) alegam também que as contribuições de Isaac Newton, por meio da estruturação da mecânica clássica, possibilitaram o refinamento crescente dos aparatos matemáticos de modelagem desses fenômenos físicos. Nesse sentido, embora existam importantes ferramentas de análise computacional da incidência e dos efeitos causados pelo vento, ainda persistem certas limitações, por isso, nem todas as situações requeridas de projeto podem ser simuladas. Com base nessa perspectiva, Núñez, Loredou-Souza e Rocha (2012, p. 12) afirmam que “a melhor ferramenta analítica para o estudo das ações e efeitos do vento durante a fase de projeto e desenvolvimento de um produto é o túnel de vento”.

Para Campos e Denadai (2005, p. 23) o túnel de vento apareceu como uma alternativa à ausência de uma modelagem fidedigna dos modelos matemáticos:

O túnel de vento surgiu então como uma opção a este modelo completamente empírico, inserindo dados reais captados com modelos em miniatura ou até em alguns casos com protótipos em tamanho real. Ele também pode ser utilizado para validar modelos matemáticos de escoamento em torno de corpos.

Além disso, cabe salientar que os *softwares* de modelagem computacional têm como ponto de partida inicial coeficientes aerodinâmicos obtidos em estudos experimentais de túneis de vento.

Em termos de normativas técnicas no país, o item 1.2 da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), em sua NBR 6123 - “Forças devido ao vento nas edificações” (ABNT, 1988) afirma que a mesma não é aplicável a edificações de formas, dimensões ou localização fora do comum, sendo necessário nestes casos a

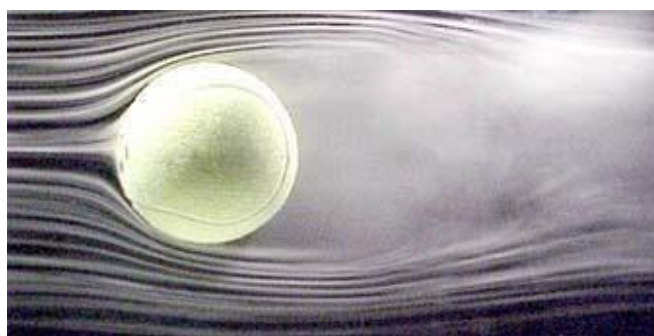
realização de estudos especiais para determinar as forças do vento e seus efeitos.

Ademais, o documento estabelece que os resultados experimentais obtidos em túnel de vento podem ser usados para substituir os coeficientes de cálculo presentes na norma.

Segundo Davenport (1998, p. 7), as forças aerodinâmicas do vento atuando sobre as estruturas podem ser classificadas em três categorias: o carregamento externo induzido, provocado pelas rajadas de vento naturalmente turbulentas que se achegam, as forças geradas pelos fluxos de instabilidade, como separações, reconexões e geração de vórtices, e a terceira causada pela excitação do corpo em movimento; a deflexão da estrutura que gera forças fluidas no seu entorno.

Conceitualmente, a *National Aeronautics and Space Administration* (NASA) define de maneira genérica os túneis de vento como sendo grandes tubos com ar circulando por dentro, usados para reproduzir as ações de um objeto em voo, como mostra a Figura 1, a seguir.

Figura 1 - Bola de tênis se movendo pelo ar em um túnel de vento



Fonte: NASA (2017).

Em relação aos aspectos construtivos de um túnel de vento, Pravia e Coronetti (2003) atestam que várias alterações foram necessárias para construir um equipamento de baixo custo, sendo gasto um total de U\$ 200,00 (duzentos dólares americanos) para produzir uma versão reduzida do túnel.

Atrelado a isso, e diante de um novo contexto socioeducacional e econômico criado pela pandemia da Covid-19, especialistas da educação têm alertado para os desafios do retorno escolar, dentre eles, os impactos emocionais e a elevação dos riscos de abandono e evasão. Nesse sentido, Peres (2020) afirma que uma das maiores preocupações deste cenário pós-pandêmico, para as escolas e universidades, está na obtenção de estratégias motivacionais, tanto para os estudantes quanto para os docentes, em virtude do distanciamento e das alterações

no processo didático.

Nessa linha, portanto, o presente trabalho irá apresentar o projeto e os procedimentos realizados para a construção de um mini túnel de vento cilíndrico de baixo custo, para fins didáticos educacionais. Inicialmente projetado para utilização de fôrma de pilar circular e sucata de ventilador de ar condicionado, devido a problemas logísticos e de elevação de custos, o túnel sofreu algumas alterações de seus componentes previstos. A fôrma de pilar circular, inicialmente planejada, foi substituída por um tubo feito com chapas de zinco galvalume emendadas com rebites e calandradas. Após finalizado, o levantamento de custos feito apontou gastos na ordem de R\$ 219,37 (duzentos e dezenove reais e trinta e sete centavos), o que se mostrou uma pesquisa de baixo custo, em virtude da doação de materiais por parte de empresas e do uso de itens existentes na Instituição. No interior do túnel, realizou-se ensaios utilizando o modelo kit mola estrutural, onde determinou-se duas configurações de pórtico. O modelo sem contraventamento e o molde contraventado foram submetidos à três situações de vento: 0°, 45° e 90°. Para o experimento a 90°, a visualização dos conceitos relativos à engenharia de estruturas mostrou-se extremamente satisfatória. Já nas posições a 0° e 45° os ensaios mostraram-se ambíguos e de difícil interpretação visual.

Por conseguinte, o intuito final do projeto, foi fazer com que o equipamento construído sirva de estratégia motivadora e ferramenta auxiliar qualitativa no processo de ensino e aprendizagem dos estudantes de engenharia no âmbito do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Tocantins, Campus Palmas (IFTO).

1.1 PROBLEMA DE PESQUISA

Dentre as diversas problemáticas educacionais a serem enfrentadas no Brasil hoje, as Instituições de Ensino Superior (IES) “têm sido estimuladas a refletir acerca das mudanças do processo da educação, reconhecer seu papel social e enfrentar seus desafios, entre os quais o de romper com estruturas cristalizadas e modelos de ensino tradicional” (SOUZA; IGLESIAS; PAZIN-FILHO, p. 285, 2014, *apud* BATISTA *et al*, 2017, p. 1). Entre tais atributos, pode-se destacar o estímulo ao uso de metodologias ativas, de laboratórios práticos para a realização de ensaios e o uso cada vez maior dos recursos tecnológicos como aliados do conhecimento, a exemplo do avanço da tecnologia BIM (Building Information Modelling) e dos mecanismos de

realidade aumentada no setor da Construção Civil.

Para tanto, aponta-se como problemática do trabalho a dificuldade por parte dos estudantes de engenharia em abstrair e visualizar, a partir de uma percepção real e motivadora, a deformação dos modelos estruturais ocasionadas pela ação do vento. Assim, apresenta-se como problema de pesquisa a seguinte formulação:

como simular a incidência do vento sobre as estruturas de uma edificação e ao mesmotempo contribuir para o processo de visualização, ensino e aprendizagem na prática dos estudantes de engenharia?

1.2 JUSTIFICATIVA

De acordo com Wahrhaftig (2017), o vento não era um problema em construções baixas, pesadas e de paredes grossas, todavia tornou a ser, e em medida crescente, uma vez que as construções foram-se tornando cada vez mais esbeltas e usando cada vez menos material nas estruturas. Segundo Standerski (2012), o acidente mais conhecido, pelo fato de ter sido registrado em vídeo e outras imagens, e que se tornou simbólico da necessidade de um estudo mais minucioso em relação aos efeitos da ação do vento é o da Ponte Tacoma Narrows, nos Estados Unidos. Em 7 de novembro de 1940, a Ponte de Tacoma apresentou em seu vão central um movimento combinado de esforços de flexão e torção, em virtude da interação vento-estrutura, o que provocou deficiências estruturais em função das vibrações e do fenômeno de ressonância, levando a ponte ao colapso. Segundo Mazarim (2011), a ponte ruiu por oscilação torsional no tabuleiro. A Figura 2, a seguir, ilustra a ponte em seu momento de oscilação em virtude da incidência do vento. O fato intrigante na época, como relata Standerski (2012), foi que as rajadas de vento no momento do acidente eram menores que 70 km/h.

Rocha e Botega (2017) relataram os graves acidentes causados pela passagem de uma tempestade na cidade de Tubarão, Santa Catarina, causando prejuízos para diversas casas e galpões da região, a partir de um aumento de 24% nas cargas de vento produzidas em comparação à velocidade básica do vento apontada no gráfico da NBR 6123 (ABNT, 1988). Dentre as estruturas estudadas, apresentou-se um caso de um galpão que obteve 6 pilares colapsados com danos em mais outros três, somado a destruição de quase 70% da sua cobertura. A Figura 3 ilustra imagens desse desastre ocorrido.

Figura 2 - Oscilação torsional da Ponte Tacoma Narrows



Fonte: Senem (2016).

Figura 3 - Galpão 01 colapsado pelo vento



Fonte: Adaptado de Rocha e Botega (2017).

Em outro galpão, o autor narra que a proximidade das obras adjacentes provocou o afunilamento da rajada de vento, a qual resultou em vórtices internos, os quais levaram à queda da estrutura de cobertura e a destruição das suas paredes de alvenaria. De acordo com Gonçalves (2004) *apud* Rocha e Botega (2017) esse fenômeno é denominado como efeito de Venturi, que consiste na convergência de um fluxo turbulento de ar em função da proximidade das edificações, provocando a aceleração do vento e alterando seus coeficientes de pressão. O caso citado é mostrado na Figura 4.

Figura 4 - Galpão 02 colapsado pelo vento



Fonte: Rocha e Botega (2017).

Tapajós *et al* (2016) relatam também outro acidente estrutural e um dos maiores envolvendo edifícios de concreto armado registrados no Brasil. Em 29 de janeiro de 2011, na cidade de Belém, Pará, ocorreu uma chuva com fortes ventos atuantes, os quais resultaram na ruína do prédio que estava em fase de construção, matando fatalmente 3 pessoas. A Figura 5 a seguir mostra o edifício antes e depois do colapso:

Figura 5 - Colapso do Edifício Real Class no Brasil



Fonte: Tapajós *et al* (2016).

De acordo com os autores, o edifício era composto por 01 pavimento subsolo, 01 pavimento térreo e 35 pavimentos elevados com altura total de cerca de 105m. A torre teve seu peso estimado em 9 mil toneladas sendo resistidos por 25 pilares. Ainda segundo Tapajós *et al* (2016) foram realizados estudos por equipes da Universidade

Federal do Pará (UFPA) as quais indicaram várias falhas de projeto quanto ao cálculo e dimensionamento das ações horizontais do vento. Tais fatores comprometeram rigorosamente a rigidez e a estabilidade do edifício, levando-o a ruína, e servindo de alerta para todo o meio técnico e acadêmico brasileiro.

Segundo o Portal G1 do Pará (2016), na decisão judicial que condenou o engenheiro responsável, o Juiz alegou que o projetista “não considerou as cargas horizontais, tanto as decorrentes da ação do vento, como do próprio desequilíbrio da estrutura assimétrica, quando submetida ao peso próprio”. Em estruturas esbeltas, o vento é uma das principais ações a ser considerada (DYRBYEN E HANSEN 1997 *apud* TAPAJÓS *et al* 2016).

Para Costa, Silva e Assayag (2013), o emprego de túneis de vento para analisar os fenômenos aerodinâmicos ocorre a fim de obter segurança, confiabilidade, eficiência e a redução de custos de projeto.

Em relação as despesas para a execução de um protótipo, Coutinho (2014) afirma que os túneis de vento de circuito aberto possuem um custo de construção consideravelmente mais baixo quando comparados aos de circuito fechado.

Chaves e Amaral (2015) afirmam que o Brasil é um dos países que contém grandes desafios para solucionar os problemas existentes na área da educação. Nesse sentido, “o desafio em termos de qualidade do ensino de engenharia está baseado em buscar um novo modelo que incorpore as mudanças tecnológicas e sociais e ofereça alternativas que valorizem o processo de ensino e aprendizagem.” (COLENCI, p. 3, 2000).

Dessa forma, o respectivo projeto de construção de um mini túnel de vento surgiu da necessidade de se contribuir didaticamente para as disciplinas do curso de Engenharia Civil do IFTO - Campus Palmas, a fim de proporcionar uma ferramenta institucional de baixo custo para a realização de aulas práticas, simulações, ensaios e análises em mecânica dos fluidos, auxiliando para o avanço de estudos técnicos no setor da aerodinâmica das construções. Espera-se, com isso, obter mais uma adição aos equipamentos já existentes nos Laboratórios do Instituto para aplicação didática. Acredita-se assim, que tal ferramenta contribuirá para a melhoria do ensino e para o desenvolvimento de trabalhos futuros sobre o tema, fortalecendo linhas de pesquisa com o foco nesse setor.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo Geral

Projetar e construir um mini túnel de vento cilíndrico, de circuito aberto, e de baixo custo, como ferramenta de uso didático nas disciplinas do curso de engenharia civil para visualização qualitativa da deformação causada pelo vento nas estruturas, utilizando fôrma de pilar circular e sucata de ventilador de ar condicionado.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Obter um custo final de projeto que seja igual ou inferior a um salário-mínimo, expondo por meio de tabelas seu orçamento;
- Realizar ensaios de simulação utilizando kit estrutural mola para visualização da deformação causada pelo vento no modelo;
- Realizar vídeos mostrando o funcionamento do túnel;
- Produzir um manual de apresentação do equipamento didático.

2 REVISÃO DE LITERATURA

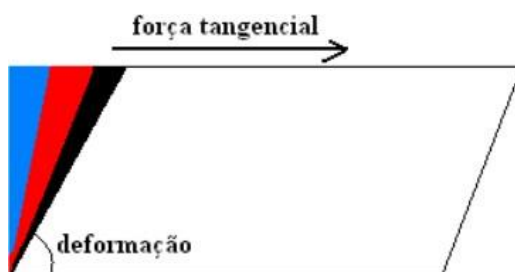
2.1 Mecânica dos fluidos

Por equivalência dos conceitos existentes na análise do impacto do vento sobre as estruturas é importante também conhecer os princípios que regem o comportamento dos fluidos. Brunetti (2008, p. 1) afirma que:

Mecânica dos Fluidos é a ciência que estuda o comportamento físico dos fluidos, assim como as leis que regem esse comportamento. [...] A definição de fluido é introduzida, normalmente, pela comparação dessa substância com um sólido. A definição mais elementar diz: Fluido é uma substância que não tem uma forma própria, assume o formato do recipiente.

Outra definição mais complexa diz que “Pode-se definir fluido como uma substância que se deforma continuamente, isto é, escoar, sob ação de uma força tangencial por menor que ela seja”. (GOMES, 2012). Nesse sentido, os conceitos referentes à não obtenção de uma nova configuração de equilíbrio estático envolvem os líquidos (água) e os gases (ar), como mostra a Figura 6 a seguir.

Figura 6 - Força tangencial constante agindo sobre um fluido



Fonte: Gomes (2012).

Além disso, Pitta (1987) narra a respeito do Teorema de Conservação da Massa, reafirmando que um fluido em movimento deve satisfazer à equação da perda, isto é, a massa de fluido que entra deve ser igual a massa de fluido que sai em um elemento de volume, somado a variação contida durante um determinado intervalo de tempo. O vento, segundo Pitta (1987), pode ser considerado contínuo e incompressível até a ordem de 300km/h, o que abrange todos os casos de análise do vento de interesse da engenharia de estruturas. Dessa maneira, a massa específica é a mesma, tanto na entrada quanto na saída de um túnel por exemplo. As Equações 1, 2 e 3 a seguir resumem matematicamente esse Teorema.

$$Q_{m1} = Q_{m2} \quad (\text{Equação 1})$$

$$\rho_1 \cdot V_1 \cdot A_1 = \rho_2 \cdot V_2 \cdot A_2 = \rho V A = cte \quad (\text{Equação 2})$$

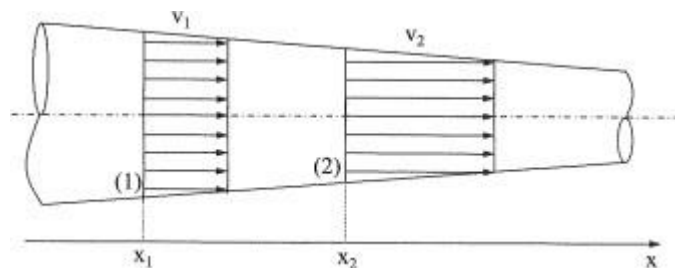
$$V_1 \cdot A_1 = V_2 \cdot A_2 = V A = cte \quad (\text{Equação 3})$$

Onde:

- Q_m = vazão do fluido em massa
- V = velocidade do escoamento
- A = área da seção transversal
- ρ = massa específica do fluido

A Figura 7, a seguir, mostra graficamente a variação da velocidade do fluido quando há alteração na área da seção transversal, ou seja, o aumento da velocidade com a diminuição da seção:

Figura 7 - Escoamento unidimensional de um fluido na seção



Fonte: Brunetti (2008, p. 71)

De acordo com Coutinho (2014), outro parâmetro importante para o projeto do túnel de vento é o número de Reynolds (Re), que é dado pela razão entre as forças de inércia e as forças viscosas. A partir dele pode-se deduzir as velocidades que podem ser alcançadas dentro do túnel como mostra a Equação 4 a seguir.

$$Re = \rho V L / \mu \quad (\text{Equação 4})$$

Onde:

- ρ = massa específica do ar ambiente
- V = velocidade do escoamento
- L = comprimento característico
- μ = viscosidade do ar ambiente

Brunetti (2008, p.69) também classifica a partir das experiências de Reynolds em 1883 que:

Escoamento laminar é aquele em que as partículas se deslocam em lâminas individualizadas, sem trocas de massa entre elas. [...] Escoamento turbulento é aquele em que as partículas apresentam um movimento aleatório macroscópico, isto é, a velocidade apresenta componentes transversais ao movimento geral do conjunto do fluido.

Outro embasamento teórico que se deve considerar são os estudos envolvendo o escoamento na camada limite, definida como “uma região adjacente a uma superfície sólida na qual as forças viscosas são importantes” (COUTINHO, p.15, 2014). Para Rocha (2019), os estudos sobre a camada limite exercem grande influência no movimento relativo do fluido na região de escoamento do mesmo, quando em contato com um corpo sólido, em função do atrito existente entre eles. Segundo o autor, a influência do atrito é tal que pode modificar o tipo de escoamento na região. Enquanto no regime laminar o movimento é suave e uniformizado, o turbulento é perturbado e não uniforme. Assim, as características conhecidas do fluido como densidade, velocidade e viscosidade são decisivas no cálculo do número de Reynolds para definir o tipo de regime existente. De acordo com Melaragno (1982) *apud* Camargo (2011), em climas quentes a densidade e a viscosidade do ar podem ser consideradas constantes, ficando o número de Reynolds como função direta da velocidade do vento e da forma do corpo.

A Figura 8 a seguir introduz didaticamente a camada limite apresentando suas condições de entorno:



Fonte: Miley (1982) *apud* Rocha (2019).

Tapajós *et al* (2016) relatam que as variações de pressão do vento dependem não só do tempo de rajada, mas também do regime de escoamento (turbulência), e podem fazer com que a estrutura sofra oscilações dinâmicas, levando à fadiga.

2.2 Os primeiros túneis de vento

Historicamente Gorecki (1998) aponta que o primeiro túnel de vento registrado no mundo foi construído por um grupo de engenheiros aeronáuticos da Grã-Bretanha no ano de 1871. Inicialmente focado apenas nas avaliações experimentais de projetos aeroespaciais, os túneis de vento passaram a alcançar novos rumos e a abranger diversas aplicações. Starderski (2012) afirma que na década de 1960 houve um avanço significativo no estudo das ações do vento em virtude das pesquisas que envolviam a elaboração do projeto do *World Trade Center* em Nova Iorque. No Brasil, o túnel de vento “Prof. Joaquim Blessmann”, da Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS, foi o pioneiro na América Latina, tendo suas atividades iniciadas em 1973 e entrando em operação desde 1977 como afirma Jr Carril (2004).

Nacionalmente, além de ser o precursor, o túnel de vento “Prof. Blessmann” atuou como base para a formulação da NBR 6123 (ABNT, 1988) e é mostrado na Figura 9 a seguir.

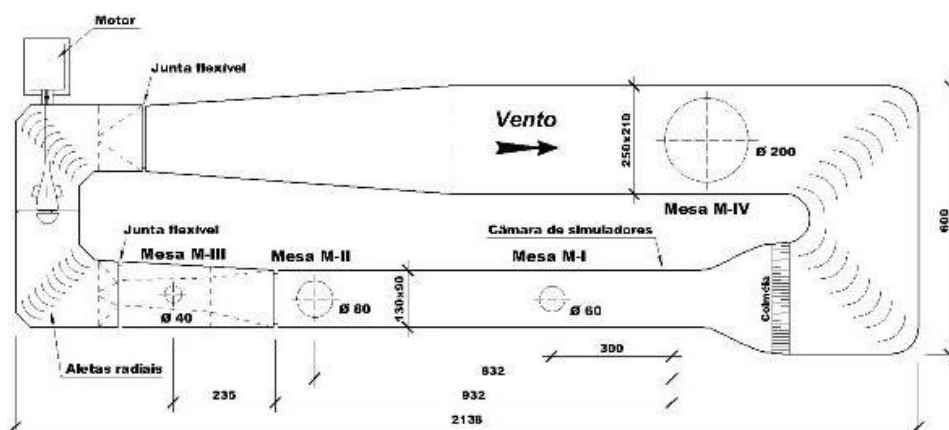
Figura 9 - Túnel de vento “Blessmann” pioneiro na América Latina



Fonte: UFRGS (2020).

Núñez, Loredou-Souza e Rocha (2012) afirmam que o túnel “Blessmann” é um modelo de circuito fechado elaborado exclusivamente para reproduzir ensaios estáticos e dinâmicos de construções civis em miniatura, permitindo a simulação das principais características dos ventos naturais incidentes. A Figura 10 a seguir mostra o desenho esquematizado do túnel que impulsionou os trabalhos da área no Brasil:

Figura 10 - Planta baixa do circuito aerodinâmico Prof. Blessmann



Túnel de Vento Prof. Joaquim Blessmann

Dimensões em [cm]

Fonte: UFRGS (2020).

2.3 Tipologias de túneis de vento

Carminatti e Konrath (2019) certificam que a maioria dos autores classificam os túneis de vento de acordo com a sua geometria ou circuito, velocidade do fluxo e sentido de escoamento. Nessa lógica, apresenta-se a seguir as definições de cada uma dessas tipologias citadas:

2.3.1 Geometria ou circuito

Em relação à geometria do túnel, Carminatti e Konrath (2019, p. 19) afirmam ainda que existem dois tipos:

Os de circuito aberto e os de circuito fechado. Em um túnel de circuito aberto, o fluxo de ar é puxado da atmosfera por uma extremidade e passa por todo o túnel até retornar à atmosfera pela outra extremidade. [...] Já, em um túnel de circuito fechado o fluxo de ar circula dentro do túnel constantemente, de forma que o escoamento que passou pela seção de teste entre novamente no sistema através de dutos.

2.3.2 Velocidade do fluxo

Em relação ao movimento do fluido “os túneis de vento são frequentemente identificados de acordo com uma relação existente entre a velocidade do som e a velocidade do escoamento.” (CARMINATTI e KONRATH, p. 20, 2019).

Visconti (2016) descreve que o número de Mach (Ma) é o valor obtido pela relação de velocidades: a de escoamento do fluido e a velocidade do som, como

mostra a Equação 5 a seguir.

$$Ma = v/c \quad (\text{Equação 5})$$

Onde:

- v = Velocidade do escoamento do fluido
- c = Velocidade do som

A Tabela 1 a seguir classifica os túneis de vento em função dos resultados obtidos pelo número de Match:

Tabela 1 - Classificação dos túneis de vento em função do número Match

Classificação	Ma
<i>Subsônico</i>	< 1
<i>Sônico ou Transônico</i>	$= 1$
<i>Supersônico</i>	> 1
<i>Hipersônico</i>	$>> 1$

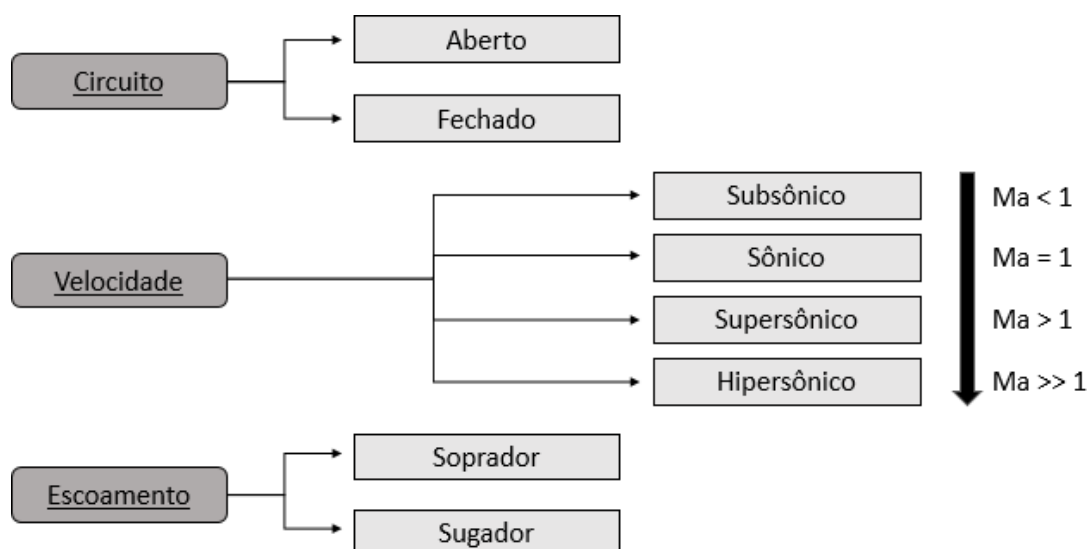
Fonte: Adaptado pelo autor de Carminatti e Konrath (2019).

2.3.3 Sentido de escoamento

SANTOS *et al* (2014) classificam ainda dois tipos os túneis de vento de acordo com a sua forma e sentido de escoamento:

- Túnel sugador ou *suckdown*: possui a entrada aberta para a atmosfera, e o ventilador axial ou centrífugo é instalado após a seção de testes;
- Túnel soprador ou ventilador: possui a hélice de rotação instalada na entrada do túnel que empurra o ar para dentro durante todo o seu corpo;

A Figura 11 a seguir apresenta o resumo das classificações dos túneis de vento em conformidade com as suas três características principais:

Figura 11 - Fluxograma resumo de classificação dos túneis de vento

Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

2.4 Componentes de um túnel de vento

Os componentes de um túnel de vento são formados pela seção de testes, pelo sistema de propulsão, pelo sistema de estabilização e pelos bocais de entrada e saída.

2.4.1 Seção de testes

Coutinho (2014) ressalta que a seção de testes é o local do túnel onde os corpos são testados e posicionados para a experimentação. Assim, suas divisórias devem ser projetadas de tal forma que permitam a visualização interna dos elementos e o seu manuseio, de maneira a não produzir a perturbação do escoamento. Somado a isso, o autor destaca a importância de uma iluminação adequada para a seção durante os processos de testes.

2.4.2 Sistema de propulsão

O sistema de propulsão é composto pela junção do ventilador com o equipamento de geração de potência, isto é, o motor. Tal sistema é responsável por impulsionar o ar através do túnel, devendo proporcionar a vazão de fluido necessária e superar as perdas existentes. Coutinho (2014) afirma que existem dois tipos de ventiladores usados para os túneis de vento: o axial e o centrífugo. Tais tipologias de equipamentos são mostrados na Figura 12 e 13 a seguir.

Figura 12 - Ventilador axial propulsor



Fonte: Pérez (2014).

Figura 13 - Ventilador centrífugo de pás curvadas para frente



Fonte: Pérez (2014).

Rocha (2019, p. 12) reitera a importância das hélices, que consistem no conjunto de pás ou aletas interligadas, para gerar resultantes de empuxo no sistema. Para o autor, o funcionamento das hélices que formam o ventilador só pode ser entendido pela compreensão do conceito que constitui um aerofólio:

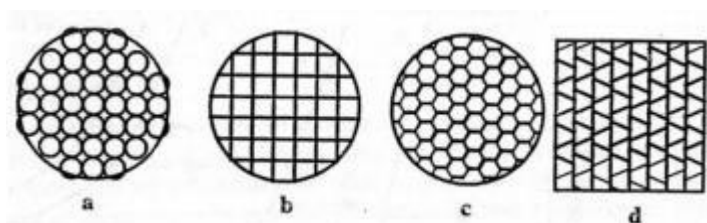
Este é um dispositivo mecânico destinado à sustentação aerodinâmica por dois meios diferentes. Mecanicamente, pela terceira lei de Newton, o aerofólio pode ser operado com uma inclinação relativa ao fluxo de ar, fazendo com que o ar seja defletido para a parte inferior do aerofólio. Como o aerofólio produziu uma força capaz de mudar a direção do ar, este exercerá sobre o aerofólio uma força de igual intensidade, mas de direção oposta. Por outro lado, podem ainda possuir diferentes perímetros para suas partes inferior e superior, proporcionando sustentação pela Equação de Bernoulli.

Coutinho (2014) especifica ainda três subtipos de ventiladores centrífugos: o de pás retas, o de pás curvadas para frente e o de pás curvadas para trás.

2.4.3 Sistema de estabilização

O sistema de estabilização é o conjunto de mecanismos inseridos no túnel de vento com a função de uniformizar e estabilizar a massa fluida do ar. Nesse sentido, são utilizados basicamente dois componentes para suavizar o escoamento: as telas e a colmeia. De acordo com Barlow *et al* (1999) *apud* Coutinho (2014) as colmeias são dispositivos fabricados em que os filamentos de ar se tornam paralelos a fim de corrigir a direção do escoamento. Existem diversas geometrias de colmeias que podem ser utilizadas dentro de um túnel de vento, podendo ser hexagonais, quadradas, circulares, entre outras, como mostra a Figura 14 a seguir.

Figura 14 - Tipos de colmeias ilustradas



Fonte: Barlow *et al* (1999) *apud* Coutinho (2014).

Para cada geometria adotada existe uma perda de carga associada. Brunetti (2008, p. 102) interpreta a perda de carga como sendo a dissipação de energia em função da existência de atrito no escoamento de um fluido. Sendo assim, os estudos de Barlow *et al* (1999) *apud* Coutinho (2014) apontaram que a forma hexagonal possui o menor coeficiente de perdas seguido pelas quadradas e por último pelas circulares. A Tabela 2 a seguir mostra os valores de coeficientes de perda de carga por eles constatados:

Tabela 2 - Coeficiente de perda de carga associado ao tipo de colmeia

Tipo de colmeia	Coeficiente de perda
a	0.30
b	0.22
c	0.20

Fonte: Adaptado de Barlow *et al* (1999) *apud* Coutinho (2014).

As telas por sua vez são fixadas a fim de promover o controle de turbulência e são inseridas após as colmeias. “As telas tem por objetivos fornecer a proteção necessária para o ventilador, controlar a separação do fluxo no difusor e também é

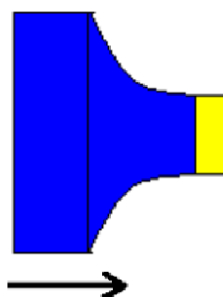
usada para controle de turbulência”. (COUTINHO, p. 26, 2014). Para Carminatti e Konrath (2019) as telas são constituídas geralmente de seções quadradas ou retangulares de metal e atuam para evitar a separação da camada limite e propiciar uniformidade ao fluxo.

Matsumoto *et al* (2012) utilizaram telas de nylon no bocal de entrada do túnel de vento do tipo sugador para uniformizar a massa fluida do ar, com o objetivo de reduzir os grandes vórtices que poderiam alcançar o interior do túnel. Além disso, reduziram também a seção transversal aproximadamente seis vezes com o objetivo de eliminar toda e qualquer turbulência, criando um regime laminar de escoamento.

2.4.4 Bocal de entrada e saída

A localização do bocal de entrada e de saída de um túnel de vento depende da tipologia de túnel empregada atrelada ao sentido de escoamento do ar. Na maioria dos túneis de vento, o bocal de entrada tem o papel de acelerar o ar promovendo o aumento da velocidade do fluido pela redução da seção transversal, conforme afirmam Soethe, Souza e Deyna (2011). A Figura 15 a seguir mostra um exemplo de bocal de entrada com redução de seção:

Figura 15 - Ilustração de um bocal de entrada com redução de seção



Sentido de escoamento

Fonte: Adaptado de Soethe, Souza e Deyna (2011).

2.5 NBR 6123 e as forças horizontais devido ao vento

A NBR 6123 (ABNT, 1988) que surgiu como resultado dos trabalhos desenvolvidos pelo túnel de vento “Prof. Blessmann”, fixa as condições mínimas exigíveis na consideração dos efeitos estáticos e dinâmicos do vento para o cálculo estrutural das edificações. De acordo com Budajev e Sandelin (2013) *apud* Sudbrack (2016) os esforços verticais contribuem para a estabilidade dos edifícios, enquanto as

ações horizontais atingem a estrutura negativamente, aumentando o momento de tombamento e a torção, diminuindo assim sua estabilidade. O vento por sua vez afeta negativamente a estrutura devendo-se, portanto, calcular as forças que incidirão sobre os elementos que irão resistir a esses esforços, isto é, as subestruturas de contraventamento.

A NBR 6123 (ABNT, 1988) define a Força de Arrasto (F_a) como sendo o componente da força devida ao vento na direção do vento. Conforme Luz (2019), deve-se determinar a força de arrasto para o eixo x e y da edificação dada pela Equação 6 a seguir.

$$F_a = C_a \cdot q \cdot A \quad (\text{Equação 6})$$

Onde:

- F_a = força equivalente normal à superfície
- C_a = coeficiente de arrasto
- q = pressão dinâmica
- A = Área do elemento plano considerado

2.5.1 Coeficiente de arrasto (C_a)

A norma apresenta também que para o cálculo do coeficiente de arrasto (C_a) em cada direção é necessário conhecer as dimensões das fachadas da edificação (altura do edifício e comprimentos laterais) e, além disso, conhecer as condições de turbulência do vento.

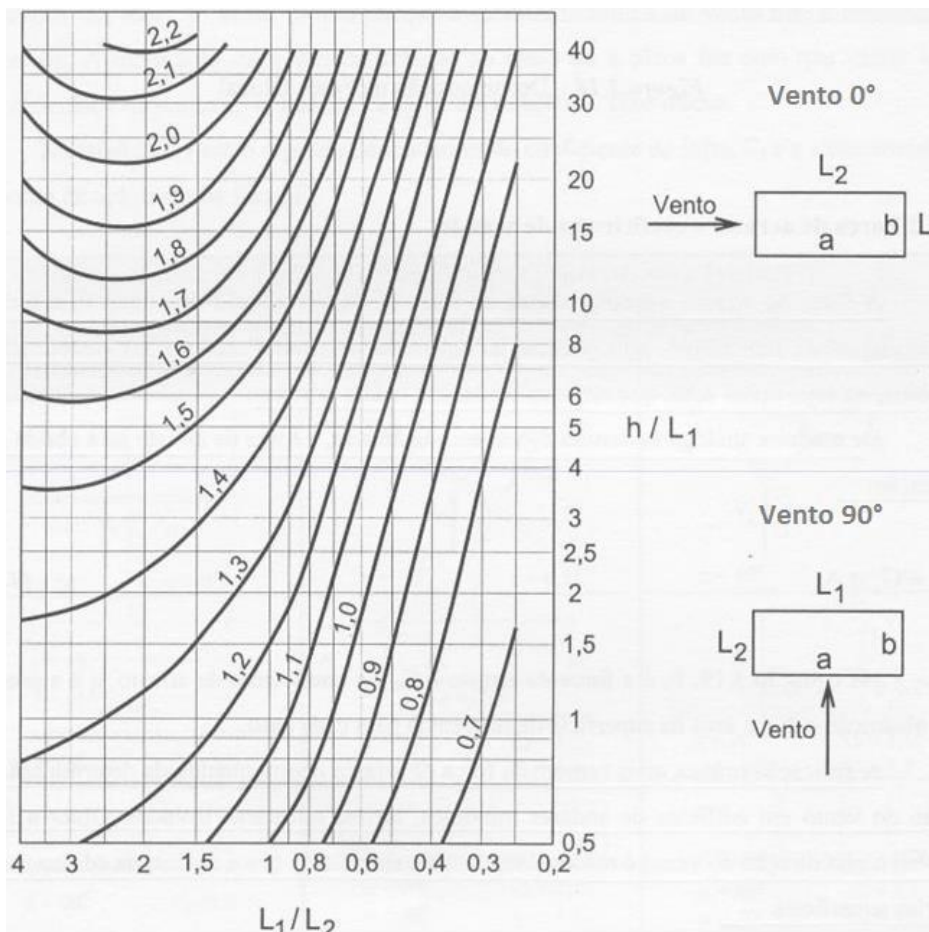
O item 6.5.3 da NBR 6123 (ABNT, 1988) define que: “Uma edificação pode ser considerada em vento de alta turbulência quando sua altura não excede duas vezes a altura média das edificações nas vizinhanças, estendendo-se estas, na direção e no sentido do vento incidente, a uma distância mínima de”:

- 500 m, para uma edificação de até 40 m de altura;
- 1000 m, para uma edificação de até 55 m de altura;
- 2000 m, para uma edificação de até 70m de altura;
- 3000 m, para uma edificação de até 80 m de altura.

Longo (2020) afirma que o vento de baixa turbulência produz maiores coeficientes de arrasto, isto é, maiores valores de força do vento, e sugere que na falta de informações precisas e da existência de dúvidas nas operações de cálculo,

recomenda-se considerar o vento como de baixa turbulência. O ábaco ilustrado pela Figura 16, a seguir, representa graficamente os valores do C_a para o vento de baixa turbulência. Excepcionalmente para ventos de alta turbulência deve-se usar outro ábaco constante na NBR 6123 (ABNT, 1988).

Figura 16 - Ábaco do coeficiente de arrasto para edificações paralelepípedicas em vento de baixa turbulência



Fonte: Adaptado de Luz (2019).

A partir das relações dimensionais do edifício, L_1/L_2 (larguras) e h/L_1 (altura e largura), tem-se graficamente a determinação desse coeficiente. Deve-se atentar para a direção do vento que está sendo analisada, onde o Vento 0° corresponde às forças incidentes na fachada de menor dimensão do edifício, enquanto o Vento 90° refere-se à incidência das rajadas sobre a fachada de maior dimensão do mesmo.

2.5.2 Pressão dinâmica (q)

A Pressão dinâmica (q), dada em N/m^2 , depende da velocidade característica (V_k) e é dada pela Equação 7 a seguir.

$$q = 0,613. V_k^2 \quad (\text{Equação 7})$$

2.5.3 Velocidade característica (V_k)

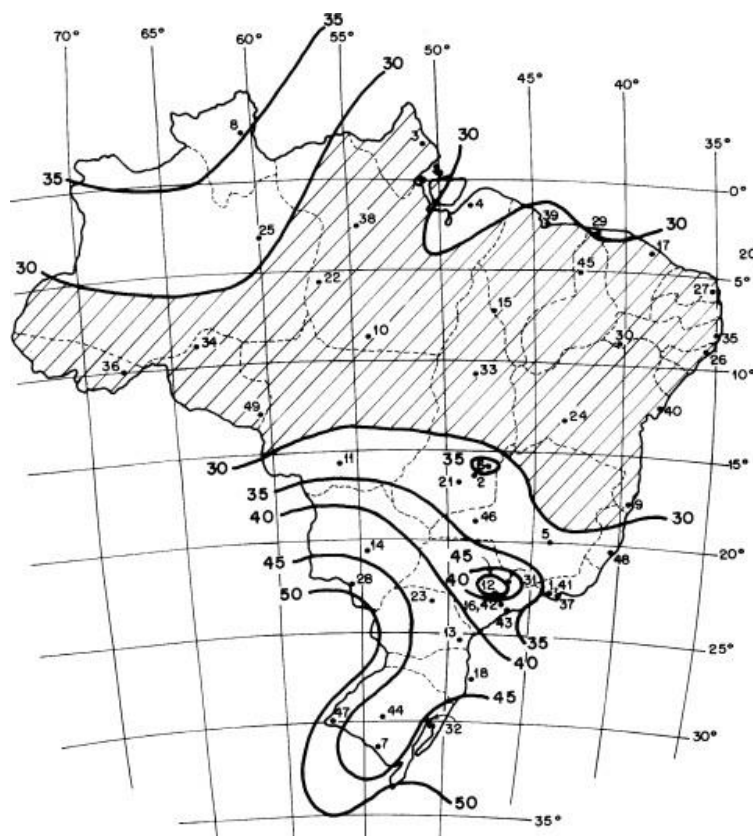
A velocidade característica (V_k) do vento é obtida pela relação de três fatores: o topográfico, o de projeto (rugosidade do terreno e dimensões da edificação) e o estatístico, além de estar associado à velocidade básica do vento (V_o) na região do projeto, como mostra a Equação 8 a seguir.

$$V_k = V_o. S1. S2. S3 \quad (\text{Equação 8})$$

▪ Velocidade básica do vento (V_o)

A velocidade básica do vento, V_o , pode ser determinada pelo diagrama de isopletas dado pela Figura 17 a seguir, sendo definido para todo o país como a velocidade de uma rajada de 3 segundos, excedida na média uma vez em 50 anos, a 10 m acima do terreno, em campo aberto e plano.

Figura 17 - Isopletas da velocidade básica V_o (m/s)



Fonte: ABNT NBR 6123 (1988).

Em Palmas, Tocantins, a velocidade básica do vento é apontada segundo a norma como sendo de 33 m/s.

- Fator S1

O fator S1 leva em conta as variações do terreno cuja a obra está localizada, alterando seu valor em função da existência de terrenos planos ou fracamente acidentados, taludes ou morros alongados e vales profundos protegidos de ventos de qualquer direção. Por fim, a NBR 6123 (ABNT, p. 5, 1988) considera que “se for necessário um conhecimento mais preciso da influência do relevo [...] é recomendado o recurso a ensaios de modelos topográficos em túnel de vento”.

- Fator S2

O fator S2 é o valor que incorpora o efeito combinado da rugosidade do terreno, da variação da velocidade do vento com a altura acima do solo e das dimensões da edificação. Para a determinação desse fator, é necessário enquadrar o edifício estudado dentro dos parâmetros de categorias relativas à rugosidade do terreno e classes referentes às dimensões horizontais e verticais da construção.

- Fator S3

O fator S3, baseia-se nos preceitos estatísticos, considera o grau de segurança exigível e a vida útil da edificação sendo definido pelo item 5.4 da norma.

2.6 Ensaios realizados em túneis de vento no Brasil

Esta seção expõe exemplos reais de como os túneis de vento podem ser utilizados no cenário da construção civil.

2.6.1 Edifício Jorge Coelho em São Paulo - SP

A Figura 18 a seguir mostra o modelo reduzido do Edifício Jorge Coelho em São Paulo, ensaiado no túnel de vento do Instituto de Pesquisas Tecnológicas – IPT.

Figura 18 - Maquete do edifício Jorge Coelho no ensaio de túnel de vento



Fonte: TQS Info (2017).

De acordo com a TQS Informática (2017), o edifício foi analisado devido a sua respectiva esbelteza, uma vez que possuía 9 m de largura por 88 m de altura.

2.6.2 Rede de Hospitais Sarah Kubitschek

Inaugurado em 2007, o Hospital da Rede Sarah Kubitschek em Belém, Pará, passou por uma pesquisa envolvendo a construção do modelo em miniatura para testar a eficiência dos *sheds*. Camargo (2011) define que os *sheds* são elementos arquitetônicos cuja principal função é favorecer a iluminação e a ventilação natural. Os ensaios aconteceram no Laboratório de Conforto Ambiental e Física Aplicada (LACAF) da Universidade Estadual Paulista - Unicamp, e pode ser mostrado pela Figura 19 a seguir.

Figura 19 - (a) Hospital Rede Sarah em Belém, (b) modelo em miniatura para ensaio



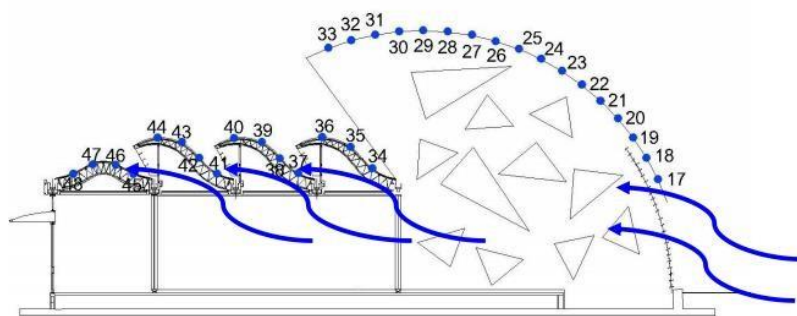
(a)

(b)

Fonte: Camargo (2011).

“As medições de coeficiente de pressão foram realizadas para confirmar a eficiência dos *sheds* e suas aberturas de entrada e saída de ar.” (CAMARGO, p. 89, 2011). A Figura 20 a seguir, mostra os pontos de medição da pressão do vento no modelo, que foi realizada utilizando finos tubos de plástico conectados a um scanner de pressão:

Figura 20 - Pontos de medição localizados nos sheds

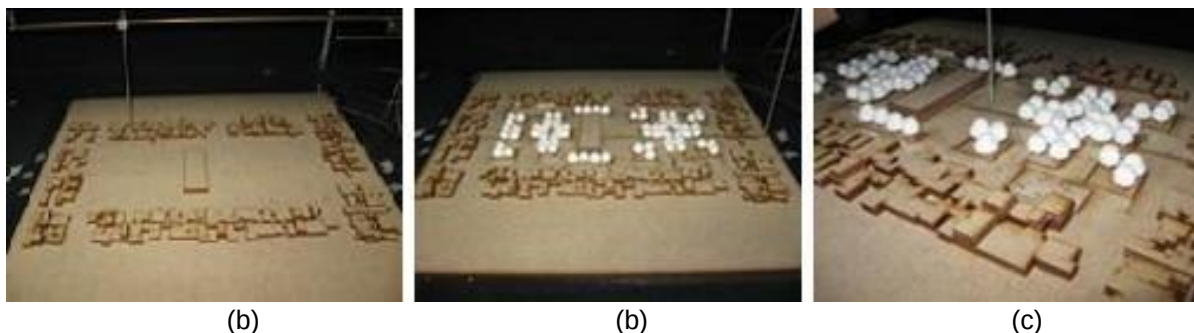


Fonte: Camargo (2011).

2.6.3 Área Urbana Bairro São José

Outro exemplo que pode ser citado, é o estudo experimental envolvendo a modelagem de uma área urbana referente ao bairro São José na cidade de Campinas-SP. Nesse estudo foram feitos testes considerando a região com e sem a vegetação natural. Para Matsumoto *et al* (2012), uma das maiores dificuldades esteve na reprodução das espécies arbóreas analisadas em escala. A Figura 21, a seguir, mostra a maquete da região urbana testada em túnel de vento:

Figura 21 - (a) Modelo reduzido de área urbana sem vegetação, (b) com vegetação, (c) com vegetação e aproximado



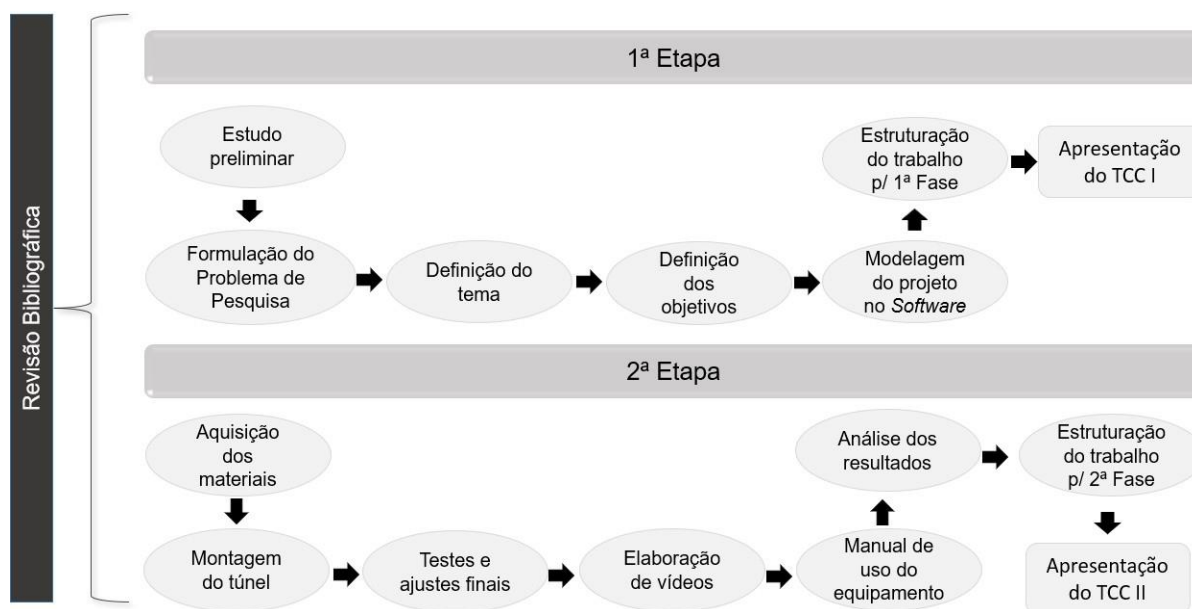
Fonte: Adaptado de Matsumoto *et al* (2012).

3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

A metodologia adotada para o desenvolvimento do Mini Túnel de Vento (MTV), partiu de uma extensa revisão bibliográfica referente à protótipos desse modelo, associados a estudos aerodinâmicos e de fluidodinâmica aplicados à construção civil, com o foco na engenharia de estruturas. Além disso, buscou-se materiais que tornassem a construção do túnel a mais econômica e facilitadora possível.

Em conformidade com os objetivos gerais e específicos, o desenvolvimento do trabalho foi dividido em duas etapas. Destaca-se o fato de que a fundamentação prática e teórica somada à revisão da bibliografia abrangerá a totalidade do trabalho desenvolvido. A primeira etapa, consiste na realização de um estudo preliminar, na formulação do problema de pesquisa, na definição do tema e dos objetivos propostos, na elaboração do projeto e, por fim, na modelagem do projeto no *software*. Já a segunda etapa, é composta pelos procedimentos de aquisição dos materiais, montagem do túnel, realização de testes, ajustes, desenvolvimento de vídeos e produção de um manual de funcionamento, como mostra a Figura 22 a seguir.

Figura 22 - Fluxograma Geral de Pesquisa



Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

Em seguida será apresentada a classificação do estudo e descritas cada etapa apontada no fluxograma geral anterior.

3.1 Caracterização da Pesquisa

Oliveira (2011) afirma que as escolhas metodológicas podem ser caracterizadas de acordo com as seguintes categorias: quanto ao objetivo da pesquisa, quanto à natureza da pesquisa e quanto à escolha do objeto de estudo. O Quadro 1 a seguir apresenta a classificação desta pesquisa quanto as suas diferentes categorias:

Quadro 1 - Classificação da Pesquisa

CATEGORIA DE PESQUISA:	CLASSIFICAÇÃO:	DESCRIÇÃO:
Quanto ao objetivo	Exploratória-descritiva	Pretende-se explorar uma nova geometria de túnel de vento e descrever sua construção
Quanto à natureza	Qualitativa e Quantitativa	Propõe-se a partir da observação qualitativa a visualização da deformação causada pelo vento no modelo kit mola somado à quantificação do custo final do projeto
Quanto à escolha do objeto de estudo	Estudo de caso único	Constitui-se em um estudo de caso único baseado em outras versões reduzidas de túnel desenvolvidas por demais projetos de pesquisa

Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

Segundo Selltiz *et al.* (1965) *apud* Oliveira (2011), os estudos exploratórios enquadram-se em todos aqueles que buscam desvendar conceitos e ideias, na tentativa de obter maior familiaridade com o fenômeno pesquisado. De forma semelhante Gil (1999) pondera que a pesquisa exploratória tem o objetivo de desenvolver, esclarecer e modificar esses conceitos.

Em relação às pesquisas descritivas Selltiz *et al.* (1965) *apud* Oliveira (2011) afirmam que esse tipo de investigação “busca descrever um fenômeno ou situação em detalhe, permitindo abranger com exatidão, bem como desvendar a relação entre os eventos”. Vergara (2000, p. 47) corrobora que as pesquisas descritivas não têm a obrigação de explicar os fenômenos que descreve, embora contribuam como base para tal explicação.

Para mais, Malhotra (2001) *apud* Oliveria (2011) sustenta que a pesquisa qualitativa possibilita uma melhor visão e entendimento do contexto do problema, ao passo que a pesquisa quantitativa busca quantificar os dados e generalizar os resultados estatisticamente.

Além disso, pode-se dizer que: “um estudo de caso é uma investigação

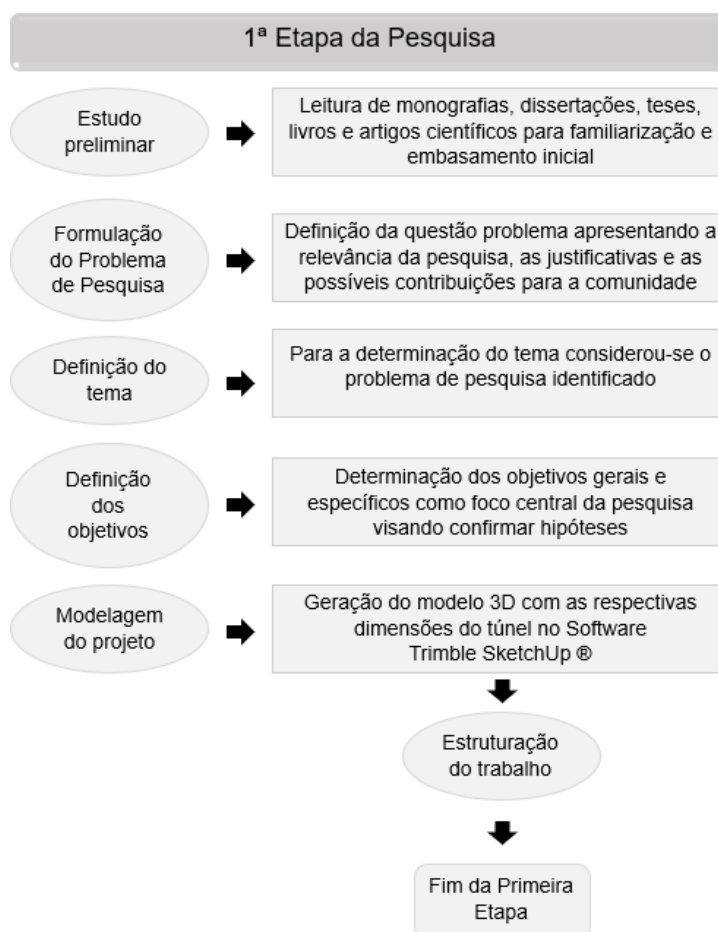
empírica que investiga um fenômeno contemporâneo dentro do seu contexto da vida real, especialmente quando os limites entre o fenômeno e o contexto não estão claramente definidos” (YIN, 2001 p. 33).

3.2 Primeira Etapa

A primeira etapa da pesquisa, inicia-se com um estudo preliminar por parte do autor sobre a temática a ser desenvolvida, a fim de se familiarizar com a linha de pesquisa adotada, assim como com seus objetivos e procedimentos metodológicos. A pesquisa baseou-se na revisão bibliográfica, que compreende as etapas de leitura, interpretação de teses, dissertações, monografias, livros e artigos científicos para fins de planejamento, formulação da questão problema e definição dos objetivos, com o intuito de responder ao problema da pesquisa.

A primeira etapa da pesquisa pode ser exemplificada no fluxograma da Figura 23 a seguir.

Figura 23 - Fluxograma de andamento da 1ª Fase



Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

A etapa dos estudos bibliográficos tem caráter exploratório e de sustentação, abrangendo toda a execução da pesquisa. Em relação a formulação da questão problema, ela surge a partir das análises e dos estudos de fundamentação por parte do autor, em conjunto com o professor orientador e com a professora coorientadora, chegando-se assim à definição do tema da pesquisa. A definição do tema parte do pressuposto de se obter a delimitação do problema pesquisado, reduzindo-o a uma dimensão que possibilite sua análise de forma viável. Os objetivos se estabeleceram a partir de cada hipótese criada, a fim de produzir respostas ao problema da pesquisa, direcionando e definindo os pontos a serem abordados.

O projeto do Mini Túnel de Vento será desenvolvido no *software* de modelagem tridimensional denominado Trimble SketchUp Pro ®, onde serão apresentadas as vistas do modelo e suas respectivas dimensões. O projeto será feita na Etapa 1 e apresentado na Etapa 2.

A estruturação do trabalho para a primeira fase, consiste na integração do levantamento bibliográfico com o problema de pesquisa, aliado à sua caracterização metodológica, justificativa, objetivos, cronograma e detalhamento dos recursos a serem utilizados para a execução do projeto.

3.3 Segunda Etapa

As principais atividades a serem feitas na 2ª etapa da pesquisa, estão descritas no fluxograma da Figura 24 a seguir.

A aquisição dos materiais buscará contemplar descontos, parcerias e doações de empresas para o projeto educacional, além do aproveitamento de materiais disponíveis na própria Instituição de Ensino e em outros locais, a fim de promover a redução do custo final do protótipo. O equipamento construído terá as características de um túnel linear de seção constante, de circuito aberto e do tipo soprador conforme as características explicitadas anteriormente pela Figura 11. Diferentemente dos demais túneis, o presente trabalho não apresentará variação de seção transversal no seu bocal de entrada, por se tratar de um túnel de vento do tipo cilíndrico de corpo constante.

Além disso, para o corpo do Mini Túnel De Vento pretende-se utilizar uma unidade de fôrma de papelão de pilar circular de 600mmx3m; para as bases de apoio e seção transversal do túnel pretende-se utilizar folhas de madeirite com no mínimo

15mm de espessura (chapa compensada); para a seção de testes com o intuito de visualização interna propõe-se a obtenção de material de vidro acrílico translúcido; e para o sistema de propulsão, o uso de sucata de ventilador de ar condicionado localizado no pátio do IFTO - Campus Palmas.

Figura 24 - Fluxograma de fechamento da 2ª Fase



Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

O início da montagem do túnel seguirá as definições e especificações de projeto, a fim de obter um túnel real o mais parecido possível com o projetado. Com o decorrer da montagem, a finalização do túnel de vento será realizada de maneira a se adequar ao espaço do Laboratório de Hidráulica do Instituto, onde serão feitos os testes para o funcionamento do conjunto e ensaios para simulação da incidência do vento no modelo kit mola estrutural. Tais procedimentos buscarão o alcance dos objetivos propostos pelo trabalho. Para mais serão produzidos vídeos para comparar e visualizar o comportamento dos pórticos testados. Atrelado a isso, será produzido um manual para instruir a utilização do túnel de vento.

O somatório dos custos de projeto não irá considerar os encargos com mão-de-obra e será feita com a utilização de tabelas da Microsoft® Excel. A apresentação orçamentária se dará com o objetivo de obter um equipamento de baixo custo. Além disso, como o intuito do trabalho passará pela reutilização da sucata de ventilador de ar condicionado e aproveitamento do motor, os valores desses itens não serão incluídos no custo final do projeto, o que seria feito somente em caso de não utilização dos equipamentos já existentes no campus do IFTO, isto é, na aquisição de novos.

A análise dos resultados se fará a partir das observações do pesquisador e das verificações qualitativas e quantitativas propostas pelo trabalho. Todas as análises e resultados serão apresentados dentro da estrutura da pesquisa para evidenciar os principais pontos do estudo de caso desenvolvido. A apresentação e defesa do TCC II tem como alvo a sua respectiva aprovação para obtenção do título de bacharel em engenharia civil.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

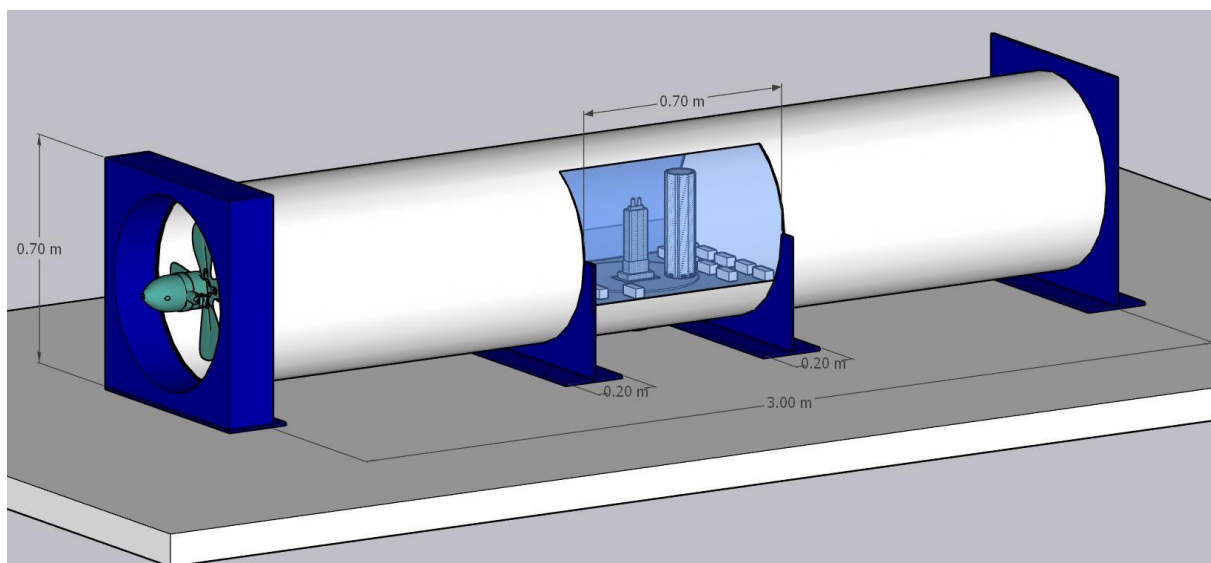
O presente capítulo expõe os resultados e as discussões da pesquisa de acordo com os procedimentos metodológicos e sequenciais descritos anteriormente. Desse modo, procura-se detalhar as etapas de projeto e construção do túnel de vento, analisando sua funcionalidade didática no modelo kit mola e seus custos de fabricação.

4.1 Modelagem do projeto no software

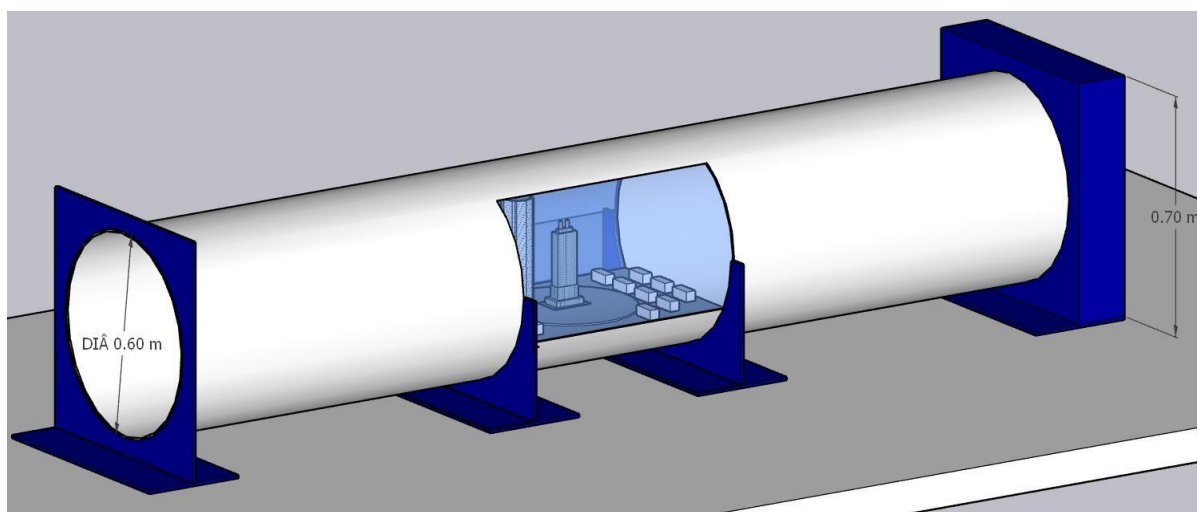
O projeto base para a construção do túnel foi realizado no *software* de modelagem tridimensional Trimble SketchUp Pro ® e organizado para plotagem no programa AutoCAD ®. As pranchas arquitetônicas, executivas e o manual de uso do equipamento didático encontram-se expostos nos Apêndices deste trabalho.

Para a concepção da ferramenta didática, considerou-se os materiais construtivos os quais se propôs a utilizar, isto é, folha de madeira compensada para as seções de suporte do túnel, chapa acrílica transparente para a cabine de testes e uma fôrma circular de papelão para o corpo do protótipo. A Figura 25 e 26 a seguir mostram as Vistas 3D do projeto:

Figura 25 - Vista 3D do túnel de vento

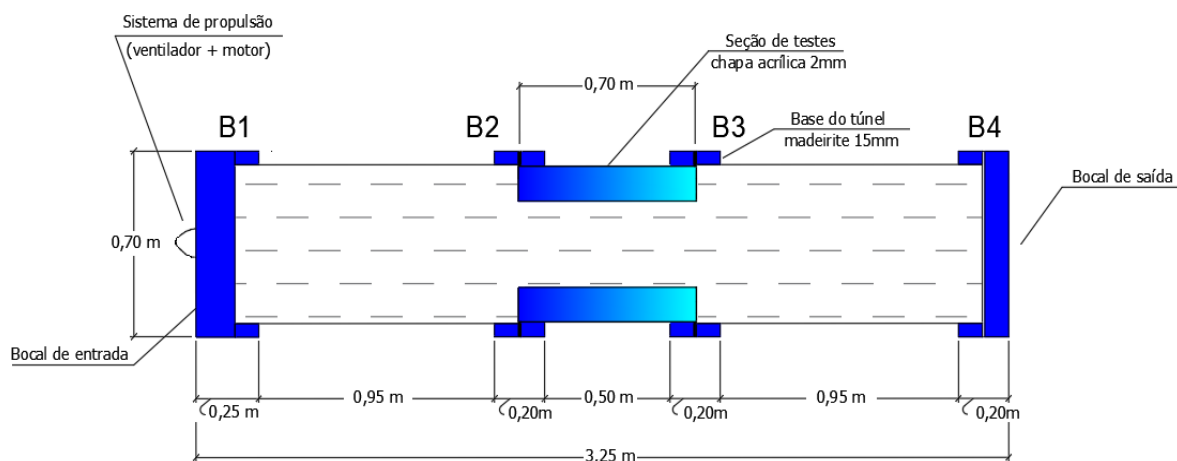


Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

Figura 26 - Vista 3D rotacionada

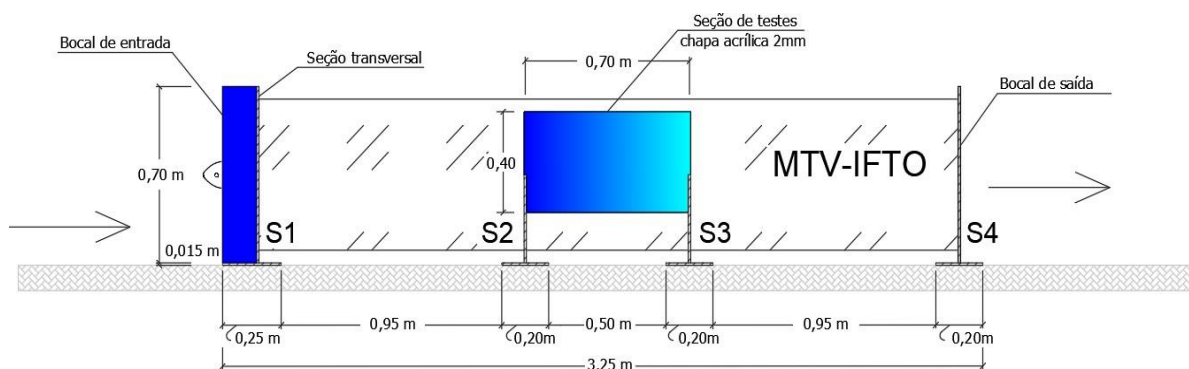
Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

Dentre as características dimensionais do túnel, propôs-se um grande corpo cilíndrico de 60cm de diâmetro e 3m de comprimento, com seção circular constante, associado a uma vitrine de testes dupla com 70cm de comprimento e 40cm de altura. A Figura 27 a seguir mostra a planta baixa do mini túnel de vento idealizado:

Figura 27 - Planta baixa do mini túnel de vento

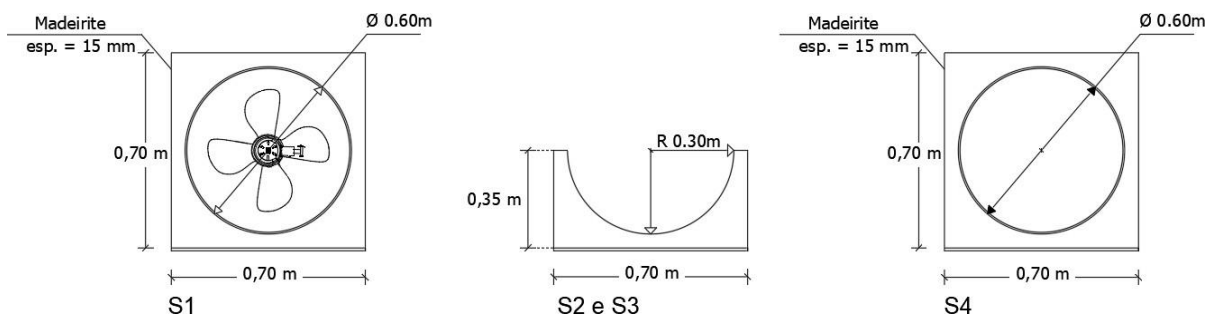
Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

Atrelado a isso, a Figura 28 a seguir expõe a vista lateral do túnel. Nela pode-se enxergar a seção de testes, as seções transversais que sustentam o túnel e o caminho percorrido pelo ar, do bocal de entrada até o bocal de saída:

Figura 28 - Vista lateral do MTV-IFTO

Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

Como notado na figura anterior, o túnel de vento foi projetado para ser sustentado por 4 pontos de apoio: S1, S2, S3 e S4. Nesse sentido, as seções S1 e S4 são constituídas por duas placas de 70x70cm de madeira compensada, com um furo centralizado de 60cm. Já as seções S2 e S3, são formadas pela metade das seções inteiras, possuindo formato de semicírculo, como mostra a Figura 29 a seguir. Tais seções foram projetados com o intuito de promover a utilização de apenas uma folha de madeirite de 1,10x2,20m, buscando a economicidade e a sustentação do cilindro.

Figura 29 - Seções transversais do túnel

Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

Além disso, com o objetivo de ilustrar realisticamente o projeto, realizou-se a renderização do modelo tridimensional do túnel no *software* V-Ray®. Nele foi possível realizar a configuração dos materiais atrelado às suas características físicas reais, inserindo-o no seu possível ambiente de uso didático: o Laboratório de Fenômenos dos Transportes do IFTO - Campus Palmas. A Figura 30 a seguir mostra o resultado da imagem fotorrealística criada:

Figura 30 - Imagem fotorrealística do túnel de vento situado no Laboratório de Fenômenos dos Transportes do IFTO



Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

4.2 Aquisição dos materiais

A presente seção mostra respectivamente como foram obtidos os materiais relativos a cada componente do túnel de vento. A aquisição dos materiais da pesquisa buscou a contemplação de descontos, doações e parcerias com empresas que tornassem o projeto o mais viável e econômico possível, além do aproveitamento dos materiais existentes e disponíveis na própria Instituição. Para os materiais que não foram possíveis de obter por meio desses processos, utilizou-se recursos próprios para a aquisição dos itens.

Com base nessa perspectiva, realizou-se duas tentativas de aquisição da fôrma de pilar circular ilustrada na Figura 31 adiante:

Figura 31 - Ilustrações de fôrmas circulares de papelão para concreto



Fonte: Fôrmas para concreto - Website Informativo Tubominas (2021).

A primeira tentativa de obtenção da fôrma de 600mmx3m ocorreu através do contato com a principal empresa de fabricação de fôrmas circulares para concreto no Brasil, localizada no interior do estado de Minas Gerais. A partir do diálogo com a empresa, apresentou-se o projeto do túnel e se propôs uma parceria que possibilitasse a realização da pesquisa de cunho educacional. Nesse sentido, a empresa forneceu um desconto no valor da peça que passou a custar R\$ 610,00 reais. Dessa forma, um dos principais fatores do não êxito da aquisição deste material, além do elevado custo da fôrma, foi a logística de transporte desse elemento, que impossibilitaria a realização de um projeto de baixo custo. Segundo a empresa, os fretes para o transporte de uma peça variavam de R\$ 1300,00 a R\$ 1500,00 para a cidade de Palmas-TO, o que inviabilizou essa aquisição.

A segunda tentativa de obtenção da fôrma circular, aconteceu no âmbito local da cidade de Palmas, onde entrou-se em contato com a engenheira civil responsável técnica pela execução de uma grande obra comercial da capital, em que foram utilizados pilares circulares de 80cm de diâmetro em sua fachada, como mostra a Figura 32 adiante:

Figura 32 - Obra comercial com pilares circulares na fachada em Palmas-TO



Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

Após a recepção do pedido de doação ou venda da fôrma, o mesmo foi levado para os supervisores da empresa onde a proposta foi analisada. Sob a justificativa de que a fôrma seria utilizada em novos empreendimentos e que obtivera um custo elevado de fabricação, por ter sido fabricada manualmente, o pedido foi negado.

Após as negativas de aquisição das fôrmas, optou-se pela mudança do material de confecção do corpo do túnel. Partiu-se para a ideia de utilização da chapade zinco galvalume do tipo bobina, mesmo material utilizado na fabricação de calhas, rufos, telhas e pingadeiras. A escolha desse material alternativo, considerou o seu baixo custo comparado ao da fôrma circular, e também, sua leveza e maleabilidade para trabalhos diversos.

Em visita a empresa “Mundo dos Ferros” obteve-se a doação do material necessário para a fabricação do corpo do túnel. O material recebido pode ser visto na Figura 33 a seguir.

Em seguida, a fim de obter mais materiais para a confecção do túnel, realizou-se uma visita até a empresa “On Madeiras” onde obteve-se a doação de uma folha de madeira compensada do tipo cola branca de 14mm de espessura. A chapa de dimensões padrões de 1,10x2,20m, veio posteriormente a ser utilizada para a fabricação das seções e bases de sustentação do túnel.

Para o sistema de propulsão, foram encontrados uma série de equipamentos de ar condicionado no pátio do fundo do IFTO - Campus Palmas. Nele os maquinários aparentavam um aspecto antigo e sem nenhuma utilização. Assim, planejou-se a utilização do ventilador e o aproveitamento de seus motores embutidos para a composição do túnel. Foram encontrados também, além disso, outros ventiladores

antigos de sala de aula que poderiam ser utilizados como opção. O maior receio em relação a esses equipamentos pairava sobre o seu efetivo funcionamento, visto que os mesmos estavam expostos a sol, chuva, vegetação e demais intempéries por tempo indeterminado, o que poderia claramente prejudicar seu desempenho.

Figura 33 - Chapa de zinco galvalume do tipo bobina



Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

As Figuras 34 e 35 mostram os resultados daquilo que foi encontrado na Instituição no momento da visita do pesquisador:

Figura 34 - Sucatas de ventiladores de sala de aula



Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

Figura 35 - Sucatas de ventiladores de ar condicionado

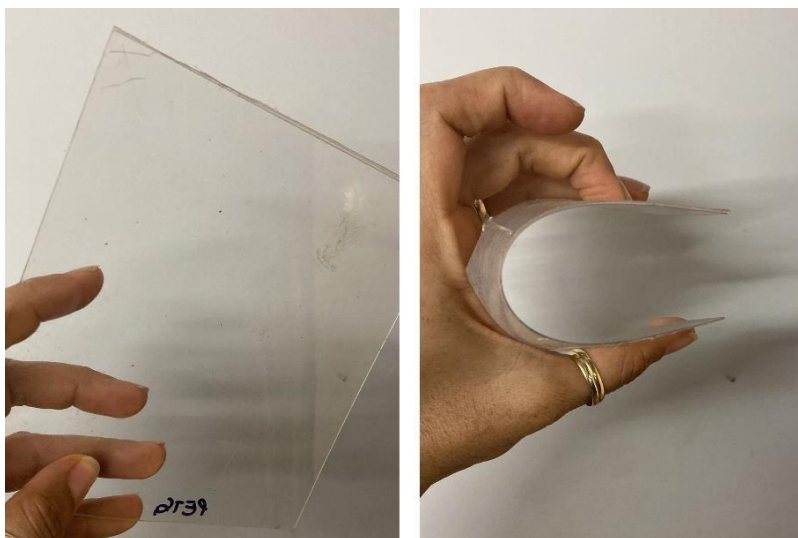


Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

Dessa forma, o reaproveitamento desses itens de sucata, caso funcionassem, agregariam ao trabalho uma redução significativa dos gastos com a pesquisa, por se tratar de um dos itens mais importantes e onerosos de um túnel de vento: o conjunto motor/ventilador.

Para a vitrine da seção de testes, o plástico acrílico de 2mm idealizado inicialmente em projeto não atenderia as características do MTV, uma vez que a rigidez do material acrílico não permitiria seu arqueamento na curvatura do túnel. Sendo assim, buscou-se um material análogo e realizou-se a substituição da placa acrílica rígida por uma folha de plástico flexível incolor com a mesma espessura, como mostra a Figura 36 a seguir.

Figura 36 - Plástico flexível transparente



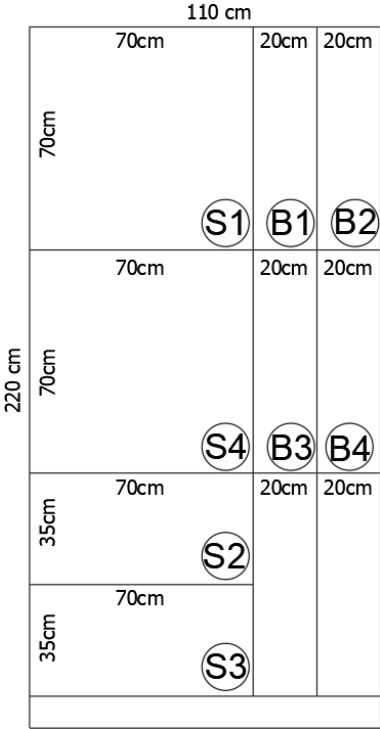
Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

A mudança do material de projeto foi feita exclusivamente em função da sua flexibilidade, pois o custo de aquisição por m² era o mesmo, isto é, R\$ 250,00 reais. Em virtude da dificuldade de encontrar mais empresas na cidade que trabalhassem com esse tipo de material não se conseguiu doação nem qualquer desconto no item. Desse modo, o plástico foi obtido por meio de recursos próprios.

4.3 Etapas construtivas do túnel

O início da montagem do mini túnel de vento contou com a participação do discente e do auxílio de um carpinteiro e de um marceneiro para o corte e a montagem das seções transversais de madeira. A partir das instruções determinadas em projeto pelo pesquisador, mostrada na Figura 37 a seguir, realizou-se os cortes na chapa de madeira compensada:

Figura 37 - Plástico flexível transparente



Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

Em seguida, após a chapa ser cortada em obra, conforme a Figura anterior, iniciou-se os trabalhos na marcenaria. Primeiramente, realizou-se o traçado da circunferência nas três placas quadradas de 70x70cm (S1, S2+S3 e S4) com o uso de um compasso manual. Após a marcação, realizou-se o corte na madeira com a utilização da serra tico-tico, exposta pela Figura 38 a seguir.

Figura 38 - Marcação e corte do compensado com serra tico-tico



Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

Depois dos cortes na folha de compensado, parafusou-se as seções junto as suas bases retangulares de 70x20cm, para que as mesmas ficassem apuradas e

equilibradas, como visto na Figura 39:

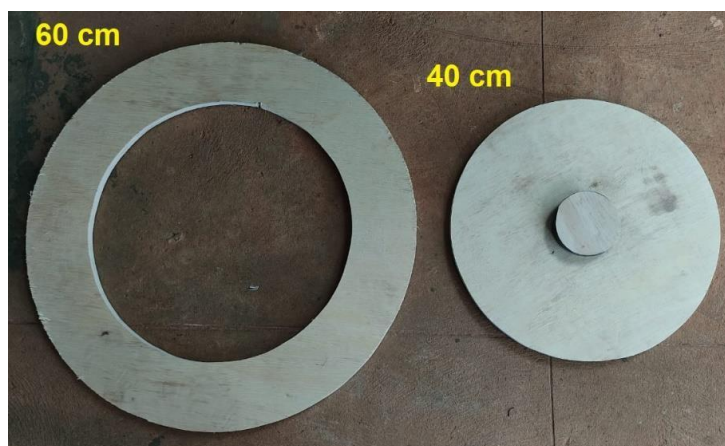
Figura 39 - Seções transversais do túnel com base



Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

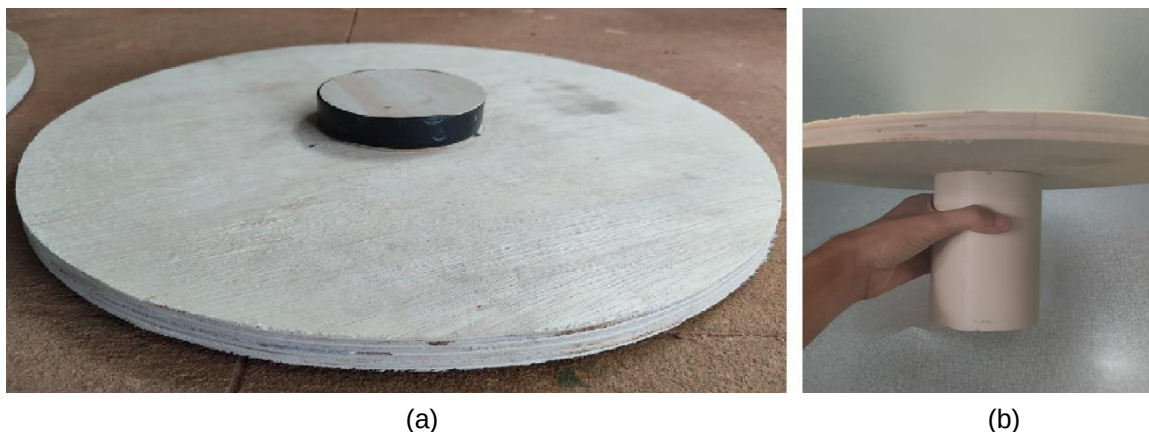
A partir disso, com o material restante, obtido pelo furo da placa, efetuou-se a diminuição do diâmetro do círculo de madeira de 60cm para 40cm, a fim de confeccionar a mesa de experimentos. Para isso, colou-se um enaixe de madeira no centro da placa circular reduzida no intuito de fixá-la em um tubo de PVC de 100mm, formando uma mesa. As Figuras 40 e 41 a seguir mostram visualmente os detalhes construtivos da mesa de testes do MTV:

Figura 40 - Confeção da mesa de experimentação com redução do diâmetro



Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

Figura 41 - (a) Detalhe da mesa, (b) encaixe no tubo de PVC

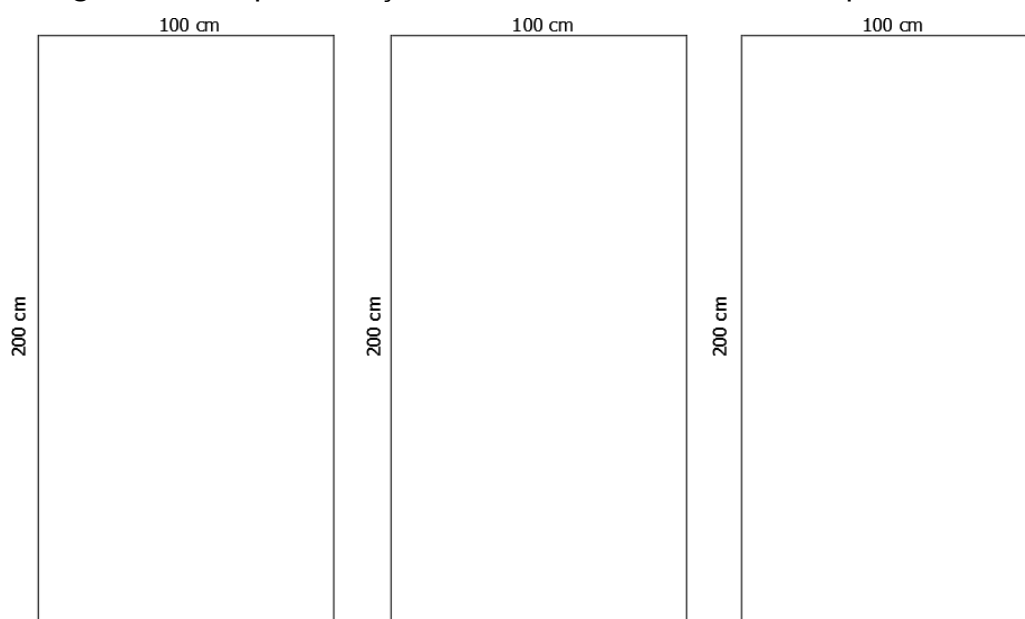


Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

A fita adesiva foi fixada posteriormente no entalhe de madeira para eliminar as folgas existentes no momento de encaixe no tubo, proporcionando a diminuição da movimentação da mesa no interior do túnel.

Para a execução do corpo do tubo, o material recebido através de doação foi equivalente ao de uma chapa de 6,00x1,00m, sendo as dimensões comprimento e largura respectivamente. Após o recebimento do zinco, o mesmo foi levado até uma funilaria da cidade onde realizou-se o corte das chapas em três partes iguais de 2,00x1,00m, como mostra a Figura 42 a seguir.

Figura 42 - Representação dos cortes realizados na chapa de zinco



Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

A Figura 43 a seguir demonstra a chapa sendo posicionada para corte e a ferramenta utilizada para a realização dos trabalhos.

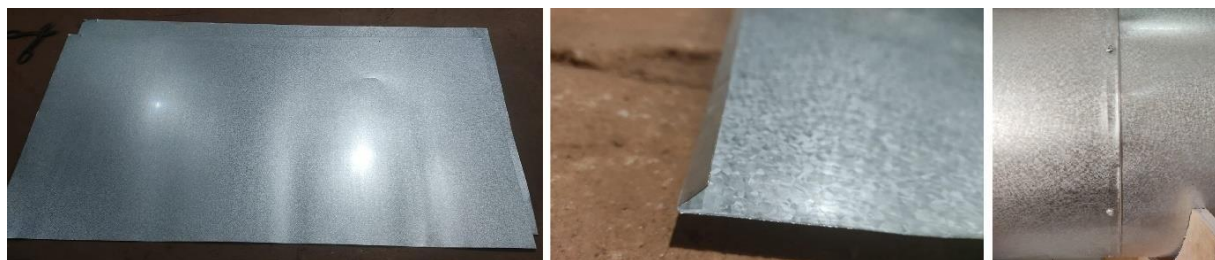
Figura 43 - (a) Posicionamento da chapa na mesa, (b) tesoura para corte de chapa



(a) (b)
Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

As divisões no tamanho total da chapa foram feitas para facilitar sua montagem em virtude do grande comprimento do túnel. Assim, com a chapa dividida em três partes, pôde-se realizar suas dobras e suas duas emendas intermediárias para dar maior rigidez ao corpo. A dobra foi feita com a utilização da máquina dobradeira de chapa e as emendas fixadas com o uso de rebites, como mostra a Figura 44 adiante:

Figura 44 - (a) Chapas cortadas, (b) dobra no zinco, (c) emendas rebitadas

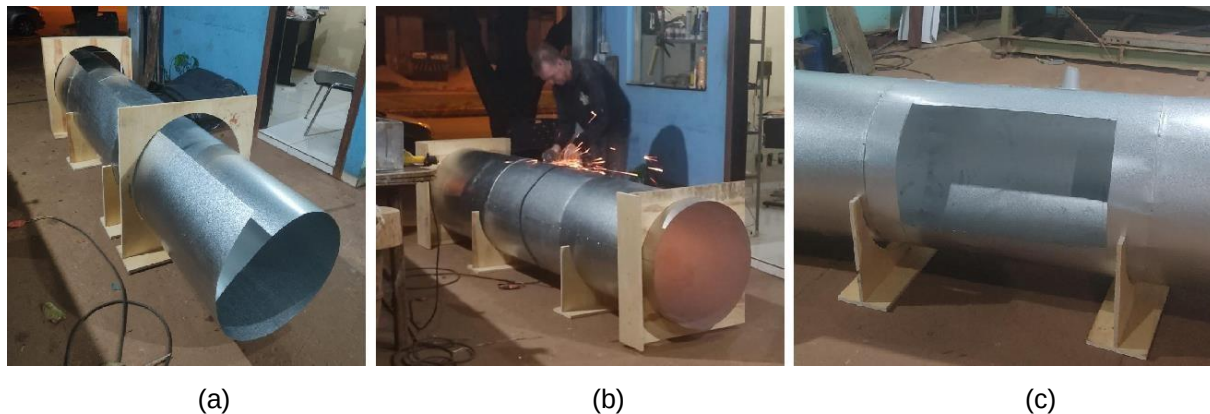


(a) (b) (c)
Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

A calandragem do material, isto é, o processo de curvatura das chapas, foi feita de forma manual e a abertura da janela na seção de testes realizada posteriormente com o uso de lixadeira angular e tesoura de cortar chapa. Em virtude do custo elevado do plástico flexível, optou-se por realizar apenas uma única abertura na seção de testes, deixando a segunda abertura apenas como previsão paramodificações futuras de projeto. Assim, as chapas de zinco foram conformadas manualmente com o uso de tábua corrida, a fim de se adequarem ao diâmetro necessário contido nas seções de madeira da peça. Tais procedimentos de execuções são mostrados na sequência

dada pela Figura 45 a seguir.

Figura 45 - (a) Adequação da chapa a seção, (b) corte na seção de testes com lixadeira, (c) seção de testes cortada



Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

Após a chapa de zinco ser transformada em um cilindro inscrito pelas seções de madeira, realizou-se o transporte do equipamento semiacabado da funilaria até o IFTO - Campus Palmas com o auxílio de um caminhão. De imediato, o túnel foi posicionado na bancada externa do Laboratório de Máquinas do campus, como exposto na Figura 46 a seguir.

Figura 46 - Túnel de vento ao chegar no campus



Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

Posteriormente a isso, iniciou-se os trabalhos de testagem dos ventiladores disponíveis no Instituto. Ao todo foram testados 5 equipamentos de sucata, sendo 4 ventiladores de ar condicionado e 1 ventilador de sala de aula, até que se chegasse ao melhor dispositivo. Os três primeiros equipamentos testados, sequenciados pela Figura 47 a seguir, apresentavam baixa potência de rotação e proporcionavam pouco impulso nas hélices para movimentar a massa de ar ao longo do corpo do túnel. Já o

ventilador de sala de aula, não funcionou.

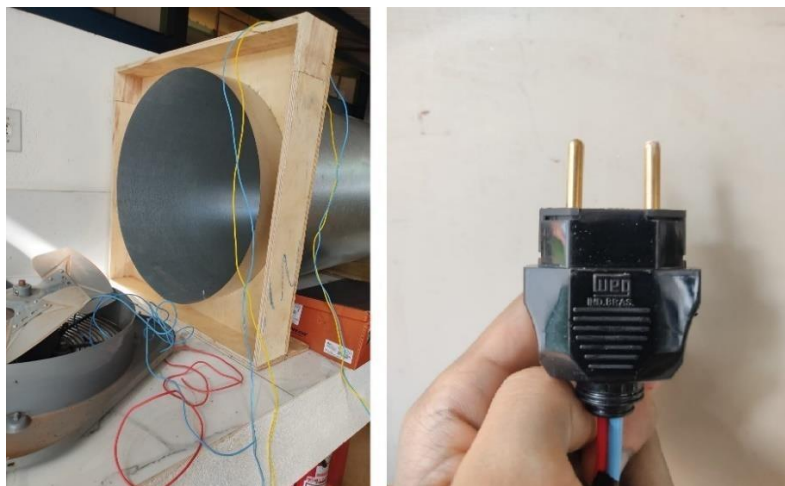
Figura 47 - Sucatas de ventiladores testados na pesquisa



Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

Em contrapartida, o quinto maquinário testado veio a ser o que melhor se comportou em relação aos outros, uma vez que apresentou maior integridade do motor e melhor geração de potência para a rotação das hélices. Nesse sentido, definiu-se a respectiva sucata de ar condicionado como o equipamento a ser integrado ao sistema de propulsão do MTV. Após a definição do ventilador a ser utilizado, realizou-se as adaptações de sua parte elétrica, estendendo sua fiação e juntando os fios flexíveis a um plugue de tomada de 10A. Assim, determinou-se o circuito do conjunto ventilador/motor, como mostra a Figura 48 a seguir.

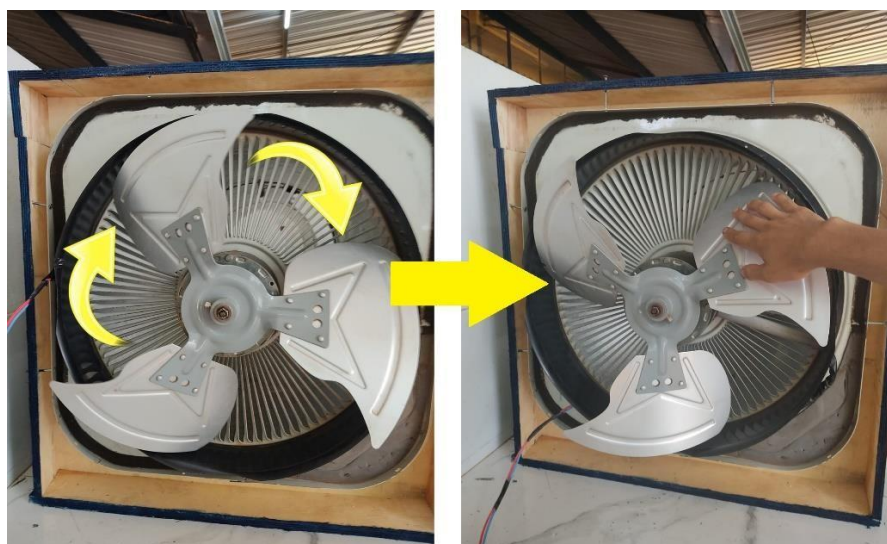
Figura 48 - (a) Adaptações elétricas no ventilador, (b) tomada do sistema de propulsão



(a) (b)
Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

O funcionamento do ventilador após ligado, assim como nas máquinas anteriores, só apresentou movimento efetivo a partir de um impulso manual nas suas hélices para forçar a rotação, o que não foi passível de solução. A Figura 49 a seguir mostra o sentido de rotação e a indicação do impulso manual necessário para o funcionamento do conjunto:

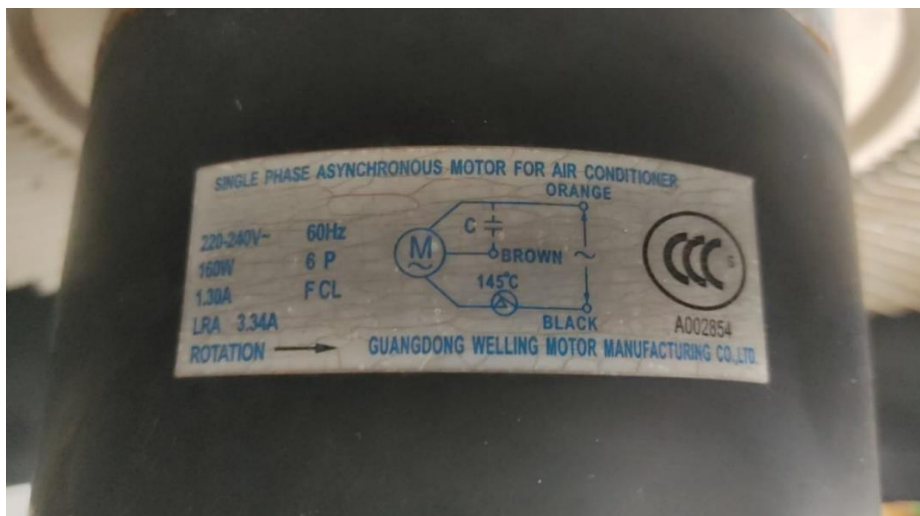
Figura 49 - Sentido de rotação e impulso manual no ventilador



Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

Em relação as características de fábrica do motor, as mesmas podem ser vistas pela Figura 50 a seguir, que indicam uma potência de 160W e uma frequência máxima de rotação de 60Hz:

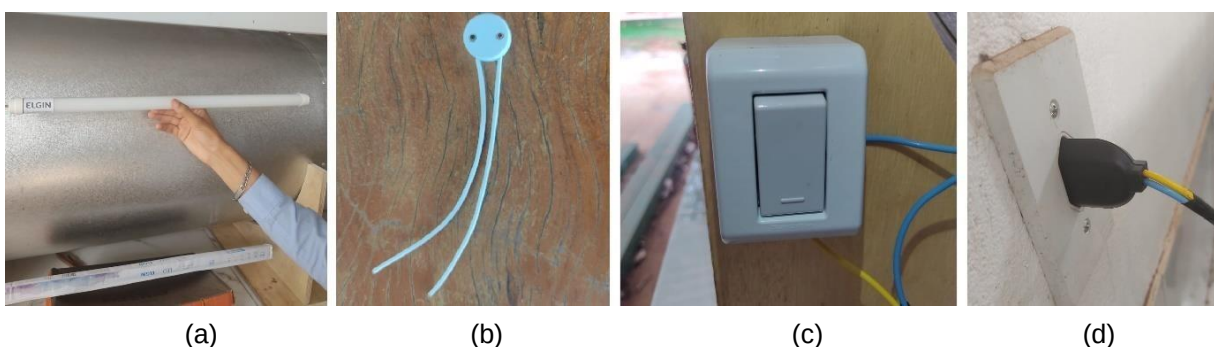
Figura 50 - Características de fábrica do motor do ventilador utilizado



Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

Após fixar o ventilador no bocal de entrada do túnel e finalizar sua parte elétrica, iniciou-se os trabalhos envolvendo a iluminação da seção de testes. Para isso, foram utilizados uma luminária LED tubular 9W de 60cm de comprimento, um soquete rabicho para a lâmpada, fios flexíveis de 1.5mm, fita isolante, fita dupla face para fixação da lâmpada no interior do túnel, um plugue macho e um interruptor externo tecla simples. A Figura 51 adiante mostra alguns dos itens utilizados para essa etapa construtiva:

Figura 51 - (a) Lâmpada tubular LED, (b) rabicho de lâmpada, (c) interruptor externo simples, (d) plugue macho para ligar a iluminação da mesa de testes



Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

Ao final das instalações tem-se que o compartimento adquiriu uma boa iluminação para a visualização interna dos efeitos do vento sobre modelos estruturais e demais miniaturas, como pode ser visto pela Figura 52 adiante:

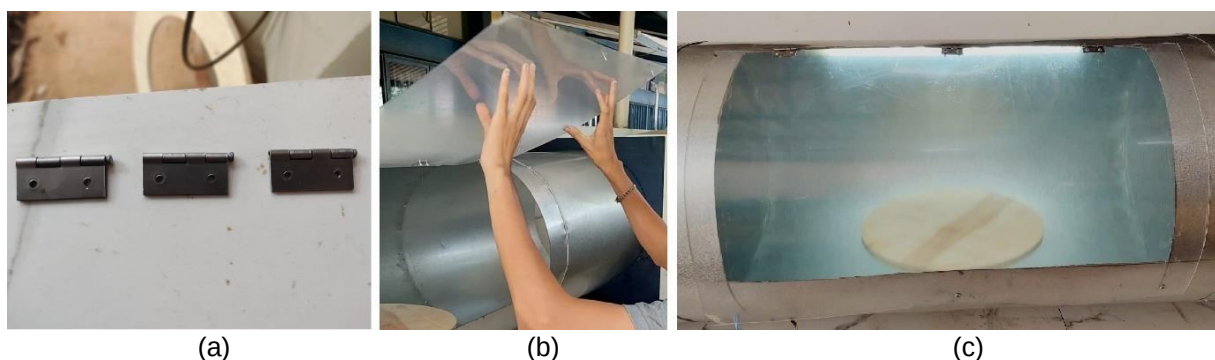
Figura 52 - Cabine de testes com iluminação interna



Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

Em relação ao fechamento lateral da seção testes, em virtude da necessidade de abrir o compartimento, instalou-se dobradiças de porta fixadas com rebites na parte do superior do túnel. Na parte inferior, prendeu-se a placa flexível com o uso de dois parafusos roscáveis, a fim de que o plástico se conformasse ao raio de curvatura do tubo. Para melhor vedar a lateral do túnel, foi utilizada uma placa de 50x80cm de plástico flexível, onde excedeu-se em 5cm o cobrimento nas laterais e 10cm na parte debaixo da janela, visto que a parte superior permaneceu alinhada devido às dobradiças. A Figura 53 mostra essas etapas:

Figura 53 - (a) Dobradiças de porta, (b) abertura do compartimento, (c) seção de testes fechada.



Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

Imediatamente após o término na parte elétrica e do fechamento da seção de testes, iniciou-se a etapa da pintura. Para essa etapa, utilizou-se uma lata de tinta 900mL da cor azul Del Rey, uma lata de solvente aguarrás, um pincel trinch 2" e uma

fita crepe larga. Para a mistura, realizou-se a diluição do esmalte sintético na proporção de 10% em volume, conforme especificação do fabricante. A diluição com aguarrás foi feita para melhorar o alastramento da tinta e a aplicação da mesma. Dessa forma, aplicou-se 2 demãos do esmalte das peças de madeira, sendo o intervalo de cada demão de no mínimo 5h e no máximo 24h. Pelo fato do material compensado não apresentar nenhuma proteção contra a umidade, a pintura se fez necessária também na parte inferior das bases para evitar o prejuízo das seções através da umidade ascendente. A Figura 54 a seguir mostra os materiais utilizados nessa etapa:

Figura 54 - Solvente aguarrás e tinta esmalte sintético para madeira



Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

Já o processo de pintura das seções do túnel pode ser visto pela Figura 55 adiante:

Figura 55 - (a) Pintura do material compensado, (b) 1º demão aplicada



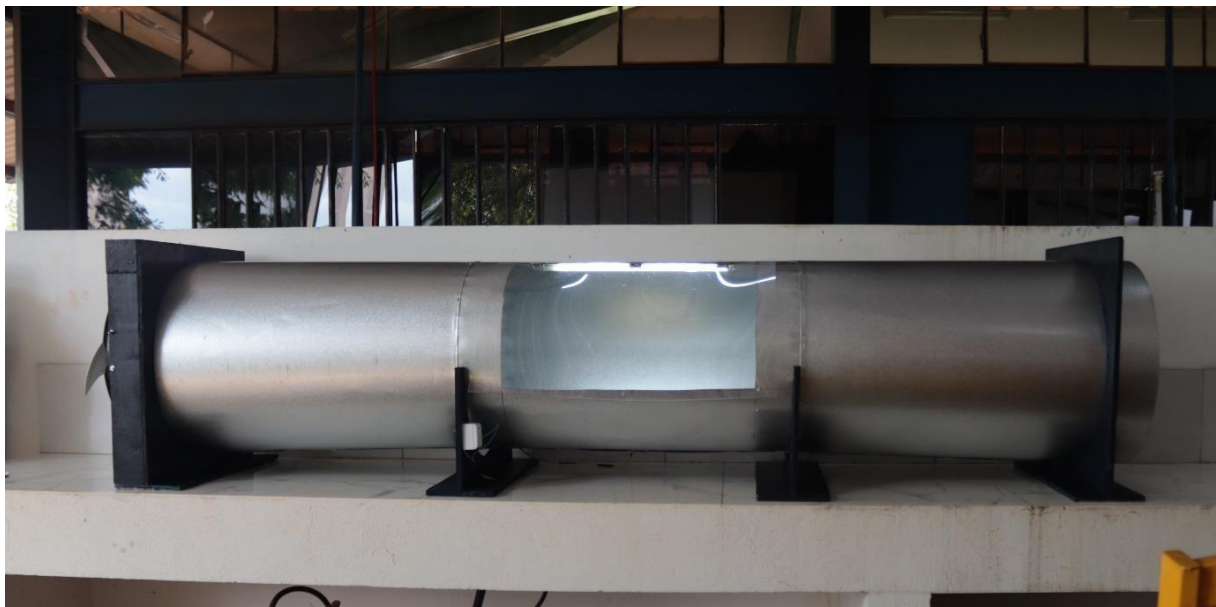
(a)

(b)

Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

Por fim, posicionou-se de volta as seções pintadas nos seus devidos locais e efetuou-se o registro fotográfico do equipamento finalizado como exposto pela Figura 56 a seguir.

Figura 56 - Túnel de vento finalizado



Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

A partir disso aponta-se a seguir a lista de mudanças entre o projetado e aquilo que realmente foi executado de acordo com as situações e realidades locais:

- a) Mudança do material referente ao corpo do túnel, de fôrma de pilarcircular de papelão para chapa de zinco galvalume calandrada;
- b) Abertura de janela única para a seção de testes;
- c) Substituição do plástico acrílico rígido pelo plástico flexível incolor;
- d) Mudança do compensado plastificado de 15mm para o compensado14mm do tipo cola branca;

4.4 Somatório dos custos de projeto

Considerando o primeiro objetivo específico do trabalho, realizou-se o somatório dos custos de fabricação do túnel de vento, segregando seus itens por etapas de construção. Além disso, identificou-se os materiais que foram obtidos por meio de doação ou não, e desconsiderou-se os custos envolvendo mão de obra, como mostra a Tabela 3 a seguir.

Tabela 3 - Custos Finais do Mini Túnel de Vento Do IFTO (sem considerar mão de obra)

	<i>Item</i>	<i>Descrição</i>	<i>Unidade</i>	<i>Qntd</i>	Preço unitário(R\$)	Preço total (R\$)	Doação
Corpo do túnel	a)	Chapa de zinco galvalume #28 (0.43mm) tipo bobina de 1.00m de largura	<i>m²</i>	6	56.80	340.80	✓
	b)	Folha de madeira compensada cola branca (1,10 x 2,20m) - espessura 14mm	<i>m²</i>	2.42	52.73	127.60	✓
	c)	Chapa de plástico flexível incolor - espessura 2mm	<i>m²</i>	0.40	250.00	100.00	X
	d)	Dobradiças comum para porta - 3 pçs pequenas	<i>und.</i>	1	6.99	6.99	X
	e)	Parafusos	<i>und.</i>	8	0.20	1.60	X
Instalações elétricas	f)	Caixa com um interruptor simples	<i>und.</i>	1	12.21	12.21	X
	g)	Plugue macho 180 2P+T 10A preto	<i>und.</i>	2	4.66	9.32	X
	h)	Cabo elétrico flexível 2.5mm	<i>m</i>	2.20	2.20	4.84	✓
	i)	Cabo elétrico flexível 1.5mm	<i>m</i>	5.60	1.50	8.40	✓
	j)	Fita isolante antichama	<i>und.</i>	1	4.56	4.56	✓
	k)	Lâmpada LED tubular 60cm	<i>und.</i>	1	12.59	12.59	X
	l)	Soquete rabicho para lâmapada	<i>und.</i>	1	1.44	1.44	X
Pintura	m)	Fita dupla face 3m	<i>und.</i>	1	13.84	13.84	X
	n)	Tinta esmalte sintético Azul del Rey 900mL	<i>und.</i>	1	31.56	31.56	X
	o)	Solvente aguarrás para tinta 900mL	<i>und.</i>	1	14.23	14.23	X
	p)	Pincel trincha 2"	<i>und.</i>	1	5.52	5.52	X
	q)	Fita crepe 48mm x 50m	<i>und.</i>	1	10.07	10.07	X
Propulsão	r)	Sucata de ventilador de ar condicionado + motor embutido	<i>und.</i>	1	-	-	✓
Total geral¹:						R\$ 705.57	
Custo final² (com descontos):						R\$ 219.37	

Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

Notas:

(1) Total geral considerando o somatório de todos os materiais utilizados no túnel;

(2) Custo final do projeto descontando o valor dos materiais aproveitados ou obtidos por meio de doação.

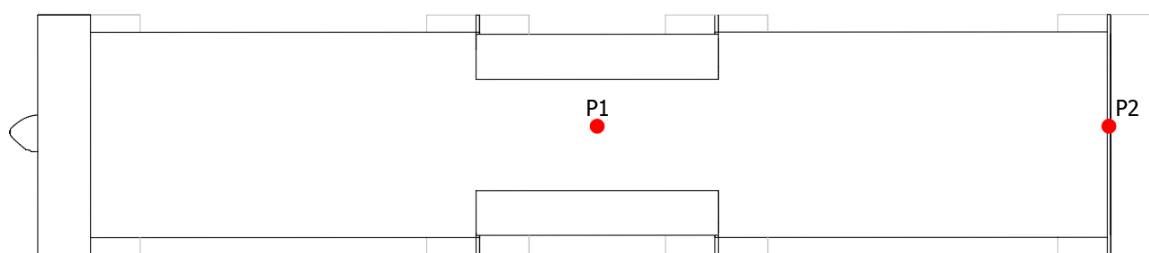
Ao final do levantamento de custos, verificou-se que o projeto do MTV didático obteve um custo final de R\$ 219,37 (duzentos e dezenove reais e trinta e sete centavos). O valor exato de todos os materiais envolvidos em sua construção, elevaria o custo do protótipo para um total geral de R\$ 705,57 (setecentos e cinco reais e cinquenta e sete centavos), caso não houvessem as doações e o aproveitamento dos materiais existentes.

Tendo em vista que o Art. 1º da Lei 14.158, de 2 de junho de 2021 (BRASIL, 2021) estabelece o salário-mínimo anual como sendo de R\$ 1.100,00 (mil e cem reais), conclui-se que o custo total do túnel de vento executado foi inferior a esse parâmetro estabelecido.

4.5 Medição da velocidade do vento no túnel

Após o túnel ser finalizado, realizou-se no interior do protótipo a medição da velocidade do ar. Destaca-se que a medição foi feita com a cabine de testes aberta, o que provocou perda da massa de ar na sua lateral, influenciando diretamente nos resultados envolvendo o teorema da conservação da massa. Os dois pontos onde realizaram-se a captação dos dados no túnel, são expostos na Figura 57 a seguir.

Figura 57 - Pontos de medição da velocidade do ar no túnel



Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

Para as medições dessa velocidade nos pontos, utilizou-se um anemômetro disponível no laboratório do Instituto. A ferramenta com vazão de ar pode ser vista pela Figura 58 a seguir.

Figura 58 - Anemômetro com vazão de ar



Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

O momento exato das medições é mostrado pela Figura 59 adiante:

Figura 59 - (a) Medição da velocidade em P1, (b) medição da velocidade em P2



(a)

(b)

Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

Em P1 obteve-se o valor de 1,96 m/s, já em P2 o resultado foi de 0,91 m/s. Em virtude da lateral do túnel estar aberta, acredita-se que os valores serviram apenas para ilustrar de maneira aproximada as velocidades de escoamento do fluido na mesa de experimentação. Vale ressaltar que, as informações quantitativas do túnel e da pressão do vento sobre os modelos testados, não fazem parte dos objetivos desta pesquisa. Entretanto, a partir desse resultado obtido da velocidade de escoamento do fluido, pôde-se classificar o MTV-IFTO como sendo um túnel subsônico. Tal constatação pode ser observada a seguir.

$$v = 1,96 \text{ m/s}$$

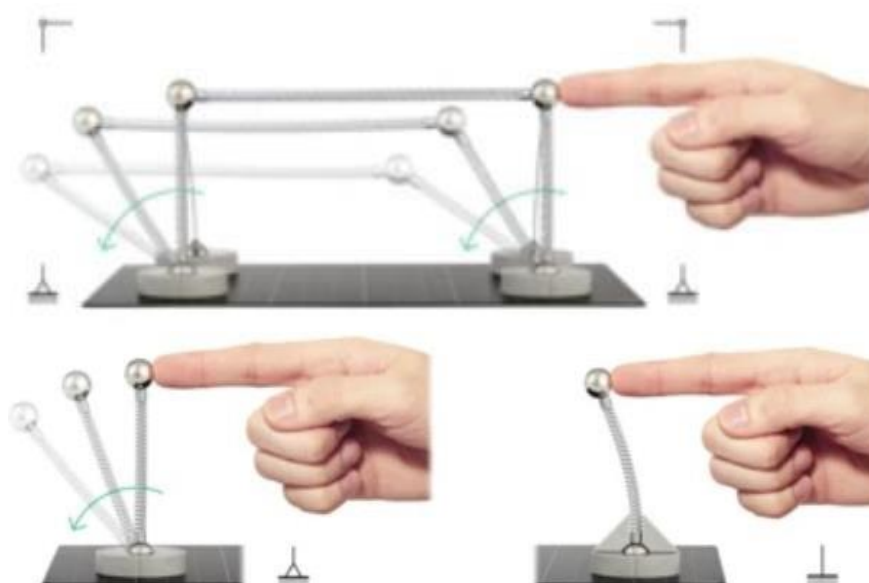
$$c = 340 \text{ m/s} \text{ (Guillemin, 1868 apud Errobidart e Gobara, 2008).}$$

$$v/c = Ma = 0,00576 < 1 \text{ (Subsônico)}$$

4.6 Ensaios utilizando o modelo kit mola estrutural

O kit mola estrutural é um modelo didático de simulação do comportamento das estruturas. Nele, as molas, os nós e as bases se conectam através de ímãs. Para o uso educacional em sala de aula, os professores geralmente utilizam o próprio dedo para simular as cargas incidentes na estrutura. Tal medida proporciona a visualização da deformação e do comportamento do pórtico quando submetido a um carregamento, como mostra a Figura 60 a seguir.

Figura 60 - Simulação das cargas incidentes na estrutura como o uso do dedo



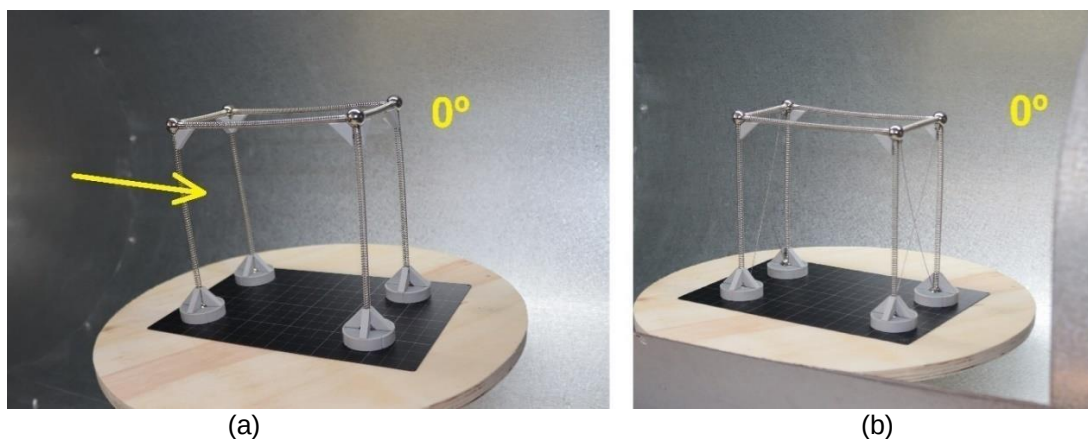
Fonte: Livro/Manual Mola 1 (2021).

No caso do túnel de vento em questão, o carregamento das forças horizontais incidentes na estrutura será simulado pelo próprio vento. Nesse sentido, após a definição das características referentes à velocidade alcançada do fluido no interior do túnel, iniciou-se a montagem do modelo kit mola estrutural com o auxílio do professor orientador. Nesse sentido, montou-se dois modelos de pórtico, sendo um com e o outro sem contraventamento. Para cada pórtico montado, realizou-se o ensaio em três direções diferentes: 0° , 45° e 90° . Além disso, para cada posição ensaiada, efetuou-se a gravação de vídeos com o intuito de captar a movimentação dos nós da estrutura. Posteriormente, os vídeos produzidos foram comparados e analisados lado a lado, sendo interpretados de acordo com os conceitos presentes na engenharia de estruturas.

De acordo com Santos e Salés (2001), em condições práticas, a rigidez pode ser entendida como o oposto da flexibilidade. Em vista disso, a Figura 61 mostra os

pórticos testados na direção do vento a 0° , isto é, na menor direção da estrutura:

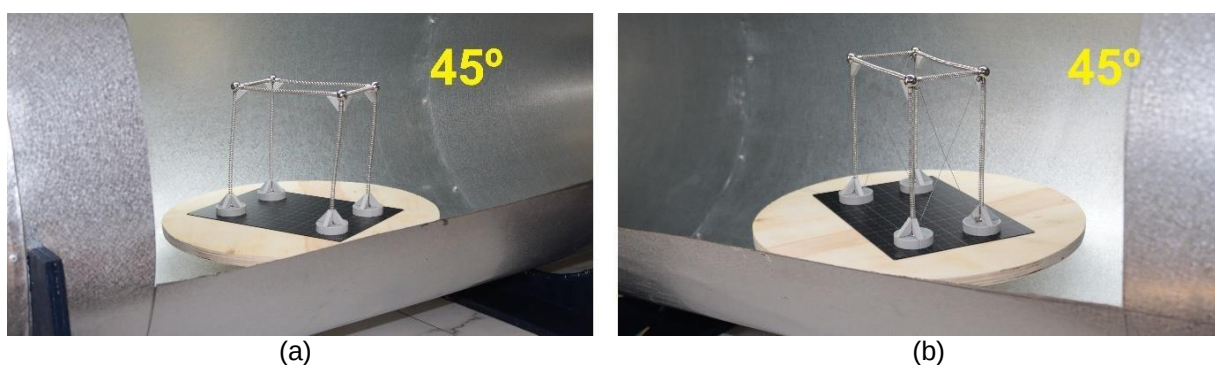
Figura 61 - (a) Pórtico a 0° sem contraventamento, (b) pórtico contraventado



Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

A Figura 62 a seguir mostra os pórticos testados na direção a 45° :

Figura 62 - (a) Pórtico a 0° sem contraventamento, (b) pórtico contraventado



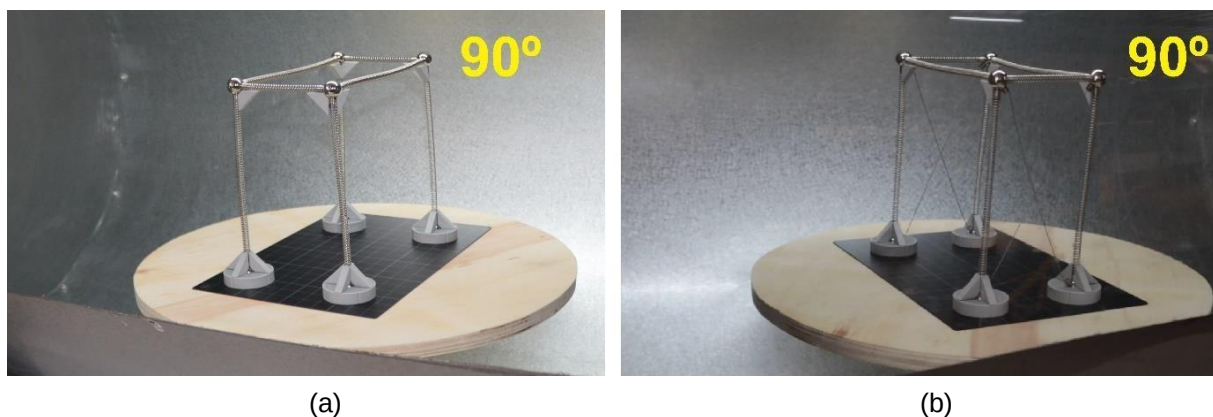
Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

Para as duas posições anteriores, não foi possível identificar com clareza, a olho nu, quais situações o pórtico apresentou maior rigidez. Acredita-se que a posição da câmera na hora da filmagem, bem como, o impulso insuficiente da massa de ar soprada pelo ventilador, cooperou para essa situação de dúvida. Aponta-se que, em virtude da escassez das forças horizontais do vento, não foi possível produzir grandes deformações na estrutura. Assim, a diferenciação de comportamento do pórtico contraventado e do modelo estrutural apenas com conectores rígidos foi prejudicada em sua análise observativa.

Em contrapartida ao insucesso das análises visuais a 0° e a 45° , os experimentos realizados na posição a 90° , ou seja, na maior dimensão do pórtico, mostraram-se evidentemente satisfatórios, possibilitando identificar em qual situação a estrutura obteve o melhor desempenho. A Figura 63 expõe a configuração do pórtico

na posição a 90° :

Figura 63 - (a) Pórtico a 90° sem contraventamento, (b) pórtico contraventado

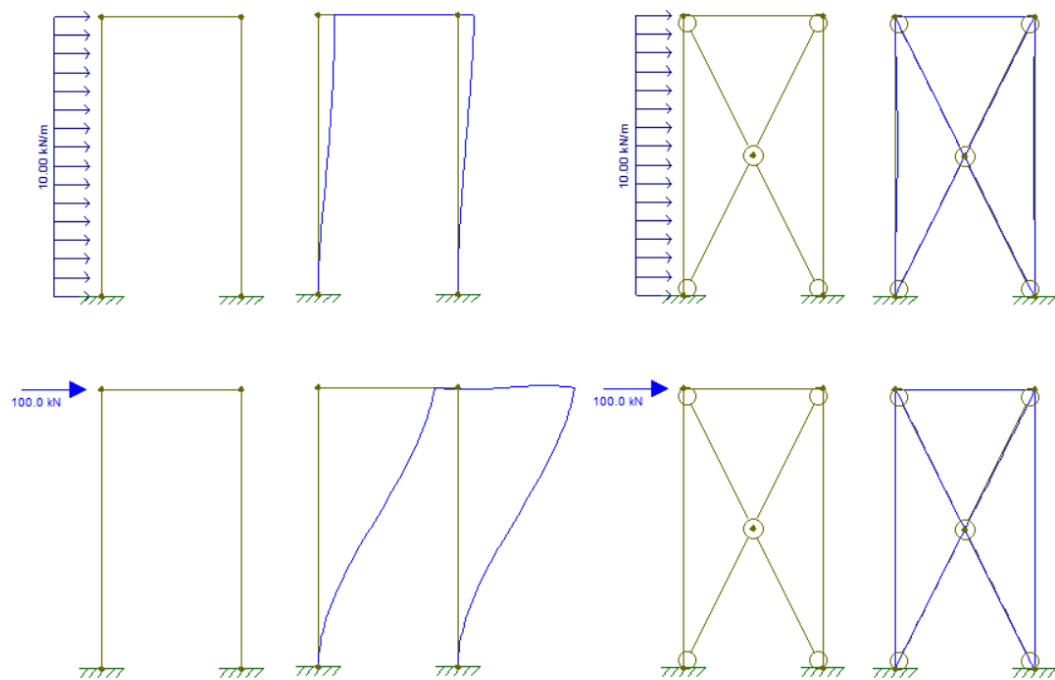


Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

No experimento acima, o comportamento dos tirantes de contraventamento para travamento da estrutura, proporcionou maior rigidez, com a redução significativa dos deslocamentos (Fig. 63-b). Enquanto no modelo não contraventado, o mesmo apresentou maiores deslocamentos e vibrações da estrutura (Fig. 63-a). Avalia-se, portanto, que a posição do pórtico a 90° se mostrou a melhor opção para ilustrar didaticamente a importância de se contraventar as estruturas na direção correta. Para mais, as análises de deformação da estrutura foram submetidas ao software gráfico-interativo Ftool®, a fim de reafirmar seu comportamento. Foram testadas condições de pórtico contraventado e não contraventado, submetido a uma carga aleatória pontual no nó e a uma carga linearmente distribuída no pilar, como mostra a Figura 64 a seguir.

A imagem acima apresentou similaridades gráficas quando comparadas ao conjunto mola testado em formato real. O pórtico plano com contraventamento apresentou menores graus de deformação quando submetido ao carregamento externo induzido do vento. De acordo com Pfeil e Pfeil (2013), em termos de deslocabilidade lateral, a comparação entre duas estruturas diferentes dependerá da rigidez da subestrutura de contraventamento. Por isso, os modelos estruturais devem ser contraventados para garantir estabilidade lateral e redução do comprimento de flambagem.

Figura 64 - Deformação de pórticos 2D submetidos a carga pontual e linearmente distribuída



Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Por fim, as análises realizadas no túnel consistiram na observação unicamente visual e qualitativa da deformação causada pelo vento nos modelos estruturais. Foi observado a partir disso que para os pórticos na posição a 90°, o kit mola sem contraventamento apresentou maior deslocabilidade quando comparado ao pórtico contraventado. Tal experimento, serviu como ilustração lúdica abrangendo conteúdos como deformações, concepção de projeto, comportamento estrutural e subestruturas de contraventamento, podendo ser aplicável a diversas disciplinas do curso.

Nessa perspectiva, sabe-se que o aprendizado ocorre de forma mais efetiva quando a teoria e a prática se juntam. Para tanto, entende-se que o projeto de pesquisa realizado, obteve sucesso em todos os seus objetivos específicos e êxito parcial no que se refere ao objetivo geral, em função da mudança da fôrma de pilar circular para a chapa de zinco galvanizado. As características de um túnel de vento de circuito aberto, subsônico, do tipo soprador e de seção constante foram obedecidas. Em relação à percepção dos estudantes e sua efetiva aplicação nas aulas e conteúdos relacionados da engenharia civil, acredita-se que o túnel de vento construído será relevante e útil para o ensino e aplicação didática dentro da Instituição. Espera-se, além disso, que o equipamento seja aprimorado por meio de intervenções futuras que otimizem sua funcionalidade em termos de velocidade do fluido e redução de perdas do sistema.

Em termos orçamentários, tal como visto, o projeto do MTV desenvolvido buscou a minimização máxima dos custos de construção. Nesse sentido, foi utilizado o motor embutido de uma sucata de ventilador de ar condicionado, com características de fábrica de 160W e 60Hz, bem como seu ventilador axial com hélices de 45cm de diâmetro. O comprimento final do túnel foi de aproximadamente 3 metros, onde materiais disponíveis no Instituto foram incorporados, assim como, materiais recebidos através de doação e outros adquiridos com recursos próprios. Ao final de tudo, o custo de construção com os descontos obtidos foi de R\$ 219,37 (duzentos e dezenove reais e trinta e sete centavos), o que foi inferior a um salário-mínimo tido como meta.

Enfatiza-se também que o equipamento fabricado possui fins didáticos, e para outras aplicações, deve-se passar por calibração dos equipamentos de medição como o anemômetro.

Em resumo, pode-se concluir que o equipamento didático fornecido ao IFTO possibilita uma infinidade de estudos e simulações, tanto por parte dos alunos quanto da equipe docente da Instituição, além de se manter dentro das previsões de custo estabelecidas para sua construção.

5.1 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Em relação às recomendações para trabalhos futuros sugere-se:

- Implementar um sistema de aferição de dados no interior do túnel para medição da velocidade e pressão do vento nos modelos testados;
- Substituir ou aprimorar o sistema de propulsão com a instalação de um novo motor e de um potenciômetro, para que o ventilador atinja maiores velocidades e apresente diferentes potências de rotação da hélice;
- Corrigir os locais de vazamento de ar no túnel para que através dessa intervenção haja máxima redução das perdas no sistema;
- Disponibilizar diferentes comprimentos de cano PVC Ø100mm, a fim de oferecer maiores opções de altura para a mesa de experimentação;
- Realizar a abertura da segunda janela lateral do túnel, prevista em projeto, para possibilitar a visualização do experimento dos dois lados;
- Estudar junto as instâncias do IFTO a possibilidade de ofertar uma disciplina optativa para o curso de engenharia civil com o foco na aerodinâmica das construções.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6123**. Forças devidas ao vento em edificações. Rio de Janeiro, 1988.

BATISTA, W.G; SANTOS, C.L.; NASCIMENTO, R.M.; CRUZ, N.R.; BATISTA, P.S. A importância da Metodologia Prática aplicada à Engenharia como fator inerente à aquisição do conhecimento profissional: o caso da disciplina de Ciência dos Materiais. In: JORNADA DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA E EXTENSÃO, 8. Out/2017. **Anais...** Gurupi: IFTO, 2017.

BRASIL. **Lei Federal Nº 14.158, de 2 de junho de 2021**. Dispõe sobre o valor do salário-mínimo a vigorar a partir de 1º de janeiro de 2021. Disponível em: www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2021/lei/L14158.htm. Acesso em: 12 nov. 2021.

BRASIL, R. M. L. R. F.; SILVA, M. A. **Introdução à dinâmica das estruturas para Engenharia Civil**. 2. ed. São Paulo: Bluncher, 2013.

BRUNETTI, F. **Mecânica dos Fluidos**. 2. ed. rev. São Paulo: Person Prentice Hall, 2008.

CAMARGO, R. M. **Estudo da eficiência para a ventilação natural dos sheds em hospitais da Rede Sarah**. 114f. 2011. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo. Campinas, 2011.

CAMPOS, F. N.; DENADAI, M.G. **Projeto e construção do túnel de vento, simulação de descolamento da camada limite**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Centro Tecnológico da Universidade Federal do Espírito Santo – Ufes. Vitória, 2005.

CARMINATTI, L.J.; KONRATH, R. Desenvolvimento de um túnel de vento subsônico com foco no ensino didático. **Anais...** – Engenharia Mecânica. V.4, nº 1. Chapecó: UCEFF, 2019.

CHAVES, V. L. J.; AMARAL, N. C. A educação superior no Brasil e os desafios da expansão e do financiamento e comparações com outros países. **Revista Educação em Questão**. Natal, v. 51, n. 37, p. 95-120, jan/abr. 2015.

CLANNACHAN, G.H *et al.* Practical application of CFD for Wind loading on tall buildings. In: 7TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON TALL BUILDINGS. **Anais...** Hong Kong, China, 2009.

COLENCI, A. T. **O Ensino de Engenharia como uma atividade de serviços: A exigência de atuação em novos patamares de qualidade acadêmica**. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, USP. 129p. São Carlos, 2000.

COSTA, H. R. S; SILVA, J. W.; ASSAYAG, E. S. Túnel de vento de baixo custo

para atividades acadêmicas do curso de Engenharia Mecânica. In: XLI CONGRESSO BRASILEIRO DE ENSINO EM ENGENHARIA – COBENGE. **Anais...** Gramado, 2013.

COUTINHO, F. R. **Projeto de um túnel de vento subsônico do tipo soprador**. Graduação (Bacharelado em Engenharia Mecânica) - Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ. 70p. Rio de Janeiro, 2014.

DAVENPORT, A.G. What makes a structure wind sensitive? In: Proc. THE JUBILEUM CONFERENCE ON WIND EFFECTS ON BUILDINGS AND STRUCTURES. **Anais...** Porto Alegre, Brazil 25-29 May 1998, eds. A. A. Balkema, (Rotterdam, Netherlands, 1998). pp 1-14.

ERROBIDART, N.C.G. GOBARA, S.T. A Descontextualização das Experiências de Tiros Alternados em Livros Didáticos de Física. In: **Anais...** UFMS: Campo Grande, 2008.

FÔRMAS PARA CONCRETO – Website Informativo Tubominas. **Portfólio de obras utilizando as fôrmas de papelão**. Disponível em: <
<https://formasparaconcreto.com.br/portfolio>>. Acesso em: 01 out. 2021.

GIL, A. C. **Métodos e técnicas de pesquisa social**. 5.ed. São Paulo: Atlas, 1999.

GOMES, M. H. R. **Apostila de Mecânica dos Fluidos**. Faculdade de Engenharia da Universidade Federal de Juiz de Fora – UFJF. Juiz de Fora, 2012. Disponível em: <https://www.ufjf.br/engsanitariaeambiental/files/2012/09/Apostila-de-Mec%C3%A2nica-dos-Fluidos.pdf>. Acesso em: 10 jan. 2021.

GORECKI, J. P. Wind tunnel design and applications In: JUBILEUM CONFERENCE ON WIND EFFECTS ON BUILDINGS AND STRUCTURES. **Anais...** 1998, Porto Alegre. Proceedings... Porto Alegre: Brasil, May 25-29, p.1-13, 1998. Riera and Davenport Editors.

G1 PA. Justiça do Pará condena engenheiro do edifício Real Class por homicídio. **Portal G1 Pará**. Belém, 31 de jun. de 2016. Disponível em: <http://g1.globo.com/pa/para/noticia/2016/05/justica-do-para-condena-engenheiro-do-edificio-real-class-por-homicidio.html>. Acesso em: 06 jan. 2021.

JR CARRIL, C.F. Ação do vento nas estruturas. **Anais do 3º Congresso Temático de Dinâmica e Controle da SBMAC**. Universidade Estadual Paulista – UNESP. Ilha Solteira, 2004.

LONGO, L. F. **Principais configurações de vento**. Disponível em: <https://suporte.altoqi.com.br/hc/pt-br/articles/360000629874-Principais-configura%C3%A7%C3%B5es-de-vento>. Acesso em: 12 jan. 21.

LUZ, C. R. C. **Análise Global da Estrutura**: para estruturas de concreto armado. 12 de set. de 2019 - 18 de dez. de 2019. 36 f. Notas de Aula. Concreto Armado II.

MATSUMOTO, E. Túnel de Vento do LACAF/FEC/UNICAMP – Instrumento para ensaios de modelos físicos reduzidos e ventilação natural. In: II

CONGRESSO LATIOAMERICANO DE VIENTOS (CLIV). **Anais...** La Plata, dez/2012.

MAZARIM, D. M. **Histórico das pontes estaiadas e sua aplicação no Brasil**. Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia de Estruturas e Geotécnica. São Paulo, 2011.

MOLA MODEL. **Livro/Manual Mola 1**. Disponível em: <https://br.molamodel.com/pages/book-manual-mola-1>. Acesso em: 13 nov. 2021.

NATIONAL AERONAUTICS AND SPACE ADMINISTRATION. **What Are Wind Tunnels?**. Disponível em: <https://www.nasa.gov/audience/forstudents/k-4/stories/nasa-knows/what-are-wind-tunnels-k4.html>. Acesso em: 17 nov. 2020.

NÚÑEZ, G. J.Z. LAREDO-SOUZA, A.M. ROCHA, M.M. Uso do Túnel de Vento como Ferramenta de Projeto no Design Aerodinâmico. **Design e Tecnologia 04**. Porto Alegre: UFRGS, 2012.

OLIVEIRA, M. F. **Metodologia Científica**: um manual para a realização de pesquisas em administração. 72p. Manual (Pós-graduação) - Universidade Federal de Goiás, Catalão: UFG, 2011.

PERES, M. R. Novos desafios da gestão escolar e de sala de aula em tempos de pandemia. **Revista Administração Educacional - CE - UFPE**. Recife-PE, V. 11, N. 1, p. 20-31, jan-jun/2020.

PÉREZ, P. N. **Sistemas Fluidomecânicos**: Ventiladores. Notas de aula. Faculdade de Engenharia da Universidade Estadual Paulista Júlio Mesquita Filho Campus Guaratinguetá – FEG/UNESP, 2014. Disponível em:

<<https://www.feg.unesp.br/Home/PaginasPessoais/nestorproenzaperez/sfm-2014-aula-23.pdf>>. Acesso em: 15 jan. 2021.

PFEIL, Walter. PFEIL, Michéle. **Estruturas de Aço**: Dimensionamento Prático. 8º ed – [Reimpr.] - Rio de Janeiro: LTC, 2013.

PITTA, J. A. A. **Ações devidas ao vento em edifícios de andares múltiplos, edifícios com coberturas do tipo shed e do tipo duas águas com lanternim**. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Estruturas) - Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, USP. 149p. São Carlos, 1987.

PRAVIA, Z.M.C. CORONETTI, L. Um protótipo de um Mini Túnel de Vento (MTV) para ensino de graduação. IN: XXXI CONGRESSO BRASILEIRO DE ENSINO EM ENGENHARIA – COBENGE. **Anais...** Rio de Janeiro, 2003.

ROCHA, D. H. BOTEGA, R. R. **Estudos dos acidentes em galpões ocorridos pela ação do vento**: Avaliação dos danos causados ocasionados pela tempestade de 16 de outubro de 2016 em Tubarão-SC. Monografia (Bacharelado em Engenharia civil) – Universidade do Sul de Santa Catarina. Tubarão, 2017.

ROCHA, L. M. **Estudo e dimensionamento de hélices para propulsão aeronáutica**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade

Federal de Juiz de Fora, Faculdade de Engenharia. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil 2019. 104p.

SANTOS, *et al.* **Elaboração de túnel de vento para aplicações de ensaios aerodinâmicos**. Trabalho de Conclusão de Curso (Curso Técnico em Mecânica). Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo – IFSP. 39p. São José dos Campos, 2014.

SANTOS, L.B. SALÉS, J.J. Estudo da influência do contraventamento e da rigidez das ligações em cúpulas metálicas treliçadas. **Pesquisa e tecnologia Minerva**. p. 1-8. 2001.

SEMEM, Felipe. **Controle de Oscilações em Pontes Suspensas com o uso de Atenuadores Maciços Ajustáveis**. 62 p. Monografia (Bacharelado em Engenharia Civil) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR. Pato Branco 2016.

SOETHE, V. L. SOUZA, L. F. S. DEYNA, A. Projeto e Construção de um Túnel de Vento Didático. In: XXXIX CONGRESSO BRASILEIRO DE EDUCAÇÃO EM ENGENHARIA - COBENGE. **Anais...** 03 a 06 out. Blumenau-SC, 2011.

SOUZA, C.S; IGLESIAS, A.G; FILHO, A.P. Estratégias inovadoras para métodos de ensino tradicionais – aspectos gerais. **Medicina**. Ribeirão Preto, p. 284-292, jul/ago. 2014.

STANDERSKI, R. **Ação Estática do Vento em Tabuleiros de Pontes: Caracterização Aerodinâmica Em Túnel De Vento**. 2012. 135f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, UFRGS, Porto Alegre.

SUDBRACK, A. **Análise de estruturas de concreto armado sob efeito do vento com auxílio de software computacional**. 70p. Monografia (Bacharelado em Engenharia Civil) – Lajeado: CETEC/Univates, 2016.

TAPAJÓS, L.S. *et al.* Efeito do vento no dimensionamento de edifícios de concreto armado. **Revista IBRACON**. Vol. 9. nº 6. p. 883-910. São Paulo: Nov./Dec. 2016. Disponível em: https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1983419520160006000883. Acesso em: 06 jan. 2021.

TQS INFORMÁTICA LTDA. **Edifício Jorge Coelho em São Paulo-SP**. Instituto de Pesquisas Tecnológicas – IPT. 28 set. 2017. Instagram: @tqsinfo. Disponível em: <https://www.instagram.com/p/BZllyd5nllg/?igshid=2mevink4s7t0>. Acesso em: 29 de dez. 2020.

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL (UFRGS). **Túnel de Vento**. Disponível em: <http://www.ufrgs.br/lac/tunel.htm>. Acesso em: 9 dez. 2020.

VERGARA, Sylvia C. **Projetos e relatórios de pesquisa em administração**. 3.ed. Rio de Janeiro: Atlas, 2000.

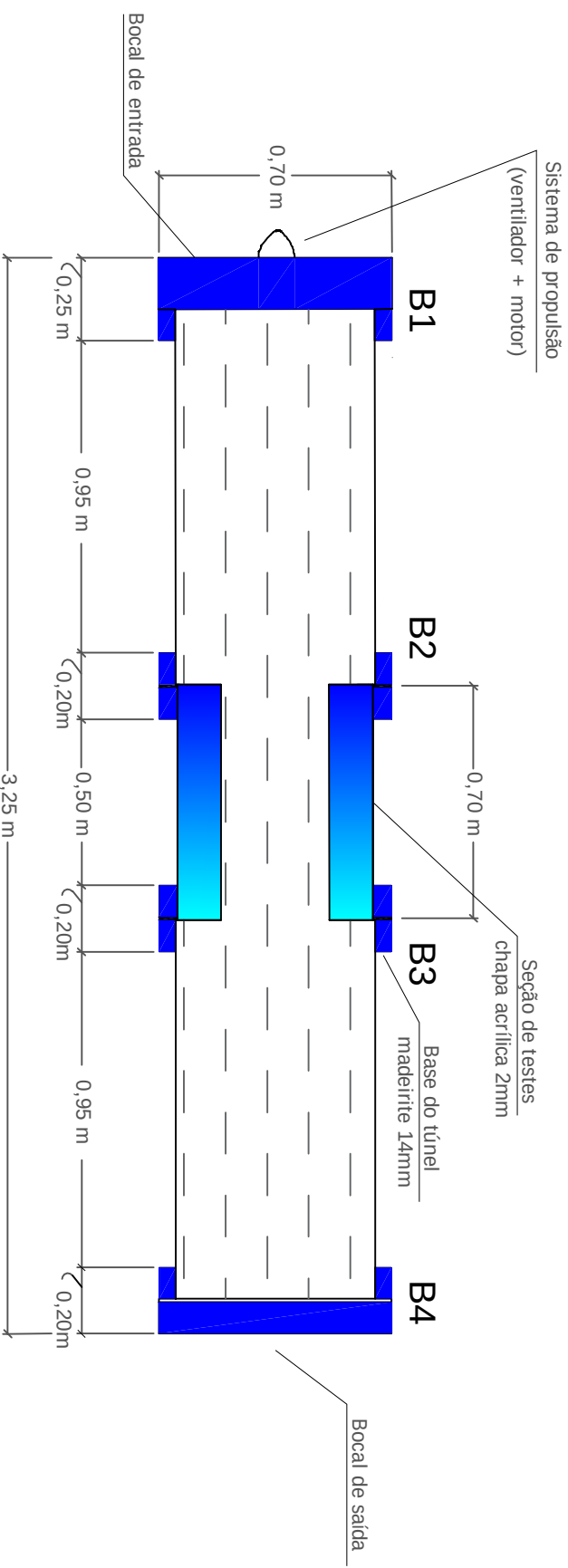
VISCONTI, J. P. P. G. **Estudo inicial de um veículo aéreo não tripulado do**

tipo tilt-rotor. Monografia (Graduação em Engenharia Mecânica). Universidade Federal de Juiz de Fora – UFJF. 63p. Juiz de Fora, 2016.

WAHRHAFTIG, A. M. **Ação do vento em estruturas esbeltas com efeito geométrico.** [livro eletrônico]. 2. ed. São Paulo: Blucher, 2017.

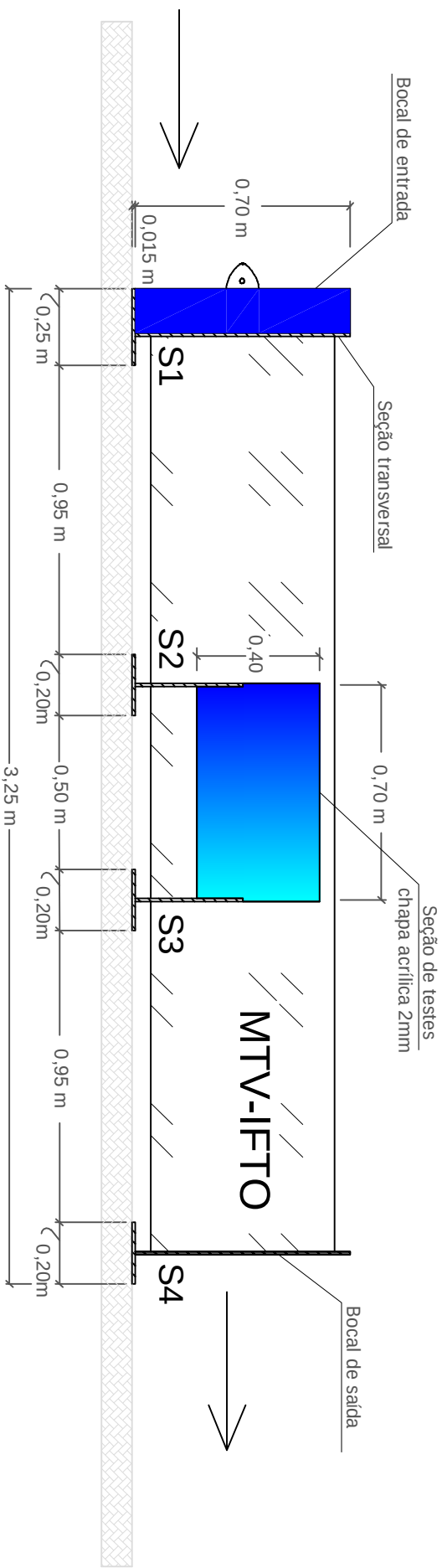
YIN, R. K. **Estudo de caso:** planejamento e métodos. 2.ed. Porto Alegre: Bookman, 2001.

APÊNDICES

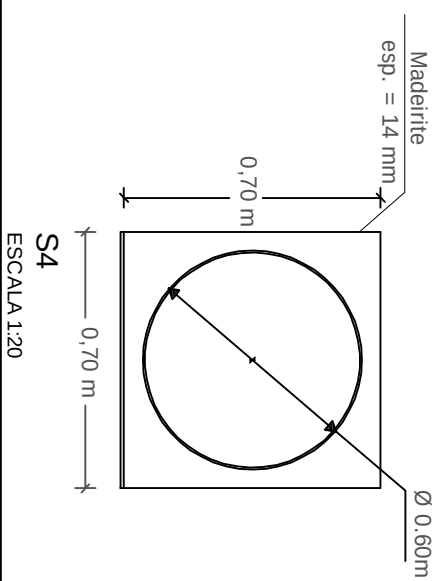
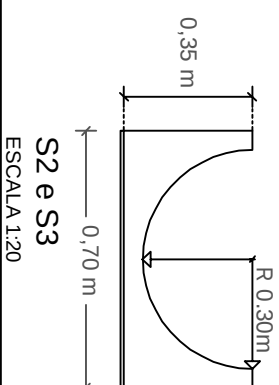
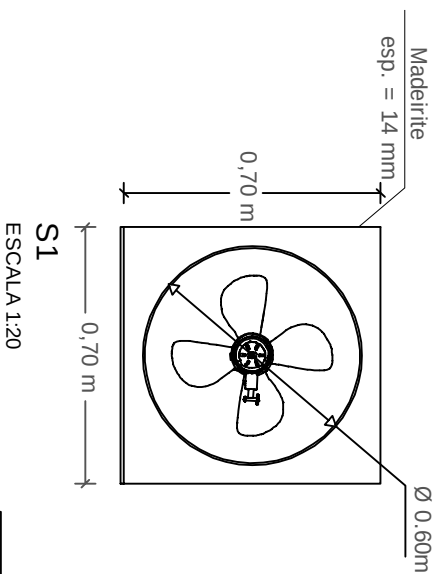


PLANTA BAIXA - MINI TÚNEL DE VENTO
ESCALA 1:20

PROJETO:			
MINI TÚNEL DE VENTO - IFTO			
ASSUNTO:	Trabalho de Conclusão de Curso		
AUTOR:	Caio Lucas dos Santos		
ORIENTADOR:	Prof. Dr. Moacyr Salles Neto		
CONTEÚDO:	- Planta baixa		
DATA:	Dezembro/2021		
ESCALA:	1:20		
PRANCHAS:	1/3		

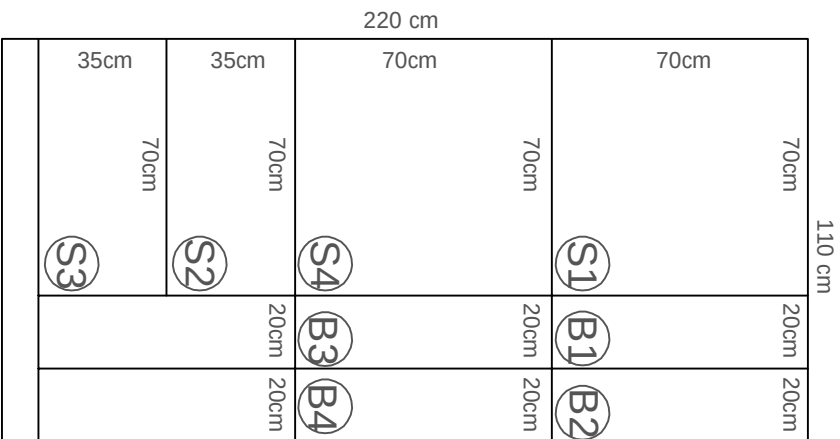


VISTA LATERAL - TÚNEL DE VENTO SOPRADOR
ESCALA 1:20



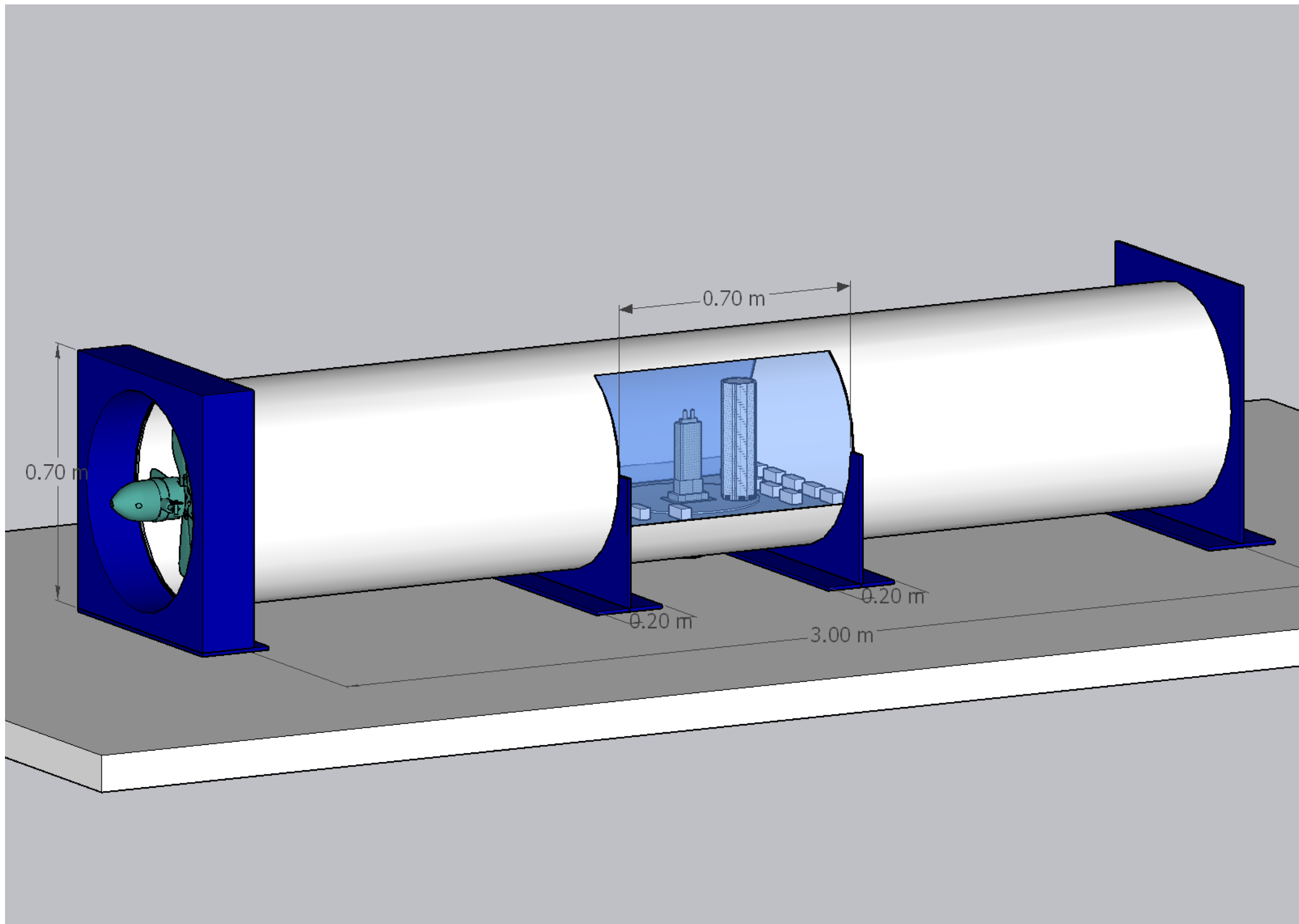
MINI TÚNEL DE VENTO - IFTO

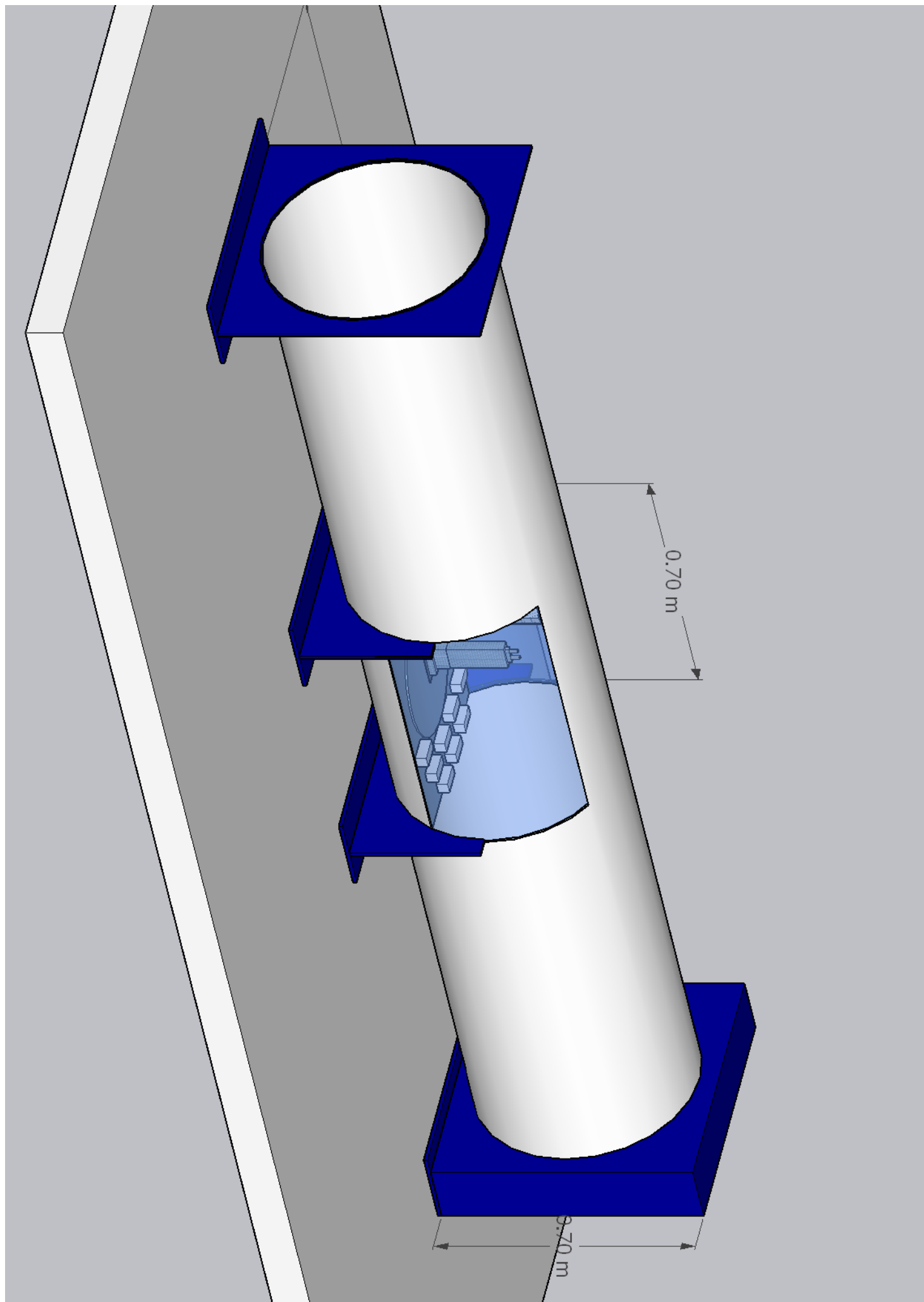
PROJETO:			
ASSUNTO:			
Trabalho de Conclusão de Curso			
AUTOR:			
Caio Lucas dos Santos			
ORIENTADOR:			
Prof. Dr. Moacyr Salles Neto			
CONTÉUDO:		ESCALA:	
- Vista lateral		1:20	
- Seções do túnel		PRANCHAS:	
DATA:		2/3	
Dezembro/2021			



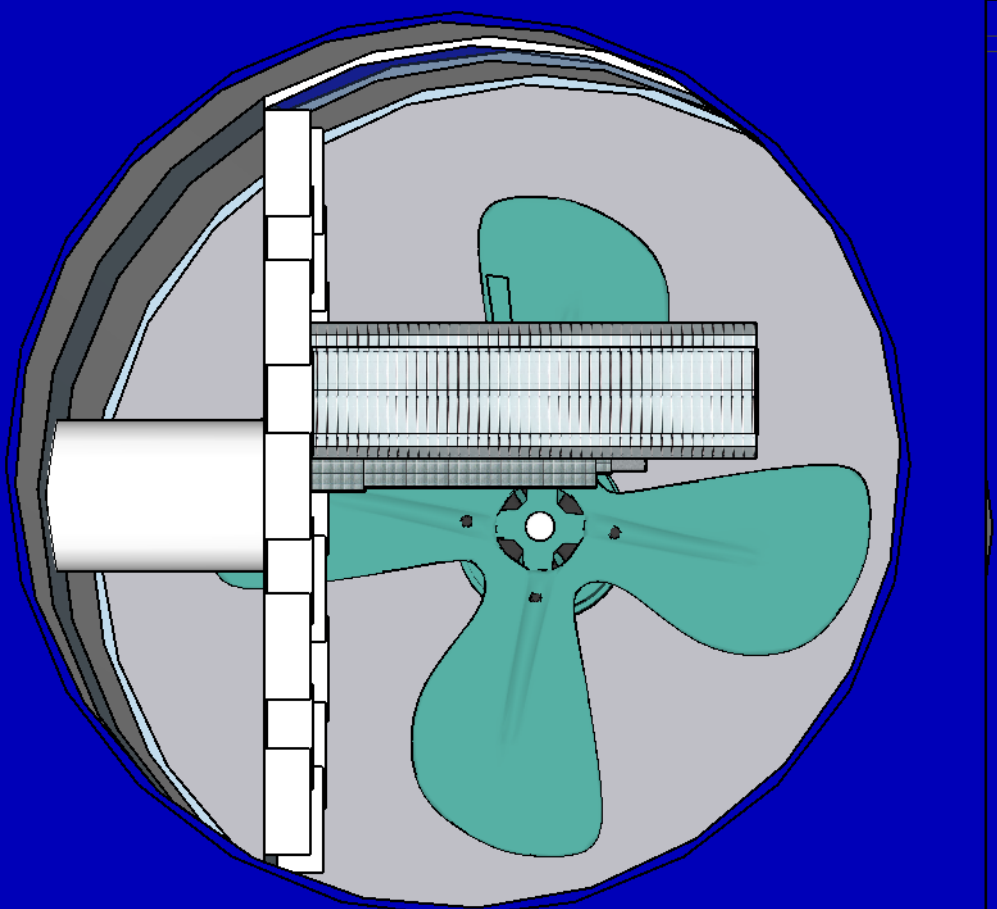
CORTES NA CHAPA DE MADEIRITE 1,10X2,20m
ESCALA 1:20

PROJETO: EXECUTIVO - MTV IFTO			
ASSUNTO:	Trabalho de Conclusão de Curso	CONTEÚDO:	- Cortes executivos p/ carpintaria - Lista de materiais
AUTOR:	Caio Lucas dos Santos	ESCALA:	1:20
ORIENTADOR:	Prof. Dr. Moacyr Salles Neto	PRANCHAS:	3/3
		DATA:	Dezembro/2021

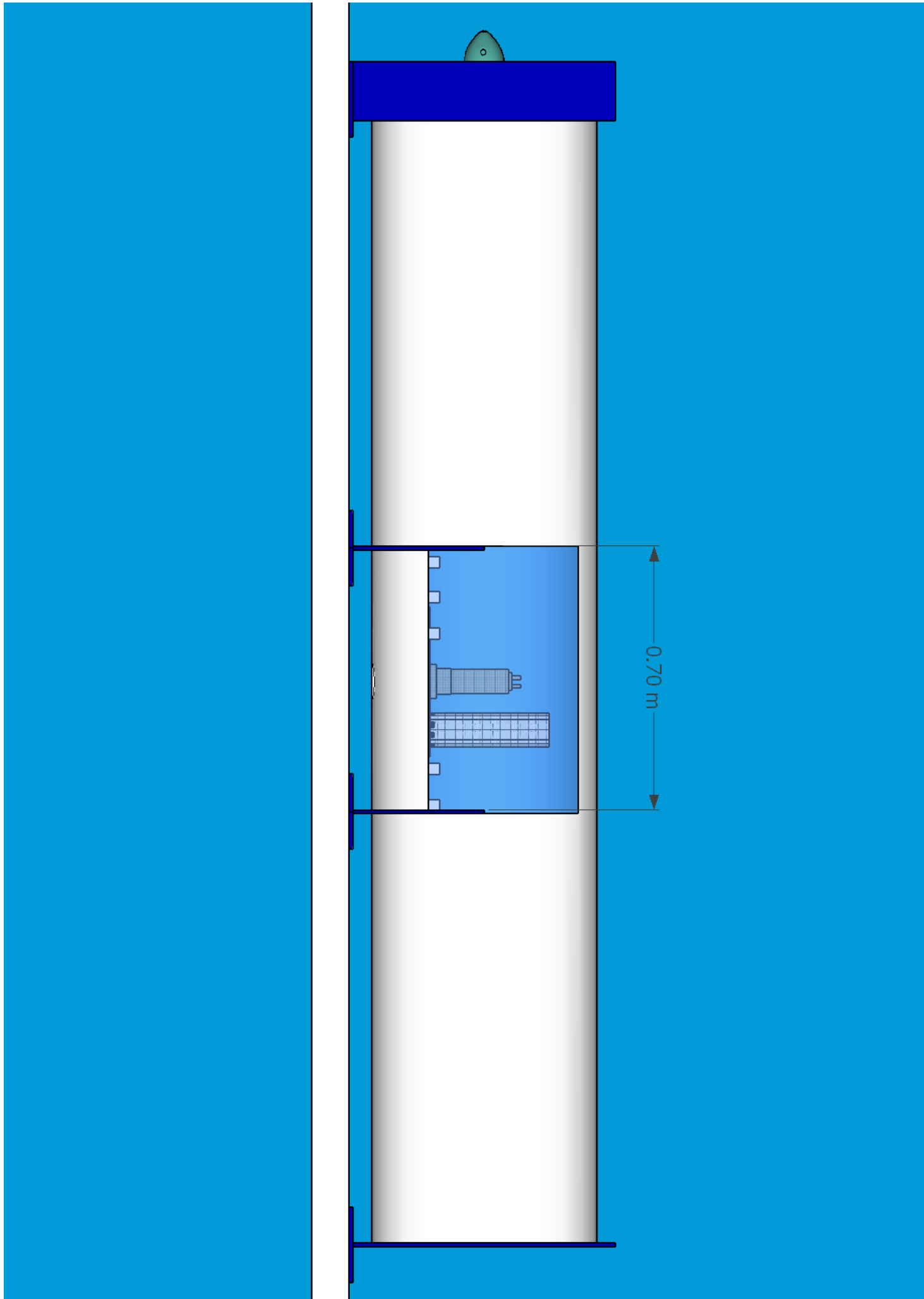




0.20 m
0.20 m



0.70 m

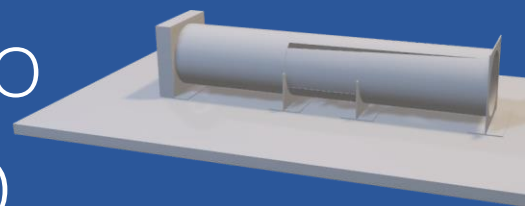


INSTITUTO FEDERAL DO TOCANTINS
COORDENAÇÃO DE ÁREA DA CONSTRUÇÃO CIVIL

Manual de uso de equipamento didático:

Mini Túnel de Vento (MTV/IFTO)

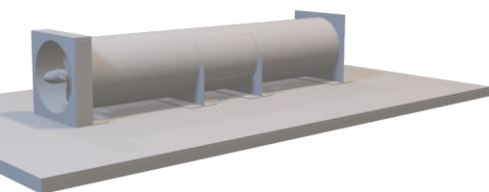
MANUAL de uso do Mini Túnel de Vento - IFTO



O que é?

O Mini Túnel de Vento do IFTO é um equipamento de uso didático desenvolvido a partir de uma pesquisa de Monografia do curso superior de Engenharia Civil.

A ferramenta tem o objetivo de auxiliar qualitativamente na visualização da deformação causada pelo vento nos modelos estruturais. Inicialmente projetado para demonstrações específicas envolvendo a utilização do kit mola estrutural, o túnel pode ser aplicável a demais modelos em miniatura e abranger variedades de áreas, que incluem desde a arquitetura até a mecânica dos fluidos.

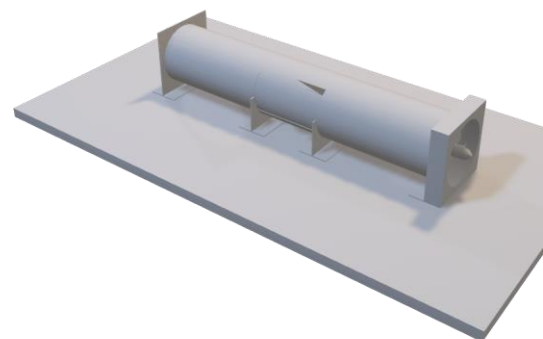
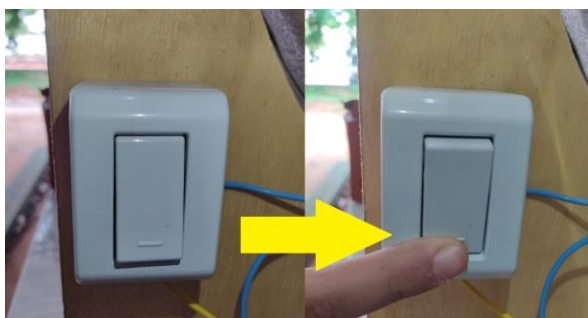


Passo a passo

1. Conecte na tomada o plugue referente à "luminária";



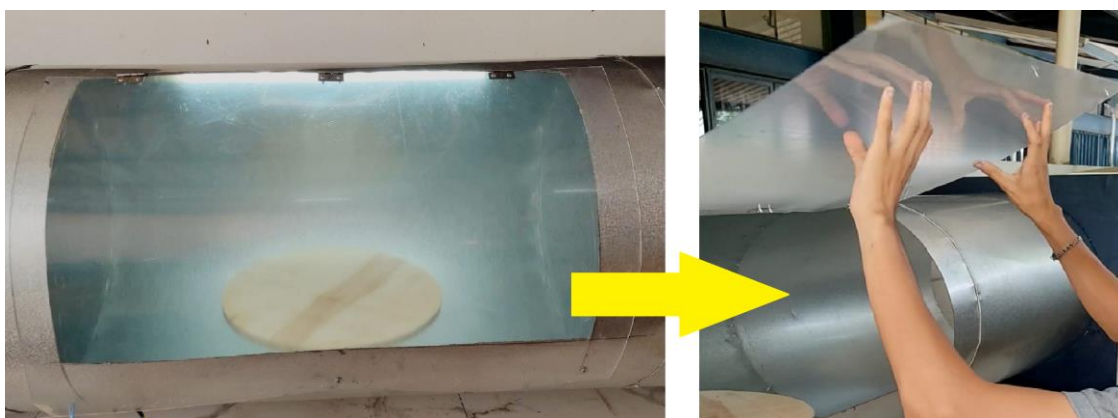
2. Ligue o interruptor para ascender a lâmpada interna do túnel;



3. Com uma Chave Philips retire os dois parafusos presos à vitrine de testes;



4. Após desparafusar, abra o compartimento da seção de testes;



5. Posicione a maquete ou o objeto de estudo na mesa de testes para a experimentação;



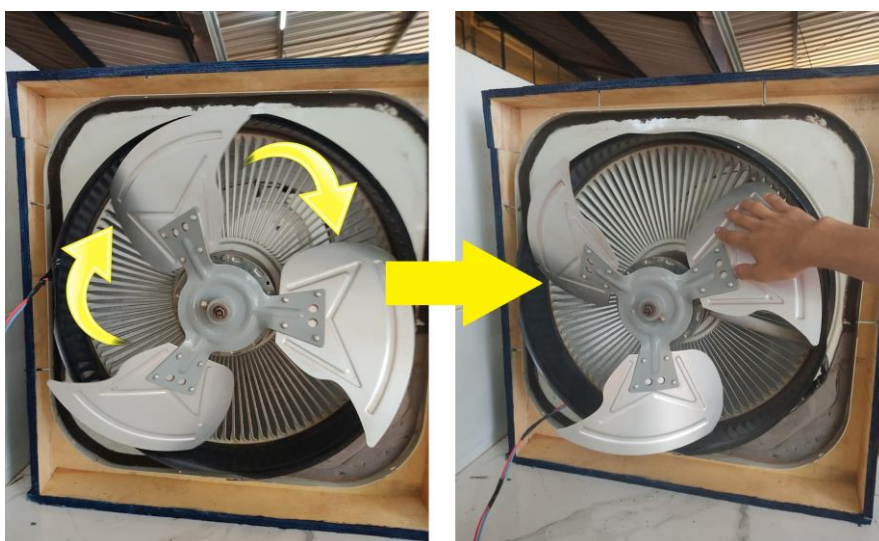
6. Feche o compartimento da seção de testes e enrosque os parafusos;



7. Ligue na tomada o plugue referente ao "motor";



8. Após ligado, forneça um impulso manual nas hélices do ventilador no sentido horário;



9. Pronto! Agora visualize o experimento e faça as suas análises.

Características do túnel

Túnel:

- Comprimento: 3 metros;
- Seção transversal: circular constante com $\varnothing$ 60cm
- Janela de testes: 70x40cm
- Mesa de experimentação: $\varnothing$ 40cm
- Velocidade do vento: 1,96m/s



Ventilador:

- Potência: 160W
- Frequência: 60Hz – 3600 r.p.m

Realização:



Apoio:

