

MNPEF
Mestrado Nacional
Profissional em
Ensino de Física



UNIVERSIDADE
FEDERAL
DE PERNAMBUCO



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CAMPUS ACADÊMICO DO AGRESTE– CAA
PÓS-GRADUAÇÃO EM ENSINO DE FÍSICA
MESTRADO NACIONAL PROFISSIONAL EM ENSINO DE FÍSICA - MNPEF

Artur Moreira Almeida

TÚNEL DE VENTO: um produto educacional acessível

Caruaru
2017

Artur Moreira Almeida

TÚNEL DE VENTO: um produto educacional acessível

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação (UFPE - CAA) no Curso de Mestrado Profissional de Ensino de Física (MNPEF), como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

Área de concentração: Formação de Professores de Física em nível de Mestrado.

Orientador: Prof. Dr. Charlie Salvador
Gonçalves

Co-orientador: Prof. Dr. Umbelino de
Freitas Neto

Caruaru
2017

Catálogo na fonte:
Bibliotecária – Paula Silva CRB/4 - 1223

A447t Almeida, Artur Moreira.
Túnel de vento: um produto educacional acessível. / Artur Moreira Almeida. – 2017.
102 f.; il.: 30 cm.

Orientador: Charlie Salvador Gonçalves.
Coorientador: Umbelino de Freitas Neto.
Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Pernambuco, CAA, Mestrado
Nacional profissional em Ensino de Física, 2017.
Inclui referências.

1. Física (Ensino médio). 2. Túneis aerodinâmicos. 3. Hidrodinâmica. I. Gonçalves,
Charlie Salvador (Orientador). II. Freitas Neto, Umbelino de (Coorientador). III. Título.

371.12 CDD (23. ed.) UFPE (CAA 2017-500)

Artur Moreira Almeida

TÚNEL DE VENTO: um produto educacional acessível

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação (UFPE - CAA) no Curso de Mestrado Profissional de Ensino de Física (MNPEF), como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

Aprovada em: 08/12/2017

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Charlie Salvador Gonçalves (Orientador)
Universidade Federal de Pernambuco

Prof. Dr. João Francisco Liberato de Freitas (Examinador Interno)
Universidade Federal de Pernambuco

Prof. Dr. Marcos Antônio Ramos Pereira de Lucena (Examinador Externo)
Fundação Joaquim Nabuco

Dedico esta dissertação a minha mãe
Vera Lúcia e ao meu pai Arlindo Almeida
(in memoriam).

AGRADECIMENTOS

A todos os professores que fizeram parte da minha vida escolar, em especial ao professor de matemática Josean Freire.

Aos Professores Augusto Moreira e João Freitas pela dedicação e apoio.

Ao meu amigo Igor, pela contribuição teórica e pela amizade de longa data.

Às amigas, Thais e Naiana pelo apoio e puxada de orelha.

Aos meus alunos do curso de “Vendas e Cozinha” da Escola Estadual Integral Técnica de João Pessoa.

Aos meus amigos da UFPB, Evandro, Marcos e Daniel.

Ao meu orientador, o Prof. Dr. Charlie Salvador pela importante participação, incentivo e direcionamento na prática de laboratório.

Ao meu coorientador, o Prof. Dr. Umbelino de Freitas Neto pela contribuição de ideais no decorrer da elaboração deste trabalho.

Aos meus amigos do MNPEF, em especial, Armando, Caio Melo, Gabriel Pimenta, Ricardo Farias e Valter Rocha.

A minha amiga Thayenne Gomes Cavalcante, pela ajuda na revisão do texto.

Aos meus irmãos Isac, Luciana, Helder e Fábio.

A minha namorada Shayenne Medeiros Uchôa, pelo apoio e incentivo para nunca desanimar e manter o foco.

Ao Departamento de Física da Universidade Federal da Paraíba e ao Centro Acadêmico do Agreste da Universidade Federal de Pernambuco pela acolhida nos laboratórios e incentivo educacional.

À Sociedade Brasileira de Física - SBF

À comissão nacional de Pós-graduação do Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física- MNPEF.

Ao CNPq e a CAPES pelo apoio financeiro.

RESUMO

O intuito deste trabalho é desenvolver um túnel de vento que possa ser reproduzido para equipar os laboratórios de Física do Ensino Médio e do Ensino Superior. Este aparato experimental é muito útil para observar os fenômenos aerodinâmicos no ensino da Física: os efeitos das equações de Bernoulli e da continuidade. Trata-se de um tema bastante presente e estudado exaustivamente em Hidrodinâmica na Engenharia, mas rapidamente abordado em Física. O túnel de vento tem como um de seus objetivos simular os efeitos do fluido ao redor ou sobre objetos aerodinâmicos. O aparato experimental em desenvolvimento tem custo reduzido e grau médio de complexidade na montagem. O experimento que foi proposto neste trabalho tem como uma das fundamentações o uso da experimentação e a inserção do *software ANSYS (Swanson Analysis Systems)* como recurso didático para romper e diluir cada vez mais o ensino tradicional. Este trabalho faz parte do projeto de mestrado realizado na Universidade Federal de Pernambuco – CAA em parceria com a Sociedade Brasileira de Física (SBF) e a Universidade Federal da Paraíba.

PALAVRAS-CHAVE: Ensino de física. Túnel de vento. Hidrodinâmica.

ABSTRACT

The purpose of this work is to develop a wind tunnel that can be reproduced to equip the laboratories of Physics in High School and Higher Education. This experimental apparatus is very useful for observing aerodynamic phenomena in the teaching of physics: the effects of Bernoulli's equations and continuity. It is a very present subject and studied exhaustively in Hydrodynamics in Engineering, but quickly approached in Physics. The wind tunnel has as one of its objectives to simulate the effects of the fluid around or aerodynamic objects. The experimental apparatus under development has a low cost and a medium degree of complexity in the assembly. The experiment that was proposed in this work has as one of the foundations the use of experimentation and the insertion of the ANSYS (Swanson Analysis Systems) software as a didactic resource to break and dilute more and more traditional teaching. This work is part of the master's project carried out at the Federal University of Pernambuco - CAA in partnership with the Brazilian Society of Physics (SBF) and the Federal University of Paraíba.

KEYWORDS: Physics education. Wind tunnel. Hydrodynamics

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 -	Expansão do perfil de velocidade em torno de um ponto da camada limite	23
Figura 2 -	Esquema de um túnel de vento de circuito fechado.	30
Figura 3 -	Esquema de um túnel de vento circuito aberto de sucção.	30
Figura 4 -	Túnel aberto ventilador centrífugo tipo soprador.	30
Fotografia 1 -	Entrada de ar do protótipo atual	31
Fotografia 2 -	Difusor da versão final em formato de turbina de avião.	32
Fotografia 3 -	Colmeia circular utilizada na versão final do túnel de vento educacional.	33
Fotografia 4 -	Tela de proteção.	33
Fotografia 5 -	Câmara de ensaios no formato cilíndrico.	34
Fotografia 6 -	Câmara de ensaios no formato retangular.	34
Fotografia 7 -	Máquina de fumaça, tubo de alumínio, mangueira de silicone e erlenmeyer	36
Figura 5 -	Visão da entrada de ar do primeiro protótipo sem o eletroventilador	39
Figura 6 -	Visão frontal da câmara de ensaios do Túnel de vento	40
Fotografia 8 -	As primeiras versões do túnel de vento educacional	40
Fotografia 9 -	Visão frontal do túnel de vento em outro protótipo já otimizado	41
Fotografia 10-	Versão final do túnel de vento educacional	42
Fotografia 11-	Visão da colmeia instalada na entrada da câmara de ensaios	42
Figura 7 -	Exemplos de colmeia	44
Figura 8 -	Difusor da versão final em formato de turbina de avião.	44
Figura 9 -	Difusor da versão final em formato de turbina de avião.	44
Fotografia 12-	Imagem completa do túnel de vento com suas respectivas partes	45
Fotografia 13-	Spinner em alumínio	47
Figura 10 -	Hélice do eletroventilador.	47
Fotografia 14-	Anemômetro digital: aparelho eletrônico para aferir velocidade do fluido	48
Fotografia 15-	Motor de impressora com tensão nominal de 12 V e velocidade de 12500 rpm.	48
Figura 11 -	Meio fluido cilíndrico com corpo de prova esférica	51
Fotografia 16-	Comparação do túnel de vento educacional e o software ANYS	52
Figura 12 -	Representação da entrada e saída de ar do meio fluido cilíndrico e corpo de prova cúbico na simulação computacional	53
Figura 13 -	Representação das linhas do fluxo de ar contornando corpo de prova cúbico.	53
Figura 14 -	Representação das linhas do fluxo de ar contornando corpo de prova cúbico, com mais linhas no plano de visualização.	54

Figura 15 -	Reprodução da imagem do protótipo educacional no simulador computacional.	55
Figura 16 -	Representação da malha no meio fluido cilíndrico com protótipo de um carro como corpo de prova	55
Figura 17 -	Protótipo de um carro comum com as linhas de corrente.	56
Figura 18 -	Representação vetorial e aproximada das linhas de corrente.	57
Fotografia 17-	Perfil de asa de avião inserido na câmara de ensaios do túnel de vento educacional.	58
Fotografia 18-	Protótipo de carro de “fórmula one” e uma balança de precisão dentro da câmara de ensaios	59
Gráfico 1 -	Gráfico da Força da sustentação pela velocidade.	60
Gráfico 2 -	Velocidade do fluxo de ar ao longo da câmara de ensaios	60
Gráfico 3 -	Variação da velocidade na entrada da câmara de ensaios versus ddp da fonte.	61
Gráfico 4 -	Gráfico da frequência do motor pela ddp imposta na fonte de energia.	62
Gráfico 5 -	Porcentagem dos professores pesquisados que lecionam no Ensino Médio.	63
Gráfico 6 -	Porcentagem dos professores que lecionam em escolas públicas e privadas	64
Gráfico 7 -	Porcentagem dos professores que abordam o tópico da Hidrodinâmica.	64
Gráfico 8 -	Comparativo entre o PNLD 2015 e 2018 sobre a abordagem da Hidrodinâmica no Ensino Médio.	67

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Cronograma do túnel de vento

28

LISTA DE SÍMBOLOS

M	Número de Mach
v	Velocidade do escoamento
v_{SOM}	Velocidade local do som
Re	Número de Reynolds
ρ	Massa específica
L	Comprimento característico
μ	Viscosidade
A	Área da secção transversal
p	Pressão
g	Aceleração da gravidade
z	Desnível
u	Componente do eixo x da velocidade
v	Componente do eixo y da velocidade
w	Componente do eixo z da velocidade
C_D	Coefficiente de Arrasto
F_D	Força de Arrasto

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
2	O ENSINO DE FÍSICA E A IMPORTÂNCIA DA EXPERIMENTAÇÃO	17
2.1	O ensino de Física	17
2.2	Experimentação no Ensino de Física	19
3	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	22
3.1	Fluido	22
3.2	Escoamento laminar e turbulento	22
3.3	Camada Limite	22
3.4	Equação da continuidade	23
3.5	Equação de Bernoulli	23
3.6	Número de Mach	24
3.7	Número de Reynolds	25
3.8	Arrasto	25
3.9	Equação de Navier-Stokes	25
4	O PRODUTO EDUCACIONAL	27
4.1	Histórico do túnel de vento	27
4.2	Tipos de Túnel de Vento	29
4.3	Componentes do Túnel de Vento	31
4.3.1	<i>Entrada de ar e área de contração (estrangulamento) e difusor</i>	31
4.3.2	<i>Colmeia</i>	32
4.3.3	<i>Telas de proteção</i>	33
4.3.4	<i>Câmara de Ensaios</i>	34
4.3.5	<i>Eletroventilador</i>	35
4.3.6	<i>Traçador de linhas</i>	35
5	PERCURSOS DIDÁTICOS	37
5.1	Aprendizagem Significativa	37
5.2	Desenvolvimento do produto educacional	39
6	DETALHAMENTO DOS MATERIAIS E CUSTOS	46
7	ANÁLISE DOS RESULTADOS	50
7.1	Análise computacional e do túnel de vento educacional	50

7.2	O ensino da hidrodinâmica pela ótica dos professores de Física da Educação Básica	62
7.2.1	<i>Coleta de dados</i>	63
7.2.2	<i>Análise do questionário</i>	63
7.3	Análise dos Livros Didáticos PNLD	66
8	CONCLUSÕES E PERSPECTIVAS	68
	REFERÊNCIAS	69
	APÊNDICE A – O produto educacional	72
	ANEXO A - Questionário aplicado com professores de Ensino Médio	101
	ANEXO B - O Orçamento do protótipo: Túnel de Vento Educacional	102

1 INTRODUÇÃO

Ao analisarmos os conteúdos e disciplinas ofertadas no Ensino Médio e Superior, percebemos pouca abordagem experimental e teórica de um tema bastante relevante na física: a Hidrodinâmica. Trata-se de um conteúdo que não é contemplado nos laboratórios de Física das Universidades e Escolas de Ensino Médio. Encontramos apenas nas Universidades, nos cursos de Engenharia Mecânica. Esta lacuna existente no ensino da Física nos fez pensar e elaborar um produto educacional que pudesse restaurar este tema e contemplá-lo no Ensino Médio, com o propósito de reforçar qualitativamente a aprendizagem deste conteúdo. Dessa forma, foi proposto a construção de um túnel de vento. Um produto educacional que ao mesmo tempo restaura o ensino da Hidrodinâmica na Física, bem como a experimentação na forma significativa da aprendizagem.

Os túneis de vento são equipamentos que proporcionam a visualização do comportamento aerodinâmico do ar em relação a diversos tipos de objetos em escala dimensional, tais como aviões, carros e até mesmo na construção civil. Sua construção favorece a observação do movimento do ar ao redor dos modelos reduzidos inseridos dentro dele – o que não seria possível realizar em uma situação normal – e verificar qualitativamente o comportamento do vento sobre as formas geométricas por meio do comparativo entre o experimento e a simulação computacional aliada à experimentação, utilizamos o *software ANSYS* (Swanson Analysis Systems) para uma análise computacional da dinâmica do fluido e, para uma perspectiva futura, fazer uma comparação dos dados reais extraídos do protótipo educacional com o simulador. O *software* possibilita simular fluxos com detalhamento realístico da geometria em estudo, tanto do meio fluido quanto do objeto inserido dentro dele. Facilitando uma melhor análise nas mudanças de parâmetros, otimizando o escoamento. Estudos experimentais, como ensaios em túnel de vento, simulações computacionais e/ou modelos matemáticos, são ferramentas importantes que permitem uma análise das transformações urbanas ou arquitetônicas aplicadas ao tecido

urbano (quadras, bairros) ou em áreas pré-definidas na implementação de edifícios (PLATE; PRATA; 1999;2005).

Os túneis de vento normalmente são de grande dimensão. Por isso, para a sua construção e manutenção são necessários grandes investimentos financeiros, o que tem inviabilizado demonstrações na área de ensino de Física. Para contornar este problema, foi desenvolvido um aparato experimental de custo reduzido e de dimensões que permitam seu fácil transporte a uma sala de aula. Este projeto teve como parte fundamental: mostrar aos estudantes o comportamento de um fluido escoando em regime laminar e observar como as linhas de corrente se comportam ao contornar o objeto-

O objetivo principal deste trabalho é, portanto, explorar a elaboração de um protótipo de um túnel de vento educacional, desenvolvido com intuito de fornecer um aprendizado mais significativo e possibilitar que o aluno seja capaz de reconhecê-lo, que saiba diferenciar fluido laminar de turbulento, descobrir como a aerodinâmica afeta na construção civil, em aviões e até mesmo na própria natureza, como por exemplo: entender o fluxo de água na mangueira de jardim, o porquê do formato do ônibus ser diferente do carro comum, perceber a diferença na estrutura de um foguete e da estação espacial, por que se acumula poeira nas hélices dos ventiladores mesmo estando em movimento, por que o telhado das casas são jogados para cima quando passa uma forte ventania em sua parte superior e entender como é construída a asa do avião. Fazendo, assim, uma análise qualitativa.

A Física é uma disciplina cuja conexão com o cotidiano é bastante presente, mas essa conexão ainda é muito pouco utilizada pelos professores na transposição didática, deixando o ensino por vezes muito desagradável para o estudante. Considerando que o Ensino da Física precisa ir além das fórmulas e das aulas tradicionais, este produto educacional vem mostrar que o ensino não se trata apenas de treinamento para provas, mas pode ser algo que possibilite aos estudantes fazer uso de abordagens que possam desenvolver raciocínios físicos no cotidiano. O estudante deve ser protagonista da aprendizagem. Assim, com a construção de experimentos por parte do aluno, tem-se a possibilidade de propiciar uma construção mais significativa do conhecimento.

Analisando toda a problemática envolvendo o tema da hidrodinâmica – a falta de recursos e a quase exclusão da transposição didática para os alunos do Ensino Médio – este trabalho pretende propor soluções viáveis para algumas dessas dificuldades. A construção e elaboração do túnel de vento tem a faceta de lembrar ao professor que é possível trazer aos nossos alunos formas diferenciadas e uma experimentação que sejam capazes de despertar e fomentar ainda mais o aprendizado no aluno.

Além da falta de abordagem da hidrodinâmica ou fluidodinâmica no Ensino Médio, da não inserção de experimentos como forma diferenciada na aprendizagem, da não aplicação do conteúdo por parte dos professores do Ensino Médio durante o ano letivo e da quase exclusão da totalidade do tema nos livros do PNLD (Programa Nacional do Livro Didático) 2018, este trabalho primou-se no objetivo de conseguir fazer com que o aluno percebesse o mundo ao seu entorno. Transformando o aluno passivo em um aluno ativo, questionador, criativo e que aprenda a pensar cientificamente, abrindo-se para novos horizontes, que seja um aluno independente de livros ou do auxílio do professor sendo protagonista da sua própria aprendizagem.

Desta forma, este trabalho está dividido da seguinte maneira: no segundo capítulo discute-se a situação do Ensino de Física e a relevância da experimentação no Ensino Médio; no terceiro capítulo é apresentada a fundamentação teórica; no quarto capítulo é o histórico do produto educacional, os tipos de túnel de vento e os componentes do referido produto educacional; no quinto capítulo, é evidenciado o percurso didático para compreender a aprendizagem significativa que foi usada como base para o trabalho e o desenvolvimento do produto educacional; no sexto capítulo, é mostrado o detalhamento dos materiais e custos para a elaboração do projeto; no sétimo capítulo é apresentado a análise dos resultados obtidos a partir do levantamento dos livros didáticos do PNLD 2018 e o comparativo com o PNLD 2015, uma pesquisa com professores para saber a forma que é abordado o assunto de hidrodinâmica nas escolas de ensino médio e uma simulação computacional usando o *Software ANSYS*; No oitavo e último capítulo são expostas as considerações finais.

2 O ENSINO DE FÍSICA E A IMPORTÂNCIA DA EXPERIMENTAÇÃO

No segundo capítulo do nosso trabalho falaremos um pouco sobre o ensino de Física no Brasil e a inserção da experimentação no Ensino de Física.

2.1 O ensino de Física

A palavra Física vem do grego *Physiké*, que significa natureza. Assim, este termo nos mostra como a Física tem a preocupação de estudar e compreender os fenômenos naturais. Com o passar dos anos e com a evolução científica, a Física ganhou muito destaque em relação às outras ciências e seu campo de estudo teve uma incrível evolução.

Observando a etimologia da palavra Física e o quanto ela evoluiu cientificamente desde quando surgiu até os dias de hoje, é interessante observar se a forma de abordar esta linha de conhecimento também evoluiu nas Escolas de Ensino Médio com o passar do tempo.

O Ensino de Física no Brasil, como muitas outras disciplinas, está focado na simples reprodução de fórmulas e teorias. Tornando o aluno um mero reprodutor de informações.

As aulas de Física são predominantemente expositivas seguindo o modelo tradicional. Esse tipo de aula é centrado no professor e não no aluno (OSTERMANN; MOREIRA, 1999). O papel do professor nesse processo é preencher as lacunas dos alunos demonstrando fórmulas e expondo as leis físicas (VILLANI, 1984).

De acordo com Heckler, Saraiva e Filho (2007) numa escola onde o professor apresenta aulas em quadro negro e giz e se apresenta como o “detentor do conhecimento”, os alunos são vistos apenas como receptores de informações e as situações de estudos são distantes das experiências cotidianas, não havendo um bom ambiente de aprendizagem. A falta de estímulo à criatividade e ao pensamento questionador se traduz em uma aprendizagem cada vez mais decorativa e rasa, pois o significado da Física tende a se resumir na memorização de um conjunto de fórmulas matemáticas a serem aplicadas.

A transposição didática surge nesse cenário como uma proposta de contornar as lacunas nos currículos escolares. A transposição didática permite

que o saber da esfera científica, o “Saber Sábio” seja transformado ou “transposto” e levado à esfera do saber presente nos livros didáticos e currículos escolares, o “Saber a Ensinar” e, numa segunda transposição, seja transformado no saber que o estudante leva para si, o “Saber Ensinado”. Esse Saber Ensinado deve ser: contextualizado, no sentido de que o estudante possa compreender a sociedade e o mundo no qual vive; faça reflexões sobre sua vida pessoal e cotidiana; e perceba o ato próprio de descoberta e de produção de conhecimento (MELLO, 2012). Também deve ser feito de maneira interdisciplinar, para que o estudante compreenda a Física como parte integrante de um todo científico, ou seja, que ele perceba que essa é uma das maneiras de analisar a natureza por meio das diversas relações entre diversas áreas do conhecimento.

Várias propostas de trabalhar na perspectiva da transposição didática já foram feitas no ensino de Física no Brasil, como as de Brockington e Pietrocola (2005), Alves Filho (2000), Siqueira e Pietrocola (2006), dentre outras. Todos esses autores citados anteriormente fizeram propostas de inserção de conteúdos de Física Moderna nas escolas por meio da transposição didática, tendo em vista que esse assunto, embora seja de extrema relevância para os estudantes compreenderem o mundo e a tecnologia em que vivem, não é corretamente abordado, ou mesmo são esquecidos, nas escolas.

Esse modelo não contribui para a construção do conhecimento, pois não leva em consideração o cotidiano dos estudantes. É um modelo que já teve suas finalidades, mas está ultrapassado (BRASIL, 1999, p. 22).

É preciso mudar a forma de ensinar Física de maneira que o estudante possa participar efetivamente da construção do seu conhecimento e possa compreender e interpretar o mundo à sua volta.

É preciso discutir qual Física ensinar para possibilitar uma melhor compreensão do mundo e uma formação para a cidadania mais adequada. Sabemos todos que, para tanto, não existem soluções simples ou únicas, nem receitas prontas que garantam o sucesso. Essa é a questão a ser enfrentada pelos educadores de cada escola, de cada realidade social, procurando corresponder aos desejos e esperanças de todos os participantes do processo educativo, reunidos através de uma proposta pedagógica clara. (BRASIL, 1999, p. 23).

O ensino de Física deve ser repensado de maneira que se façam mudanças no tipo de abordagem que atualmente está em curso na maioria das

escolas. Essas mudanças devem ser feitas no sentido de criar situações para que os estudantes possam fazer leituras do mundo (FREIRE, 1987), atendendo às suas necessidades de perceber, compreender e organizar fatos e fenômenos à sua volta (BRASIL, 1999. p. 24). Para que essas necessidades sejam atendidas não é necessário que se criem novos tópicos de conteúdo, mas sim dar novas dimensões ao currículo de Física de forma que promova um aprendizado contextualizado e integrado à vida dos estudantes (BRASIL, 1999, p. 23).

Reconhecendo a tardia evolução no Ensino da Física e da falta, portanto, da transposição didática entre teoria e prática, onde o aluno tende a pensar criticamente, é necessário dinamizar as aulas e propor situações-problemas onde o aluno possa ampliar o seu aprendizado de forma mais significativa.

2.2 Experimentação no Ensino de Física

Como estratégia para suprir e preencher as lacunas que envolvem as aulas tradicionais – centradas no professor e não no aluno, com o protagonismo estudantil inferiorizado e sem importância – defende-se aqui a experimentação no ensino de Física.

O uso da experimentação, em que o aluno faz parte da elaboração e construção do produto educacional, torna-o construtor do seu conhecimento. Dessa forma, o educando torna-se capaz de fazer a transposição didática, extrapolando o campo da mera reprodução de informações e, conseqüentemente, elucidando ideias inovadoras e exercendo seu protagonismo juvenil.

Através dos trabalhos práticos e das atividades experimentais, o aluno deve perceber que para desvendar um fenômeno é necessária uma teoria. Assim, um dos pontos positivos da experimentação é tentar despertar no aluno a capacidade de fomentar ideias e pensamentos mais elaborados, que se aproximem da teoria adequada ao fenômeno em estudo.

Através dos objetivos procedurais há a possibilidade de julgar resultados, julgar a validade de uma lei e, portanto, de decidir. Os procedimentos e as tentativas são as ferramentas da autonomia, o fio condutor na realização dos experimentos, o meio de evitar a passividade (SÉRÉ, 1998).

Séré, Coelho e Nunes (2002) em seu artigo, destacam que diferentes abordagens podem ser feitas em uma atividade experimental. Uma dessas atividades é aquela na qual o estudante não participa efetivamente do experimento, pois ele não discute as etapas de elaboração e seu papel é repeti-lo seguindo um manual de laboratório pronto e fechado. Outra forma é usar a experimentação como uma investigação científica em que o estudante tem autonomia para decidir sobre os procedimentos e sobre o planejamento das etapas de construção do experimento à medida que esse vai se desenvolvendo.

Outra forma de experimentação é aquela em que o estudante participa efetivamente de sua construção desde o começo. Essa experimentação, denominada por Azevedo de atividade investigativa, favorece a compreensão e o desenvolvimento conceitual da ciência e não é necessariamente realizada em um laboratório (AZEVEDO, 2010, p. 20). Possui ainda a característica de ser centrada na ação do estudante como sujeito de construção do conhecimento.

Para que uma atividade possa ser considerada uma atividade de investigação, a ação do aluno não deve se limitar apenas no trabalho científico: o aluno dará a seu trabalho as características de um trabalho científico, o aluno deve refletir, discutir, explicar, relatar, o que dará ao seu trabalho as características de uma investigação científica. (AZEVEDO, 2010, p. 21)

Segundo Gil e Castro (1996, apud AZEVEDO, 2010, p. 23) as atividades investigativas possuem algumas características que podem ser resumidas em:

1. Apresentar situações problemáticas abertas;
2. Favorecer a reflexão dos estudantes sobre a relevância e o possível interesse das situações propostas;
3. Potencializar análises qualitativas significativas, que ajudam a compreender e acatar as situações planejadas e a formular perguntas operativas sobre o que se busca;
4. Considerar a elaboração de hipóteses como atividade central da investigação científica, sendo esse tipo de processo capaz de orientar o tratamento das situações e de fazer explícitas as concepções dos estudantes;
5. Considerar as análises, com atenção nos resultados (sua interpretação física, confiabilidade, etc.), de acordo com os conhecimentos disponíveis, das hipóteses manejadas e dos resultados das demais equipes;

6. Conceder uma importância especial às memórias científicas que reflitam o trabalho realizado e possam ressaltar o papel da comunicação e do debate na atividade científica;

7. Ressaltar a dimensão coletiva do trabalho científico por meio de grupos de trabalho que interajam entre si.

(Borges, 2002, p. 307) sugere que este tipo de atividade deva ser simples no início de sua implementação e feito em pequenos grupos de forma gradual. Argumenta ainda que, embora seja um processo lento, ajuda o desenvolvimento do pensamento crítico.

Nessas perspectivas, ressalta-se que as atividades investigativas proporcionam a compreensão do mundo e a formação cidadã proposta nos Parâmetros Curriculares Nacionais (BRASIL, 1999, p. 23).

Desta maneira, com o poder transformador da experimentação, este trabalho se deteve a pensar uma forma experimental na qual o aluno pudesse perceber que é capaz de fazer ciência e explorar o mundo da aprendizagem de uma forma investigativa e inclusiva.

3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Aqui neste capítulo serão expostas as equações e conceitos fundamentais que foram abordados em nosso produto educacional; bem como o teórico da educação no qual foi baseado o trabalho.

3.1 Fluido

Quando trabalhamos com um fluido, temos um sentimento comum que é oposto aquele do trabalho com um sólido: os fluidos tendem a escoar quando interagimos com eles (por exemplo, quando você agita seu café de manhã); os sólidos tendem a se deformar ou dobrar (por exemplo, quando você bate sobre um teclado, as molas sob as teclas se comprimem). O fluido é uma substância que se deforma continuamente sob a ação de uma tensão de cisalhamento (tangencial), não importando o quão pequeno seja seu valor. (FOX et. al, 2011)

3.2 Escoamento laminar e turbulento

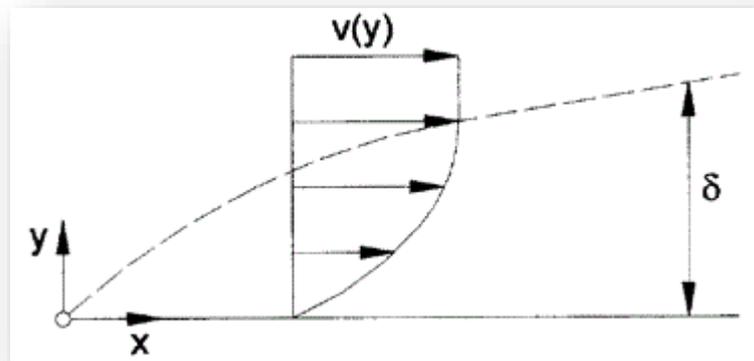
O escoamento laminar ocorre quando as partículas do fluido se movem ao longo de trajetórias bem definidas, apresentado em forma de lâminas ou camadas. As camadas escorregam sobre a adjacente, havendo somente troca de quantidade de movimento molecular.

Ao contrário do escoamento laminar, quando as partículas do fluido se movem em trajetórias irregulares, com movimento aleatório, o fluxo do fluido é conhecido como escoamento turbulento.

3.3 Camada Limite

Prandtl mostrou que muitos escoamentos viscosos podem ser analisados dividindo o escoamento em duas regiões, uma perto das fronteiras sólidas e outra cobrindo o resto do escoamento. A camada-limite é a região adjacente a uma superfície sólida na qual tensões viscosas estão presentes, em contraposição à corrente livre onde as tensões viscosas são desprezíveis. (FOX et. al, 2011)

FIGURA 1- Expansão do perfil de velocidade em torno de um ponto da camada limite.



Fonte: O Autor (2017)

A camada limite é um conceito bastante importante e que se observa no dia a dia. Por exemplo, ao ligar o ventilador e deixá-lo ligado por um certo intervalo de tempo, nota-se que as hélices do ventilador estão aglomerando partículas de poeira. Como a hélice é um corpo sólido e sua superfície é a base da camada limite, a velocidade do fluxo neste ponto é praticamente nula, fazendo as partículas de poeira se aglomerarem, deixando as hélices com excesso de poeira.

3.4 Equação da continuidade

Considerando o escoamento como sendo incompressível, a equação da continuidade fica definida como o produto da velocidade do escoamento V pela área da seção A , sendo esse valor constante para as demais seções do túnel de vento, ou seja:

$$V_1 A_1 = V_2 A_2 = VA = \text{constante} \quad (1)$$

3.5 Equação de Bernoulli

A equação de Bernoulli é obtida a partir do teorema da conservação da energia mecânica, da relação entre trabalho mecânico e a energia dos corpos.

Ela é provavelmente a equação mais famosa e mais usada em toda a mecânica dos fluidos. É sempre tentador querer usá-la, pois trata-se de uma equação algébrica que relaciona as variações de pressão com aquelas de velocidade e de elevação em um fluido. Por exemplo, ela é usada para explicar a sustentação de uma asa de avião: em aerodinâmica, geralmente, o termo gravitacional é desprezível, então a equação indica que, onde quer que a velocidade seja relativamente alta (por exemplo, sobre a superfície superior de uma asa de avião), a pressão deve ser relativamente baixa e onde quer que a velocidade seja relativamente baixa (por exemplo, sob a superfície inferior de uma asa), a pressão deve ser relativamente alta, gerando uma sustentação substancial. (FOX et. al, 2011)

Para usarmos a equação de Bernoulli, é necessário considerarmos as seguintes restrições: escoamento em regime permanente, incompressível, sem atrito e ao longo de uma linha e corrente.

$$p + \frac{\rho v^2}{2} + \rho g z = \text{constante} \quad (2)$$

Onde p é a pressão local, ρ é a densidade do fluido, v é a velocidade, g a gravidade local e z o desnível. Temos também: a pressão dinâmica $\frac{\rho v^2}{2}$ e a pressão estática $p + \rho g z$.

3.6 Número de Mach

O número de Mach (M) é a razão entre a velocidade do escoamento (v) e a velocidade local do som (v_{som}), que pode ser interpretado também como a razão entre as forças de inércia e as forças devidas à compressibilidade (Fox et al., 2011). Para o escoamento ser incompressível, o número Mach deve ser menor que 0,3 e a transferência de calor desprezível, que é definido pela equação:

$$M = \frac{v}{v_{som}} \quad (3)$$

Para valores do número de Mach menor que um, temos um escoamento subsônico. Neste experimento M vale aproximadamente 0,015, logo está no regime subsônico.

3.7 Número de Reynolds

Um parâmetro importante para o projeto de um túnel de vento é o número de Reynolds (Re), definido como a razão entre as forças de inércia e as forças viscosas. O número de Reynolds permite inferir as velocidades que podem ser alcançadas no túnel de vento.

$$Re = \frac{\rho v L}{\mu} \quad (4)$$

Onde ρ é massa específica, v é a velocidade escoamento, L é um comprimento característico e μ viscosidade do ar ambiente.

3.8 Arrasto

Qualquer objeto que se movimenta num fluido sofre um arrasto, que é a força na direção do escoamento composta pelas forças de pressão e de cisalhamento que atuam na superfície do objeto. As forças de pressão são tensões normais devido a pressão local e as tensões superficiais ou de cisalhamento são compostas de tensões tangenciais devido à ação viscosa.

O coeficiente de arrasto é definido por:

$$C_D = \frac{F_D}{\frac{1}{2}\rho v^2 A} \quad (5)$$

Onde C_D é o coeficiente de arrasto e F_D é a força de arrasto, ρ é massa específica do fluido, v é a velocidade escoamento e A é a área da secção transversal.

3.9 Equação de Navier-Stokes

A equação mais completa que leva em consideração todas as parcelas de contribuições hidrostáticas e hidrodinâmicas (que as trata de forma tensorial e por isso muito complexa, só é estudada no Ensino Superior nos cursos de Engenharia) é a equação de Navier-Stokes. É o conjunto de equações mais famoso e completo em mecânica dos fluidos.

A equação de Navier-Stokes tem uma abordagem mais rebuscada do que as equações de Bernoulli e da Continuidade. Por exemplo, a representação da

equação de Navier-Stokes para um fluido incompressível e viscosidade constante tem a seguinte forma: .(FOX et. al, 2011)

$$\rho \left(\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + w \frac{\partial u}{\partial z} \right) = \rho g_x - \frac{\partial P}{\partial x} + \mu \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} \right) \quad (6)$$

$$\rho \left(\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + w \frac{\partial v}{\partial z} \right) = \rho g_y - \frac{\partial P}{\partial y} + \mu \left(\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial z^2} \right) \quad (7)$$

$$\rho \left(\frac{\partial w}{\partial t} + u \frac{\partial w}{\partial x} + v \frac{\partial w}{\partial y} + w \frac{\partial w}{\partial z} \right) = \rho g_z - \frac{\partial P}{\partial z} + \mu \left(\frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial z^2} \right) \quad (8)$$

Sabendo que ρ é a massa específica do fluido, p é a pressão local, μ é a viscosidade do fluido, g é a aceleração da gravidade local e u, v e w são as componentes da velocidade no eixo x, y e z , respectivamente.

4 O PRODUTO EDUCACIONAL

Neste capítulo será descrito o histórico do túnel de vento, os tipos de túnel e uma descrição de cada elemento que o compõe.

4.1 Histórico do túnel de vento

Os túneis de vento apareceram por volta do século 19. Usados para medir o fluxo de ar em muitas experiências com os primeiros aviões, na construção civil e outros. Depois da Segunda Guerra Mundial, engenheiros ligados à competições automobilísticas começaram a usar túneis de vento, em busca de uma vantagem em relação aos concorrentes, medindo a eficiência dos dispositivos aerodinâmicos de seus carros. Mais tarde essa tecnologia passou a ser empregada em carros de passageiros e de carga, podendo explicar o porquê dos formatos aerodinâmicos existentes em vários materiais construídos pelo homem, como também pela própria natureza.

O primeiro túnel de vento que se tem notícia, acionado por uma máquina a vapor, foi construído na Inglaterra em 1871, por Frank Wenham. O primeiro túnel de vento moderno foi construído por Ludwig Prandtl em plena Primeira Guerra Mundial, em 1917. Pois no de 1918 já existiam aviões de caça em condições de atingir 200 km/h, armados com duas metralhadoras, capazes de atingirem 6.000 metros de altitude, tornando assim, muito útil o estudo desses aviões em túneis de vento que possibilitou alcançar toda esta velocidade e que fosse bastante ágil no ar. Ludwig Prandtl foi quem introduziu o conceito da camada limite descrevendo a região de contato entre um fluido incompressível em movimento relativamente a um sólido.

Em 1936 foi inventado o primeiro túnel supersônico, portanto, atingindo velocidades acima da velocidade do som onde o número de Mach é maior que um. E os Estados Unidos fabricou o seu primeiro túnel supersônico perto do final da Segunda Guerra Mundial, em 1942.

Percebe-se então, que à medida que o mundo estava com muitos problemas, sofrendo com a Primeira e a Segunda Guerras Mundiais, a ciência entrava em cena para poder sanar as necessidades e objetivos da guerra.

Tabela 1: Cronograma do Túnel de vento.**CRONOGRAMA DE DESENVOLVIMENTO DOS TÚNEIS DE VENTO**

DATA	DESCRIÇÃO	DESIGNER CRIADOS	LOCALIZAÇÃO
1871	Primeiro túnel de vento	Frank Wenham	Grã-Bretanha
1897	Túnel Russo	KonstantinTsiolkovsky	Rússia
1901	Túnel de 0,4064 m	Irmãos Wright	Dayton, OH Universidade Católica
1904	Túnel Russo	DimitriRiabouchinsky	Moscou
1909	Primeiro Túnel de loop fechado	Ludwig Prandtl	Unisersidade de Gottingen
1912	Túneis Gêmeos	Gustav Eiffel	Paris, França
1917	Primeiro túnel moderno	Ludwig Prandtl	Unisersidade de Gottingen
1923	Túnel de Densidade Variável	Max Munk	Langley Field
1927	Túnel Pesquisa	Max Munk	Langley Field
1931	Túnel FullScale	Smith DeFrance	Langley Field
1936	Primeiro túnel supersônico	Sem nome	Peenenemunde
1936	Kirsten túnel de alta Velocidade	William Boeing	Universidade de Wisconsin
1938	Túnel de Altitude	Sem nome	Massachusetts Institute of Technology (MIT)
1939	Túnel velocidade de 19 metros de altura	Sem nome	Langley Field
1942	Primeiro túnel supersônico EUA	Sem nome	Langley Field
1944	AWT	Al Young	NACA Lewis

		Lou Monroe	
1944	40 - pelo túnel de 80 pés	Carl Bioletti	NACA Ames
1948	8 - pelo Túnel de Vento 6-Foot Supersônico	Sem nome	NACA Lewis
1955	10 - pelo túnel de vento de 10 pés Supersônico	Sem nome	NACA Lewis
1955	Propulsão Túnel de Vento	Sem nome	AEDC

Fonte: disponível em: <http://www.ebah.com.br/content/ABAAe6OsAH/tuneis-vento-trabalho?part=3>. Acessado em: julho de 2017.

Mesmo com o uso de equipamentos computacionais, o túnel de vento é indispensável para validação de parâmetros aerodinâmicos.

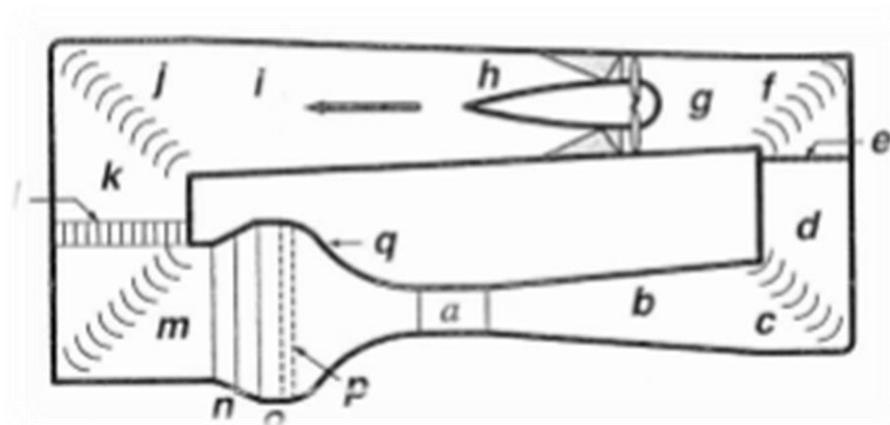
4.2 Tipos de Túnel de Vento

Os túneis de vento são caracterizados pela razão entre a velocidade do fluido estudado em relação à velocidade do som no ar. Esta relação é uma medida adimensional, e é chamada como Número de Mach (M).

Os escoamentos para os quais $M < 1$ são subsônicos, enquanto aqueles para os quais $M > 1$ são supersônicos. Os campos que possuem as regiões subsônicas e supersônicas são denominados transônicos. (O regime transônico ocorre para números de Mach entre 0,9 e 1,2.) (FOX et al., 1999).

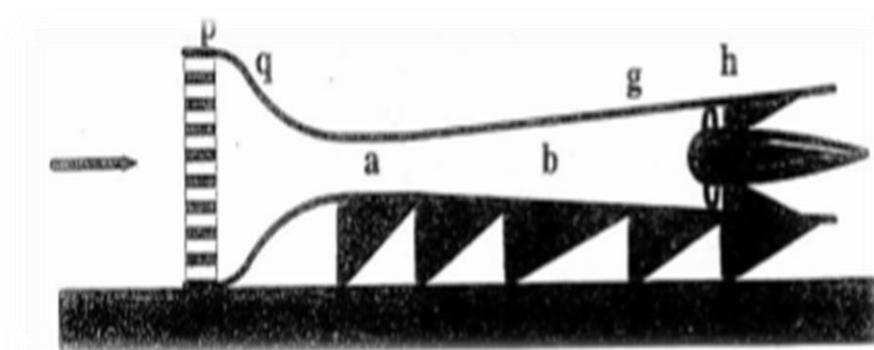
Os tipos de túneis são túnel de vento de circuito fechado e circuito aberto do tipo soprador e de sucção. O túnel de vento fechado (figura 2) é construído para aproveitar o fluxo de ar, pois uma vez que o ventilador aciona o fluxo de ar para dentro do meio fluido, o fluxo de ar não escoar para o ambiente. A diferença entre o túnel de vento de sucção (figura 3) e o túnel de vento soprador (figura 4) é verificada quando o sentido fluxo de ar é “sugado” do túnel do vento (sucção) ou “empurrado” para o túnel de vento (soprador).

FIGURA 2- Esquema de um túnel de vento de circuito fechado.



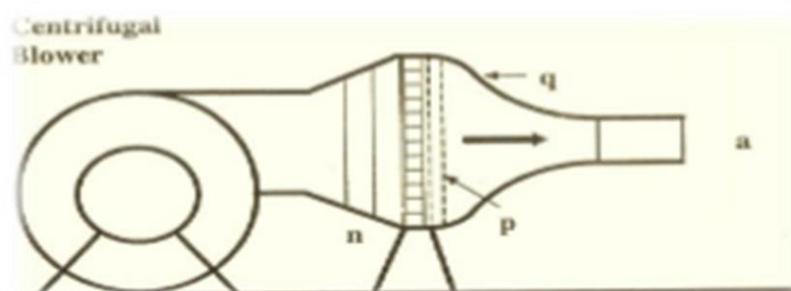
Fonte: Barlow et al., 1999.

FIGURA 3- Esquema de um túnel de vento circuito aberto de sucção.



Fonte: Barlow et al., 1999.

FIGURA 4- Túnel aberto ventilador centrífugo tipo soprador.



Fonte: Barlow et al., 1999.

O nosso produto educacional foi o túnel de vento do tipo aberto soprador. Mas fizemos alguns testes com o de sucção apenas invertendo a hélice na área

de entrada de ar, obtendo bons resultados. A escolha do tipo de túnel fica a critério do que se pretende extrair do túnel.

Para uma possível futura montagem, pensou-se no túnel fechado. Assim, tenta-se amenizar as perdas existentes na entrada de ar do túnel.

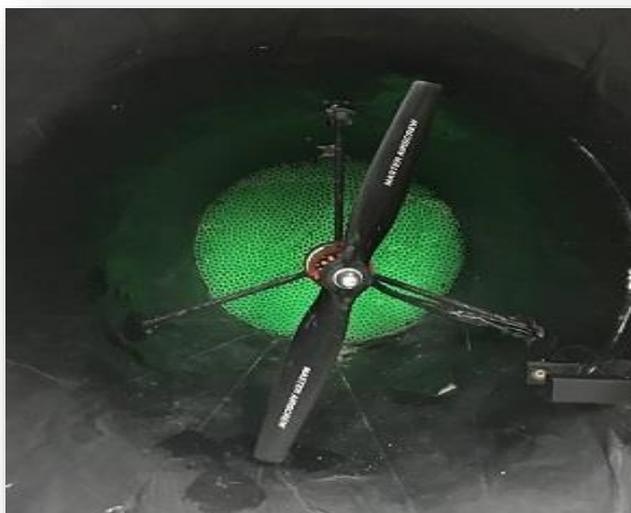
4.3 Componentes do Túnel de Vento

4.3.1 Entrada de ar e área de contração (estrangulamento) e difusor

A entrada de ar (fotografia 1) e a área de contração do nosso produto educacional foi confeccionada inicialmente com paredes retas. Posteriormente foi fabricada replicando-se o molde de uma turbina de avião com argila e gesso, em seguida foi moldada em fibra de vidro e resina, obtendo um material mais leve.

A turbina de avião tem um formato cônico, possibilitando um ganho de velocidade na entrada da câmara de ensaios, fazendo uma diminuição da área. Este conhecimento foi extraído da equação da continuidade que nos diz que a velocidade é inversamente proporcional à área de secção transversal por onde o fluido passa. Portanto, para manter a prática consistente com a teoria, foi preciso diminuir a área de contração em relação à área da entrada de ar.

FOTOGRAFIA 1- Entrada de ar do protótipo atual (Na imagem pode ser identificada a hélice acoplada ao eletroventilador e a colmeia ao fundo.)



Fonte: O Autor (2017)

Os difusores (fotografia 2) são dispositivos construídos para desacelerar os escoamentos. (Van Wylen, 2003). Os difusores não se mostraram muito úteis na elaboração do túnel de vento educacional e foi retirado da versão final do protótipo, deixando-o ainda mais acessível. Eles estavam causando demasiadas turbulências dentro da câmara de ensaios.

FOTOGRAFIA 2- Difusor da versão final em formato de turbina de avião.



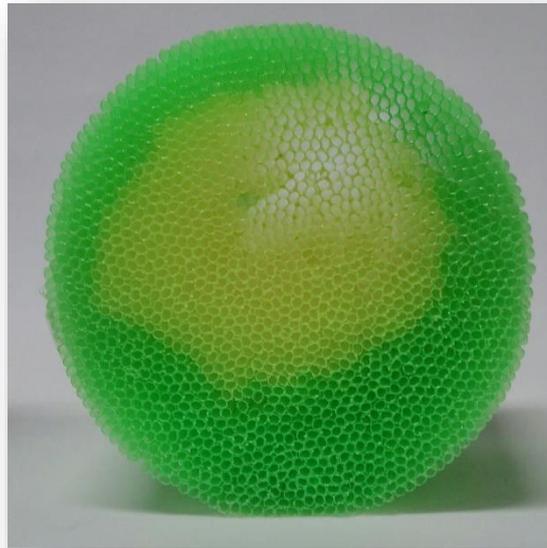
Fonte: O Autor (2017)

4.3.2 Colmeia

A colmeia (fotografia 3) é um dispositivo de guia por onde as linhas de fluxo de ar individuais se tornam paralelas. Em outras palavras, a colmeia tem a função de corrigir a direção de escoamento (BARLOW,1999). Tornando o fluido em camadas, ou lâminas, uma camada escorregando sobre a adjacente havendo somente troca de quantidade de movimento molecular.

Dois sistemas de colmeia foram construídos dispondo 800 canudos plásticos medindo 5,0 cm de comprimento por 3,0 mm de diâmetro. Foram instalados, portanto, no final da área de contração do túnel e confeccionados. Os canudos foram cortados com fio aquecido e simultaneamente unidos lado a lado com o formato cilíndrico. Nesta estrutura, o fluxo ao passar pelos canudos transforma-se de turbulento em laminar, possibilitando uma melhor visualização do fluxo ao chegar na câmara de ensaios.

FOTOGRAFIA 3- Colmeia circular utilizada na versão final do túnel de vento educacional.



Fonte: O Autor (2017)

4.3.3 Telas de proteção

Foram instaladas telas de proteção (fotografia 4) para resguardar a integridade física dos discentes, para que durante a análise do túnel de vento, não se tenha contato direto da mão ou outro membro do corpo do aluno com a hélice do eletroventilador. Inicialmente foi utilizada uma tela plástica de Nylon e posteriormente a grade plástica de um ventilador comercial comum.

FOTOGRAFIA 4- Tela de proteção.



Fonte: O Autor (2017)

4.3.4 Câmara de Ensaios

A câmara de Ensaios (fotografias 5 e 6) é a região que os corpos de prova foram analisados. Ou seja, é nesta região que os modelos são inseridos para análise aerodinâmica. Na parte externa da câmara de ensaios, foi instalada uma câmara fotográfica para gravar imagens e, assim, implementar uma análise mais criteriosa da fumaça de ar contornando os diversos corpos de prova que estão localizados dentro da câmara. Na elaboração da estrutura física utilizou-se o *Medium Density Fiberboard* (MDF), que consiste em uma mistura de madeira prensada com resina para dar liga. O MDF foi cortado a LASER em secções retas, formando um paralelepípedo para que se tivesse uma estrutura mais firme e melhor elaborada. Ela é composta por uma tela de acrílico na qual visualiza-se todas as linhas de corrente.

FOTOGRAFIA 5- câmara de ensaios no formato cilíndrico.



Fonte: o autor (2017)

FOTOGRAFIA 6- câmara de ensaios no formato retangular. Versão inicial.



Fonte: o autor (2017)

4.3.5 Eletroventilador

O eletroventilador (fotografia 1) é um componente importante no projeto do túnel de vento, ele deve atender a demanda do sistema, superar as perdas geradas em cada componente e, assim, fornecer a vazão esperada. É composto por uma hélice acoplada a um motor elétrico com controle de velocidade. O motor tem a função de dar força ao sistema, suportar o tamanho da hélice, atingir a rotação necessária e alcançar, portanto, a velocidade adequada para a visualização do fluxo de ar na câmara de ensaios.

4.3.6 Traçador de linhas

Para a verificação das linhas de corrente utilizamos nitrogênio líquido, mas devido à dificuldade em obtê-lo, optamos pelo uso de uma máquina de fumaça.

A máquina de fumaça trabalha evaporando uma mistura aquosa de glicerina, formando uma fumaça branca e densa, a mesma que é utilizada em ambientes de festas para simulação de nevoeiro.

Na saída da máquina de fumaça é colocada uma mangueira de silicone e na outra extremidade da mangueira é inserido um tubo de latão perfurado que é injetado na parte superior do túnel. O tubo de alumínio injetado na câmara de ensaios logo após a colmeia atravessa toda extensão do túnel e na extremidade posterior do tubo, que está na parte inferior e externa do túnel, é colocado um *erlenmeyer* para depositar a parte que foi condensada ao longo da mangueira de silicone, e assim não umedecer o túnel de vento.

FOTOGRAFIA 7- Máquina de fumaça, tubo de alumínio, mangueira de silicone e erlenmeyer. Estes instrumentos foram utilizados como traçador das linhas de corrente. A máquina de fumaça pode ser acionada com controle local ou de forma remota.



Fonte: O Autor (2017)

5 PERCURSOS DIDÁTICOS

5.1 Aprendizagem Significativa

Ainda existem profissionais da educação que acreditam que a experimentação vai instrumentalizar o aluno, permitindo aprender habilidades, tais como: aprender efetuar medidas, entender a importância do erro nessas medidas, fazer gráficos, calcular médias, aprender procedimentos sistemáticos que são rotina dentro do laboratório, bem como aprender a mexer e identificar o nome de diversas ferramentas.

Mas, é interessante perceber que o uso de experiências vai possibilitar que o aluno seja protagonista do fazer ciência. Portanto, o estudante irá perceber o trabalho e a importância de um cientista, podendo até fazer construções teóricas a partir de produtos científicos que investiguem a natureza.

Avanços tecnológicos e científicos desencadeiam transformações em diversas áreas do conhecimento. Essas modificações mostram um mundo globalizado e mais conectado, cujo conteúdo de suas exigências, advém da demanda que o indivíduo vivencie situações de construção do conhecimento que o norteie no desenvolvimento de habilidades cognitivas capazes de proporcionar o saber científico em relação às novas necessidades.

A pesquisa experimental realizada neste trabalho tem o intuito de possibilitar que o aluno entenda como a aerodinâmica tem forte papel em diversos objetos modificados pelo homem, como também na própria natureza. Tornando-o questionador, crítico, que consiga pensar cientificamente e não mecanicamente.

Tornando possível a retirada do aluno da passividade do aprendizado e mostrar alternativas possíveis tanto para elaboração de experimentos quanto para elucidar questionamentos acerca dos fenômenos físicos ao nosso redor, fazemos uso das ideias de Ausubel, nas quais o aluno não é um ser passivo no processo de aprendizagem, e também não é uma caixa vazia que se deve preencher com informações. Ao contrário, toda estrutura mental dialoga constantemente com as informações veiculadas pelo professor, pelos colegas de sala, pela mídia ou pelo ambiente ao seu entorno.

O aprendizado significativo acontece quando uma informação nova é adquirida mediante um esforço deliberado por parte do aprendiz em ligar a informação nova com conceitos ou proposições relevantes preexistentes em sua estrutura cognitiva. (Ausubel et al., 1978, p. 159)

A reestruturação cognitiva, responsável pela aprendizagem, deve basear-se na evolução dos conceitos, já que os estudantes, após algum tempo, voltavam a interagir com os conceitos antigos, enraizados na estrutura cognitiva. (Moreira; Greca, 2003)

É interessante notar que, nessa mesma perspectiva, a aprendizagem significativa ocorre quando o material proposto interage com os conceitos relevantes, inclusivos e disponíveis na estrutura cognitiva. (Moreira; Masini, 2001)

O fator isolado mais importante influenciando a aprendizagem é aquilo que o aprendiz já sabe. Para ele, aprendizagem significa organização e integração do novo material na estrutura cognitiva. Como outros teóricos do cognitivismo, ele parte da premissa de que existe na mente do indivíduo uma estrutura na qual a organização e a integração se processam: é a estrutura cognitiva, entendida como o conteúdo total de ideias de um indivíduo e sua organização, ou o conteúdo e a organização de suas ideias, em uma determinada área de conhecimento. (Ausubel, 1980; 2000)

A aprendizagem significativa implica na aquisição de novos conceitos, ou ainda, é um processo pelo qual uma nova informação se relaciona com aspecto relevante da estrutura de conhecimento do indivíduo. Tem respaldado muitos estudos referentes à aquisição de conceitos na escola e tem na aprendizagem significativa por recepção seu principal tema. (Ausubel *et al*, 1980).

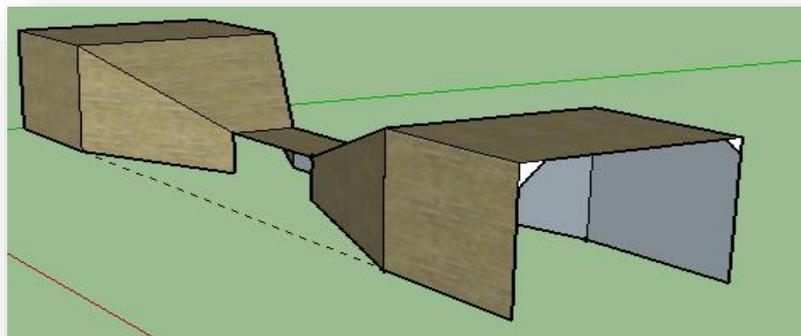
Assim, este trabalho sintetizou as ideias de Ausubel proporcionando um aprendizado bastante significativo nos alunos, aumentando o desempenho do professor em sala de aula e propondo que o aluno seja protagonista da sua aprendizagem. Um produto educacional capaz de trazer o aluno para uma efetiva participação da construção do saber e provocando questionamentos muito relevantes sobre o fenômeno físico em questão. A inserção da experimentação no ensino da Física veio preencher um grande espaço no Ensino Médio.

5.2 Desenvolvimento do produto educacional

No início do projeto foram realizados testes com algumas estruturas do protótipo do túnel de vento. Primeiro foi confeccionado em papelão onde não foi possível ser realizados testes devido à logística e o tempo disponível para conclusão final do projeto, já em uma segunda montagem, mantivemos o formato retangular da versão anterior e elaboramos um túnel em MDF (Medium Density Fiberboard) com espessura de 20 mm. Obteve-se uma boa rigidez na estrutura e leveza no equipamento. Com paredes internas lisas para otimizar o fluxo interno do ar aspirado por um motor. O túnel possuía um comprimento de 1,20 m com áreas de sucção e exaustão de ar medindo 40cm². A representação destas versões iniciais está representada no software *Sketchup* (figuras 5 e 6).

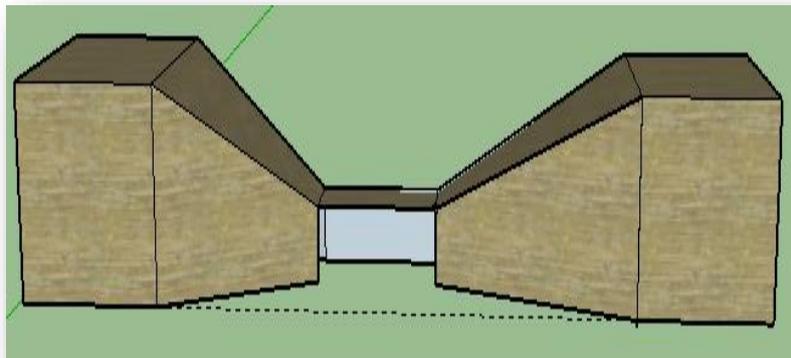
O *software Sketchup* reproduz uma imagem 3D do túnel de vento e retrata uma boa réplica do protótipo do túnel. O *Sketchup* é um programa muito utilizado por arquitetos, designers, construtores, fabricantes e engenheiros. Também podendo ser usado para fins educacionais.

FIGURA 5- Visão da entrada de ar do primeiro protótipo sem o eletroventilador. (Imagem produzida pelo software Sketchup.)



Fonte: O Autor (2017)

FIGURA 6- Visão frontal da câmara de ensaios do Túnel de vento. Imagem produzida pelo software Sketchup.



Fonte: O Autor (2017)

Tomando como base, portanto, a imagem criada no software Sketchup e do prévio estudo sobre túneis de vento, foram realizadas as duas primeiras versões (fotografia 8) do túnel de vento educacional.

FOTOGRAFIA 8- As primeiras versões do túnel de vento educacional. A imagem da esquerda é com a estrutura de papelão e o da direita em MDF.



Fonte: O Autor (2017)

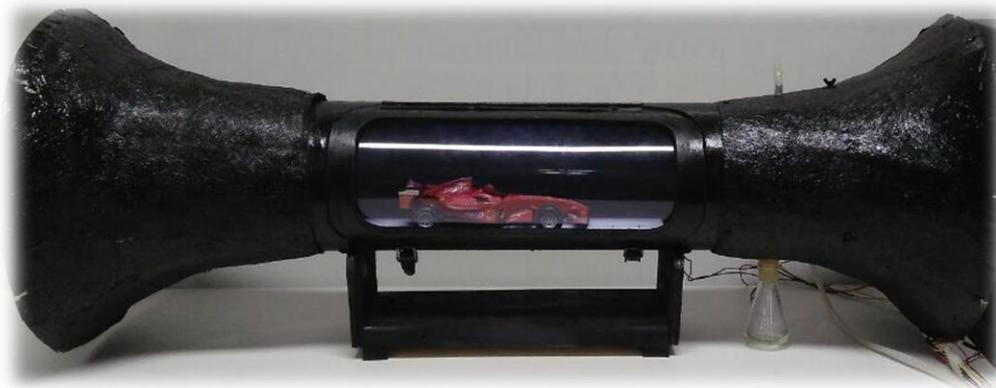
Além de uma imagem 3D, foi feita uma análise computacional do meio fluido para melhorar o resultado do produto educacional, usando o *software* ANSYS.

Após observar alguns resultados obtidos pelo *software* ANSYS, elaboramos a penúltima versão (fotografia 9) do protótipo educacional com um formato cilíndrico. Otimizando assim, as perdas de cargas ao longo do túnel e,

portanto, ganhando um acréscimo na velocidade do fluxo do ar ao encontrar-se na câmara de ensaios.

A câmara de ensaios foi dimensionada no *software CorelDraw* e levada ao profissional que realiza cortes a *LASER* no MDF. Ganhando, portanto, melhorias na confecção do produto educacional, com a utilização dos cortes a laser.

FOTOGRAFIA 9- Visão frontal do túnel de vento em outro protótipo já otimizado. O difusor de entrada foi confeccionado em fibra de vidro e resina epoxi. A câmara de ensaios foi feita em papelão de alta densidade no formato cilíndrico.



Fonte: O Autor (2017)

Ao realizar algumas medidas no protótipo educacional da figura 15, observou-se uma turbulência na saída de ar quando o fluxo se chocava com a colmeia e o próprio difusor de saída. Portanto, retirou-se a colmeia e difusor de saída para tentar eliminar as perdas de carga causadas pela turbulência. A colmeia na entrada da câmara de ensaios foi mantida, pois é ela quem direciona o fluxo de ar. Após esta otimização (retirada da colmeia e difusor de saída) no produto educacional, onde os custos foram reduzidos e até mesmo o tempo de construção foi diminuído, chegou-se a versão final (fotografia 10) do túnel educacional.

FOTOGRAFIA 10- Versão final do túnel de vento educacional. Foi substituído o difusor de saída por uma estrutura em PVC (policloreto de vinila) apenas como forma de ilustração.



Fonte: O Autor (2017)

Para alterar o regime de escoamento do fluido de turbulento para laminar foi utilizada uma estrutura na configuração da colmeia, composta por canudos medindo 9 cm de comprimento e dispostos lado a lado. Estas estruturas foram postas na entrada da câmara de ensaios. A colmeia (ver fotografia 11) é um dispositivo por onde as linhas de fluxo de ar individuais se tornam paralelas. Em outras palavras, a colmeia tem a função de corrigir a direção de escoamento (BARLOW,1999) propiciando, portanto, uma visualização das linhas do fluxo de ar na câmara de ensaios do túnel de vento educacional.

FOTOGRAFIA 11- Visão da colmeia instalada na entrada da câmara de ensaios, logo após a área de contração da entrada de ar. Na imagem é possível observar o sensor do anemômetro durante um ensaio de velocidade.



Fonte: O Autor (2017)

Uma janela de acrílico foi instalada na câmara de ensaios para a observação do fenômeno. Nesta janela pode-se acoplar uma câmera de vídeo para registro do objeto em estudo. Para a verificação das linhas de corrente foi inserida fumaça na câmara de ensaios, que é advinda da máquina de fumaça.

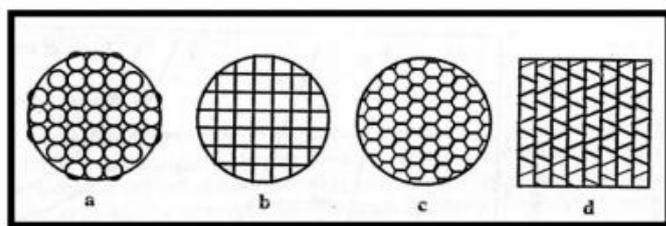
Para otimizar o espaço utilizado pelo espaço do túnel e, assim, obter-se uma melhor configuração mais fácil no transporte, instalou-se dentro da CPU (*Central Processing Unit*) (fotografia 12) a máquina de fumaça, a bateria e os circuitos eletrônicos de controle do motor e carregamento da bateria. Após a fumaça ser ejetada pela máquina quando acionada pelo controle remoto, tem-se a condensação do vapor. E para não encharcar os componentes do túnel, foi colocado um *erlenmeyer* para que toda a água condensada seja recolhida.

Uma mangueira de silicone foi instalada na saída da máquina de fumaça até a parte superior da entrada de ar, onde se encontra um tubo de latão perfurado com diâmetro de 5 mm. A fumaça ao ser injetada é distribuída entre os furos espaçados de 3 cm, assim é empurrada pelo fluxo de ar advindo do eletroventilador seguindo as linhas de corrente.

O eletroventilador foi instalado na entrada de ar do meio fluido, e fixado na estrutura da fibra e vidro da entrada de ar. Ele é um componente importante no projeto do túnel de vento, deve atender à demanda do sistema, superar as perdas geradas em cada componente e, assim, fornecer a vazão esperada.

Para uma perspectiva futura montagem do Túnel de Vento, utilizaríamos cortes a laser no MDF para compor a parte da entrada de ar e área de contração. A câmara de ensaios seria composta apenas por acrílico, como também a estrutura da colmeia, deixando o nosso experimento com uma melhor visualização do fluxo que contorna o corpo de prova e mais leve, facilitando o transporte do aparato experimental. Como a intenção é levar este produto educacional para equipar os laboratórios das Universidades, bem como em escolas de Ensino Médio que muitas vezes não possuem laboratórios ou espaços adequados, é prudente que pensemos cada vez mais em materiais leves, tornando o traslado do produto educacional mais fácil.

FIGURA 7- Exemplos de colmeia

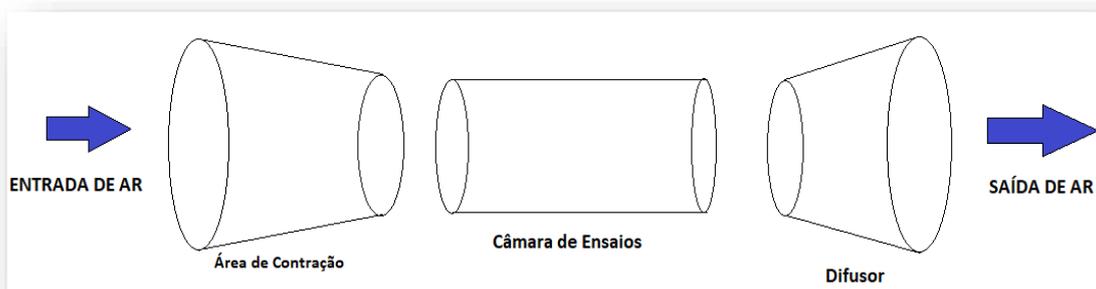


Fonte: Barlow, Jewel B. et al., 1999.

A partir da elaboração de cada componente descrito acima segue a visão do projeto em esboço de suas medidas como guia para iniciar o projeto do produto educacional.

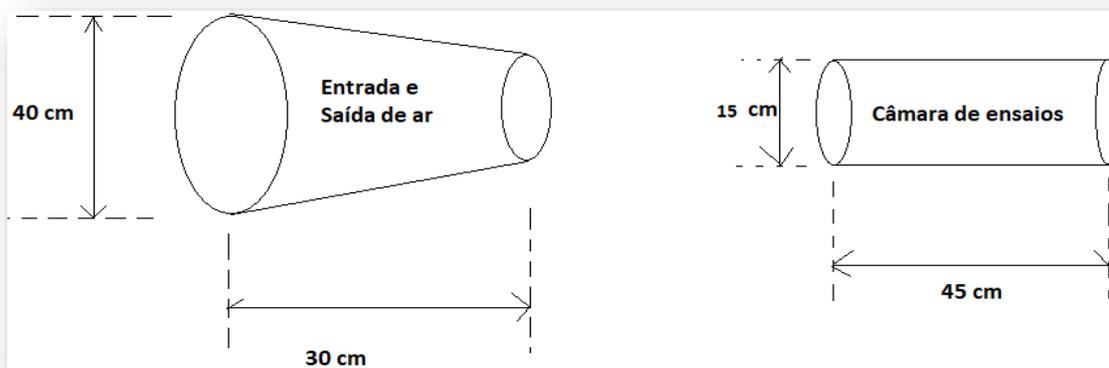
Para tanto, com auxílio de um esquadro, de uma trena e um lápis de carpinteiro, realizou-se marcação na estrutura pré-moldada de acordo com o desenho de fabricação do projeto (figuras 8 e 9)

FIGURA 8- Difusor da versão final em formato de turbina de avião.



Fonte: O Autor (2017)

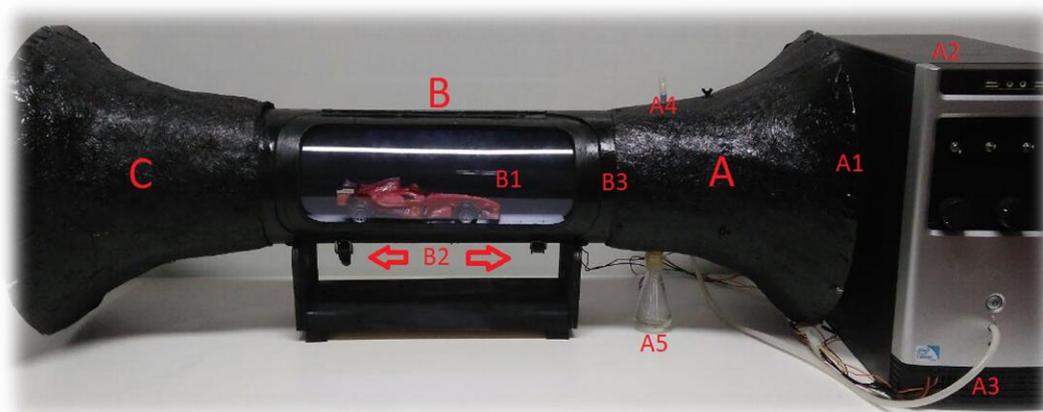
FIGURA 9- Difusor da versão final em formato de turbina de avião.



Fonte: O Autor (2017)

Os materiais usados contemplam diversos painéis de madeira compensada montada em uma configuração aerodinâmica, exaustor com controle de velocidade, anemômetro, telas de proteção e pedestal com rodas. Na etapa de pré-construção, foi realizada uma intensa pesquisa sobre os túneis de ventos acompanhada do dimensionamento para um equipamento portátil.

FOTOGRAFIA 12- Imagem completa do túnel de vento com suas respectivas partes. Em: A) Entrada de ar, A1) Eletroventilador na parte interna, A2) Módulo de controle onde está instalada a máquina de fumaça e circuito eletrônico, A3) Mangueira de silicone, A4) Tubo de latão inserido na parte superior da entrada de ar, A5) Erlenmeyer, B) Câmara de ensaios, B1) Janela de acrílico, B2) Dobradiças, B3) Colmeia inserida entre o final da área de contração e a entrada da câmara de ensaios, C) Difusor (saída de ar).



Fonte: O Autor (2017)

Montada a parte mecânica e instalada a parte elétrica, o túnel (fotografia 10) está disponível para aplicação em sala de aula e início das análises qualitativas com os discentes.

6 DETALHAMENTO DOS MATERIAIS E CUSTOS

Os túneis de vento são aparatos de teste de grandes dimensões, que objetivam testar os fluidos contornando os corpos de prova, tais como meios de transporte e edificações. São, portanto, economicamente custosos. Por isso pensou-se num projeto que tivesse por princípio a realização de um produto educacional de baixo custo. Nesse sentido, toda confecção primou-se por materiais de baixo custo ou reaproveitamento de materiais, a fim de que o projeto pudesse ser replicado nas mais variadas particularidades educacionais.

Contudo, o produto educacional foi bastante modificado até sua versão final e foi possível perceber custo necessário para que este produto educacional seja replicado em salas do Ensino Médio. Assim, foi verificado um gasto fixo que é a máquina de fumaça. Os demais componentes podem ser reaproveitados, prezando pela sustentabilidade ambiental e econômica.

Apesar disso, caso o professor faça uma análise computacional, deve-se adquirir um anemômetro digital para ratificar as velocidades observadas no *software* com o próprio túnel de vento educacional.

O orçamento do protótipo do túnel de vento foi organizado em uma tabela (ANEXO B), cujas projeções de valores dependerão de uma diversidade de fatores como, por exemplo, o dimensionamento de cada componente, o local da compra ou aquisição o material, dentre outros. Neste orçamento, serão incluídas despesas como mão de obra e frete.

Na versão final, com todo conhecimento adquirido nas elaborações das versões iniciais, foi possível construir um produto educacional otimizado e sem muito gasto. Diversos materiais podem ser encontrados em lojas de materiais de construção, são eles: A tela de proteção de *nylon*, fibra de vidro, resina e gesso.

Os canudos plásticos para refresco continham oitocentas unidades em seu pacote e é adquirida em qualquer loja de festas.

A hélice (figura 10), o *Spinner* (fotografia 13), o anemômetro digital (fotografia 14) e a máquina de fumaça foram comprados pelo mercado virtual.

O motor de impressora (fotografia 15) é uma parte fundamental na elaboração do túnel de vento. Ele se mostrou útil pelo seu rendimento e em seu fácil manuseio. Também é importante ressaltar que foi adquirido a custo zero,

deixando o túnel cada vez mais acessível ao professor que deseja replicar este produto educacional em sua escola.

As especificações e suas respectivas imagens são:

1. O *Spinner* em alumínio que é adaptador de hélice eletrônico com eixo de 3mm.

FOTOGRAFIA 13- Spinner em alumínio



Fonte: O Autor (2017)

2. A Hélice de 10 cm de comprimento por 6mm de curva de passo do tipo Hd e Gws para Aeromodelo.

FIGURA 10- Hélice do eletroventilador.



Fonte: O Autor (2017)

3. O Anemômetro Digital.

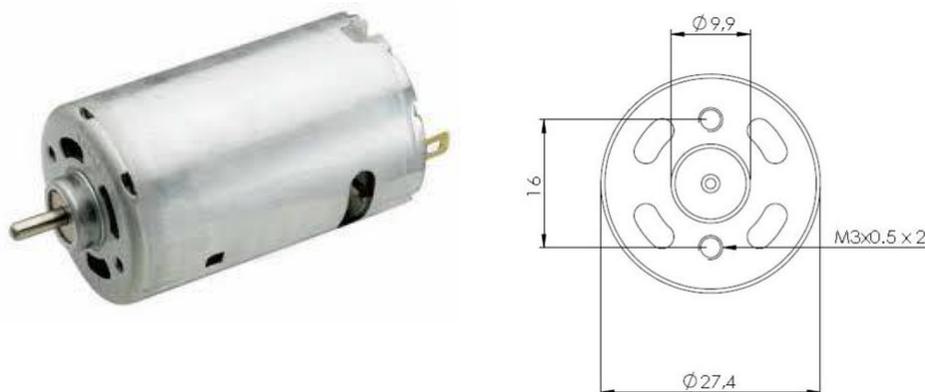
FOTOGRAFIA 14- Anemômetro digital: aparelho eletrônico para aferir velocidade do fluido



Fonte: O Autor (2017)

4. Motor de Impressora

FOTOGRAFIA 15- Motor de impressora com tensão nominal de 12 V e velocidade de 12500 rpm.



Fonte: O Autor (2017)

A fibra de vidro usada para dar o formato da entrada e saída de ar, juntamente com a resina para fixar a fibra, custaram aproximadamente cinquenta reais e podem ser encontradas em lojas de materiais de construção.

A argila que foi usada para moldar o formato da turbina de avião antes de ser recoberta por fibra de vidro é encontrada em lugares que vendem adubo.

A possibilidade de construção de um protótipo de um túnel de vento é extremamente viável e altamente relevante para o ensino da hidrodinâmica ou fluidodinâmica nas escolas, visto que se trata de um produto educacional que consegue ilustrar de forma acessível o estudo dos fluidos dentro das salas de aulas.

Para que o professor do Ensino Médio e até mesmo do Ensino Superior elaborem uma forma alternativa e sustentável de construir um protótipo do túnel de vento, basta que ele consiga a parte da carenagem do túnel com materiais reutilizáveis, tendo apenas o gasto com a máquina de fumaça e o eletroventilador. Logo, terá um custo de aproximadamente quatrocentos reais, ressaltando que este preço ainda poderá cair pela metade pelo fato de ter sido adquirido no mercado virtual. Incluindo o frete bastante elevado.

7 ANÁLISE DOS RESULTADOS

A presente pesquisa foi desenvolvida a partir da identificação de uma problemática que envolve o ensino da hidrodinâmica na educação básica. A partir de uma sondagem prévia, nos livros didáticos e nos programas de disciplina, percebeu-se uma defasagem deste conteúdo nas abordagens escolares. Esta pré-constatação gerou o projeto de um produto educacional que pudesse contemplar o tema da hidrodinâmica no ensino médio.

O túnel de vento foi elaborado como protótipo educacional com o objetivo de fazer a transposição didática dos conteúdos da hidrodinâmica para a realidade estudantil, tornando o aluno capaz de perceber situações físicas do cotidiano, como, por exemplo, o entendimento do efeito do fluido sobre os objetos aerodinâmicos e, assim, compreender o porquê da construção dos formatos dos objetos na construção civil, na aviação, e/ou na própria natureza.

Os outros segmentos da pesquisa consistiram em uma análise computacional e do túnel de vento educacional, usando o *software ANSYS*; aplicação e análise de questionários com professores de física do Ensino Médio; análise do conteúdo da hidrodinâmica dos livros didáticos PNLD2018.

7.1 Análise computacional e do túnel de vento educacional

Para um estudo preliminar de nosso produto educacional, realizamos uma análise computacional utilizando o *software ANSYS*, visando extrair informações pertinentes para este produto, como por exemplo: velocidade do fluxo de ar ao contornar corpos de prova.

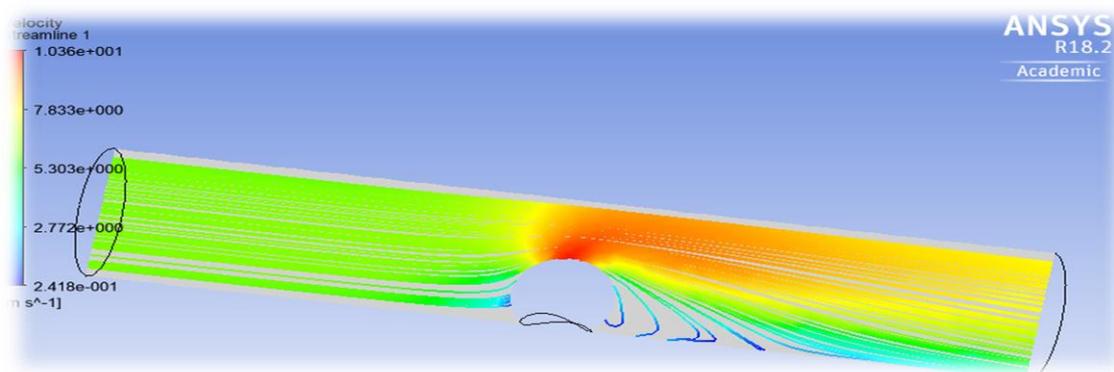
O *ANSYS* é uma ferramenta usada para realização de simulações. Atualmente, é utilizada por diversas indústrias para realizar análises estruturais, térmicas, fluido- dinâmicas, eletrodinâmicas, entre outras funções. Assim, fizemos uso desta ferramenta digital para realizar as simulações do fluido ao redor dos objetos inseridos dentro do túnel de vento.

No *software ANSYS*, desenhamos um meio fluido cilíndrico com as mesmas dimensões da câmara de ensaios do túnel de vento. As áreas de entrada e saída de ar não foram incluídas pelo programa, pois já foi dada a velocidade de entrada da própria câmara de ensaios, na qual foi verificada em laboratório por um anemômetro digital.

Objetos primitivos foram inseridos no meio fluido, como esfera e cilindro. Estes objetos foram simulados dentro o meio fluido por uma corrente de ar, com entrada de vento de velocidade de cinco metros por segundo. No protótipo do túnel de vento educacional foi utilizado um anemômetro para verificar as distribuições de velocidades ao longo da câmara de ensaios.

Para uma primeira análise vamos discutir a simulação de uma meia esfera interna ao meio fluido, que é a representação da câmara de ensaios do protótipo do túnel de vento.

FIGURA 11- Meio fluido cilíndrico com corpo de prova esférica

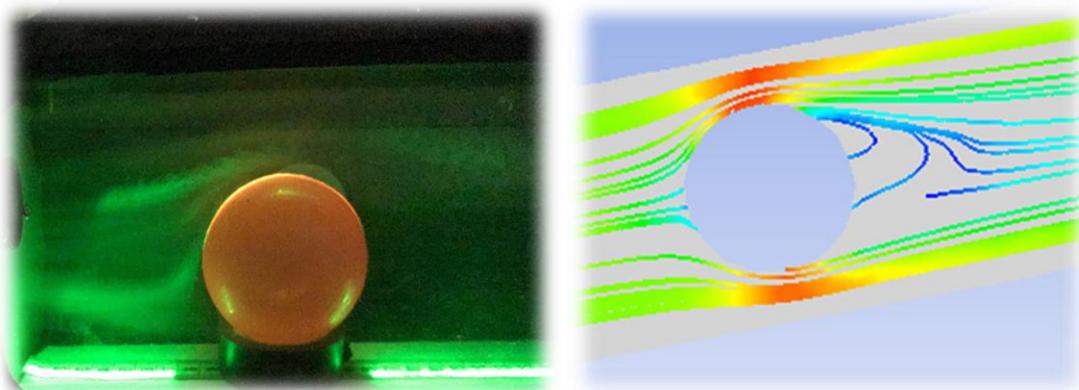


Fonte: O Autor (2017)

Nesta primeira análise, observa-se como fluxo de ar na parte superior da esfera obteve um ganho na velocidade considerada se comparado com a entrada de ar. Com o espectro de velocidade ao lado esquerdo da imagem (figura 11), juntamente com as cores, percebemos este aumento considerável. Podemos concluir que a pressão superior à esfera é inferior à sua pressão externa, que não foi contornada pelo fluido. Pois, a equação de Bernoulli nos diz que quanto maior a velocidade do fluido, menor é a pressão em relação à outra região ou linha de corrente, que não obteve altas velocidades, surgindo, então, uma força de sustentação de baixo para cima.

Para uma melhor análise dos resultados obtidos pelo túnel de vento educacional, foi feita uma comparação com os dados extraídos do *ANSYS STUDENT*.

FOTOGRAFIA 16- Comparação do túnel de vento educacional e o software ANYS. Da esquerda para a direita temos respectivamente a imagem da esfera inserida na câmara de ensaios do protótipo do túnel de vento e a imagem da simulação no software.

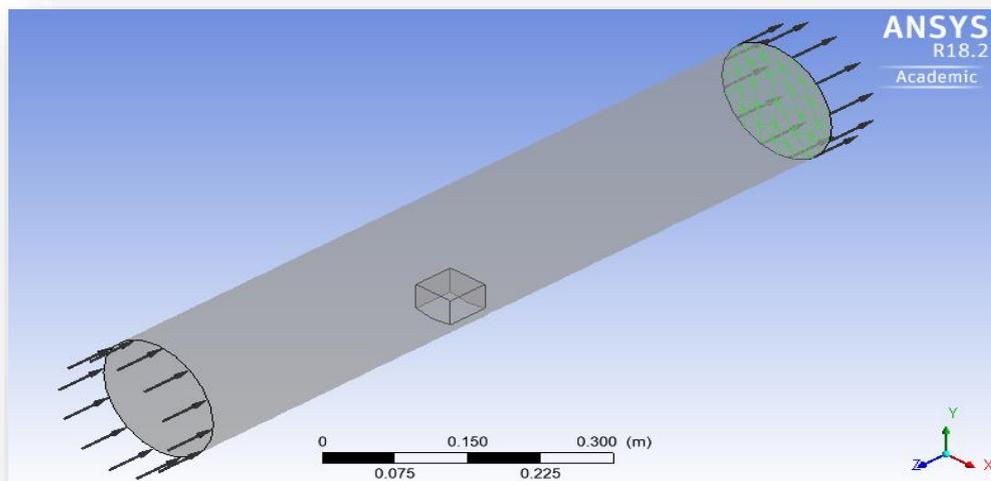


Fonte: O Autor (2017)

Na comparação entre o protótipo do túnel de vento com a simulação computacional (fotografia 16), foi primeiramente analisado como o fluxo de ar iria se comportar ao contornar um objeto esférico inserido na câmara de ensaios. Para uma análise qualitativa, foi possível perceber o aumento de velocidade na parte superior da esfera tanto do protótipo quanto do simulador e do descolamento da camada limite que foi praticamente coincidente. Obteve-se, portanto, uma boa representação do fenômeno físico real (imagem da esquerda) com o simulador computacional (imagem da direita).

Para uma segunda análise, colocamos um meio fluido cilíndrico (câmara de ensaios), inserindo um objeto cúbico.

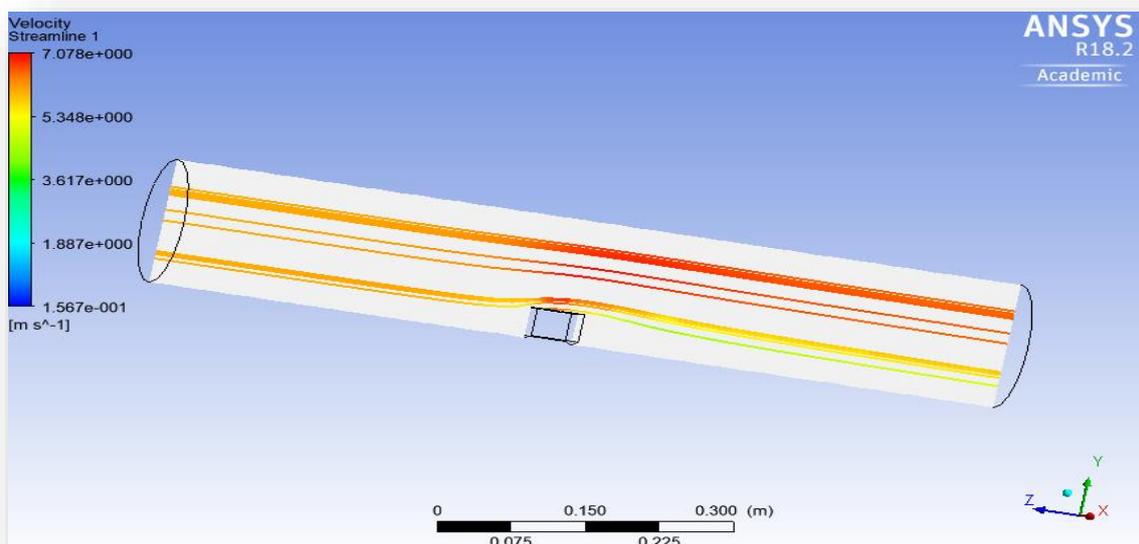
FIGURA 12- Representação da entrada e saída de ar do meio fluido cilíndrico e corpo de prova cúbico na simulação computacional.



Fonte: O Autor (2017)

A figura 12 representa o meio fluido com um corpo cúbico inserido dentro dele e as respectivas condições de contorno, representadas pelas setas. Nesta figura não se tem a análise computacional, apenas o desenho da sua geometria com as respectivas condições de contorno.

FIGURA 13- Representação das linhas do fluxo de ar contornando corpo de prova cúbico.



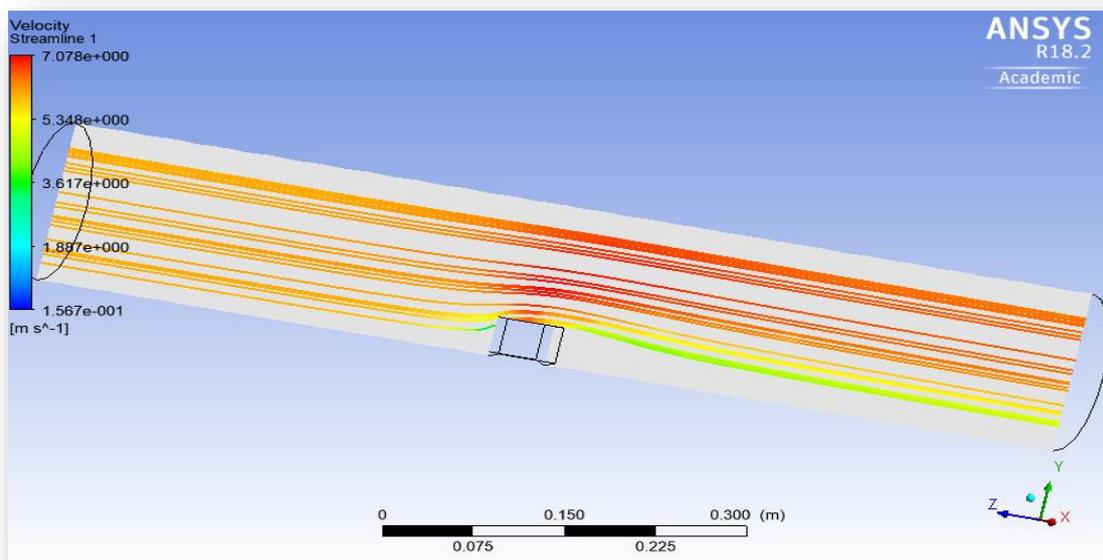
Fonte: O Autor (2017)

Esta imagem nos mostra um meio fluido cilíndrico, com um plano no eixo yz, por onde as linhas de corrente estão representadas. Pode-se observar um

salto das linhas do fluxo de ar ao contornar o objeto cúbico. Este salto do fluido (descolamento da camada limite) ao contornar o objeto, elucida que o fato da velocidade não ser aumentada e ter uma pressão relativamente alta nesta região em comparação à região de alta velocidade. Percebe-se, então, o porquê de os aviões terem os formatos praticamente esféricos de suas asas, para ganhar força de sustentação de baixo para cima, apenas fazendo um gradiente de pressão pelo aumento da velocidade na parte superior da asa.

Para ilustrar melhor, observe as linhas mais próximas ao objeto inserido ao meu fluido nesta imagem a seguir:

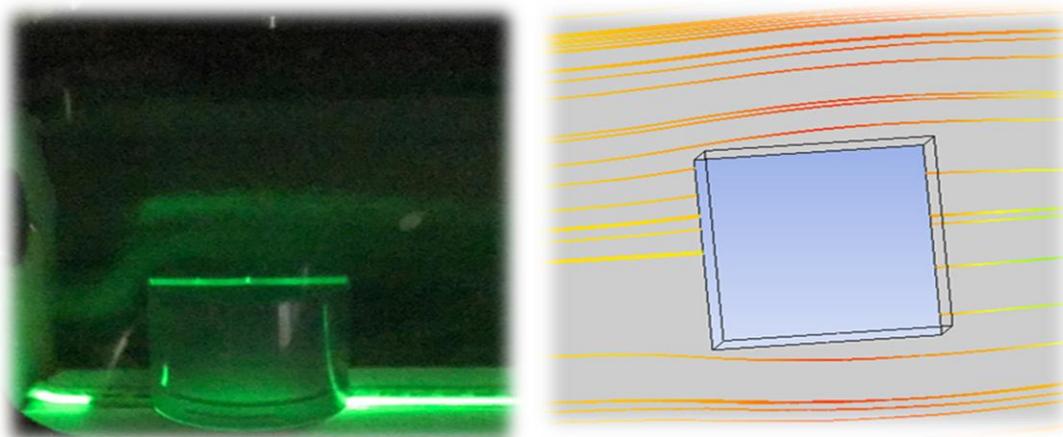
FIGURA 14- Representação das linhas do fluxo de ar contornando corpo de prova cúbico, com mais linhas no plano de visualização.



Fonte: O Autor (2017)

Nesta segunda análise, a comparação entre o protótipo do túnel de vento com o simulador também apresentou resultados bem aproximados. Confirmando uma boa reprodução do protótipo do túnel com o simulador computacional.

FIGURA 15- Reprodução da imagem do protótipo educacional no simulador computacional.

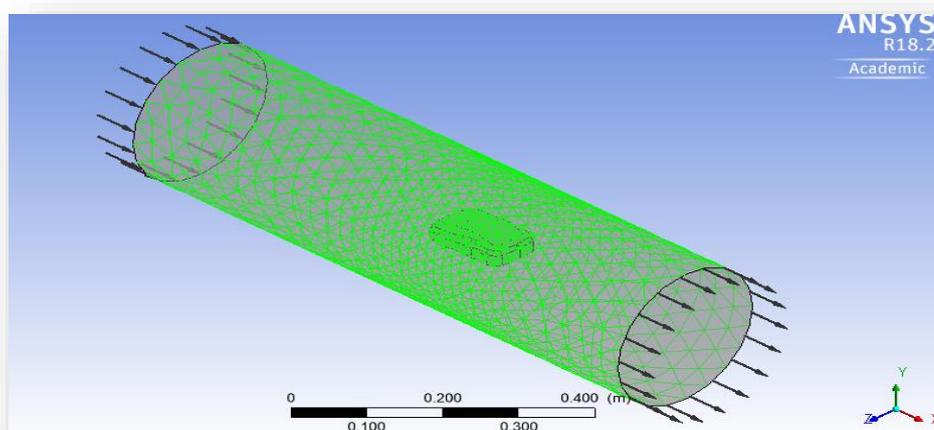


Fonte: O Autor (2017)

Observou-se na figura 15 um descolamento da camada limite no bordo de ataque do corpo cúbico tanto na imagem da câmara de ensaios do túnel educacional quanto na representação do simulador computacional. Confirmando, portanto, uma excelente reprodução do fenômeno físico do túnel de vento educacional na análise computacional: software *ANSYS*.

Formas diferenciadas foram analisadas no *software ANSYS*, inserimos ao meio fluido um corpo não primitivo. Um protótipo de um carro popular foi colocado no respectivo simulador. Este corpo de prova mostra o quão útil é este software, possibilitando um estudo mais detalhado e realista de corpos reais.

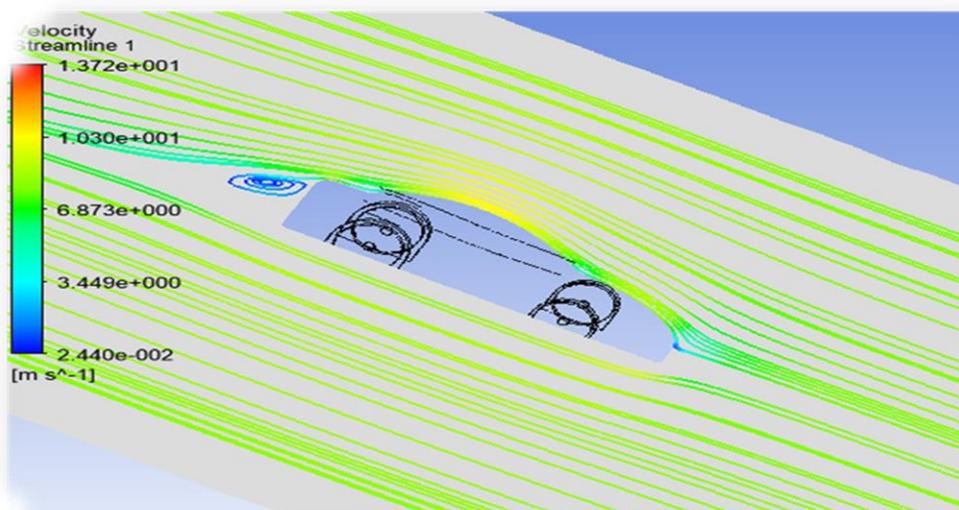
FIGURA 16- Representação da malha no meio fluido cilíndrico com protótipo de um carro como corpo de prova



Fonte: O Autor (2017)

Temos na Figura 16 a representação do carro inserido ao meio fluido e as respectivas condições de contorno. Para esta simulação de um corpo não primitivo, foi introduzida uma velocidade acima de 5 metros por segundo na entrada de ar. A velocidade foi simulada em oito metros por segundo, podendo assim o software mostrar o resultado do fluxo do ar contornado o respectivo protótipo de carro. Ao tentar simular com velocidade igual e inferior a cinco metros por segundo o *software* não conseguia executar os resultados por causa da geometria dos corpos. Ao contornar este problema, incluindo velocidades superiores, o *software* levou um tempo de aproximadamente cinquenta segundos para executar o comando de *loop* do sistema, podendo assim observar as linhas do fluxo de ar contornando o protótipo.

FIGURA 17- Protótipo de um carro comum com as linhas de corrente.



Fonte: O Autor (2017)

FIGURA 18- Representação vetorial e aproximada das linhas de corrente.



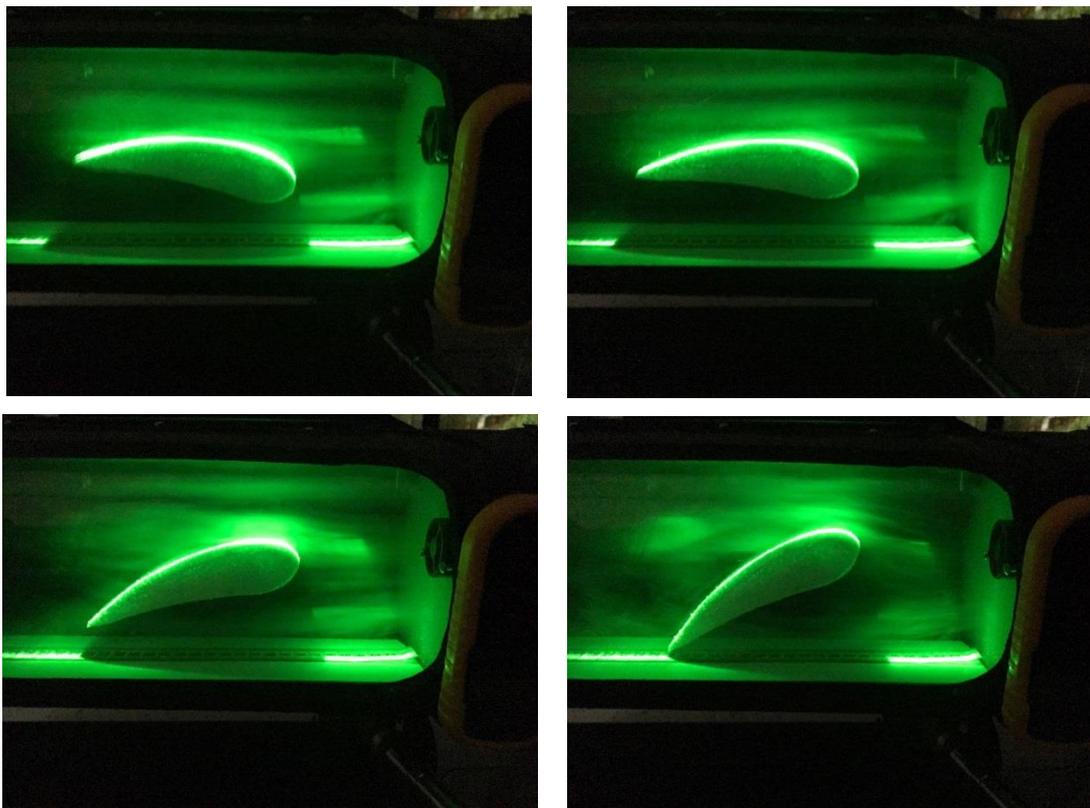
Fonte: O Autor (2017)

Analisando o protótipo por meio de setas e aproximando a imagem, observa-se que o fluxo ao contornar sua parte aerodinâmica superior obteve um aumento de velocidade muito aquém do visto na esfera anteriormente. Pois, se assim não fosse, o carro poderia ser vítima de uma força de sustentação para cima, fazendo com que o mesmo perca aderência dos pneus com o solo, deixando-o sem estabilidade e possibilitando várias possíveis colisões no decorrer de sua movimentação nas vias e ruas.

Também é possível observar uma linha azul contornando toda a carenagem do veículo. Esta região é o começo da camada limite, onde a velocidade do fluxo é considerada nula. Este efeito pode explicar o acúmulo de poeira no carro. Para um maior aprofundamento deste conceito: no descolamento da camada limite tem-se o maior acúmulo de poeira no carro. Pois nesta região é onde tem baixas pressões, criação de vórtices e, portanto, maior volume de ar passando sobre o carro.

Este conceito de camada limite pode ser elucidado também nos próprios ventiladores das residências. Nos ventiladores há muito acúmulo de poeiras nas hélices como mais intensidade nas extremidades, pois é nesta região que existe o descolamento da camada limite e o volume de ar sobre ela aumenta consideravelmente em comparação ao meio da hélice do ventilador.

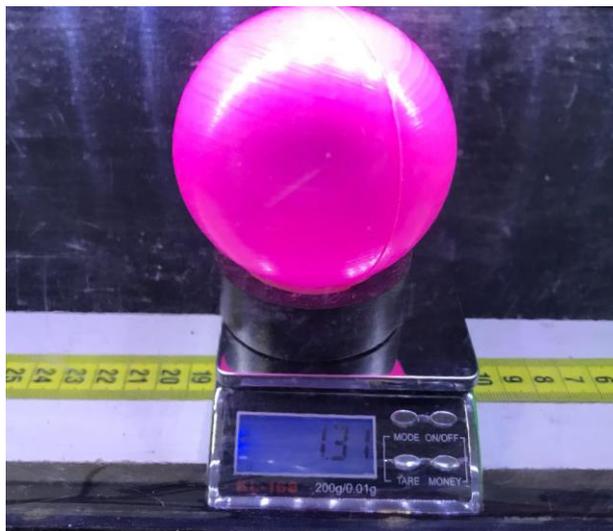
FOTOGRAFIA 17- Perfil de asa de avião inserido na câmara de ensaios do túnel de vento educacional.



Fonte: O Autor (2017)

Um perfil de asa de avião (fotografia 17) confeccionado com isopor foi inserido no protótipo do túnel de vento educacional. Sua análise não foi correlacionada com o software *ANSYS*, mas foi possível observar turbulência ao variar o ângulo entre o perfil da asa e a base da câmara de ensaios (o ângulo de ataque). Com esta variação no ângulo de ataque, o descolamento da camada limite foi antecipado e assim a própria formação de turbulência.

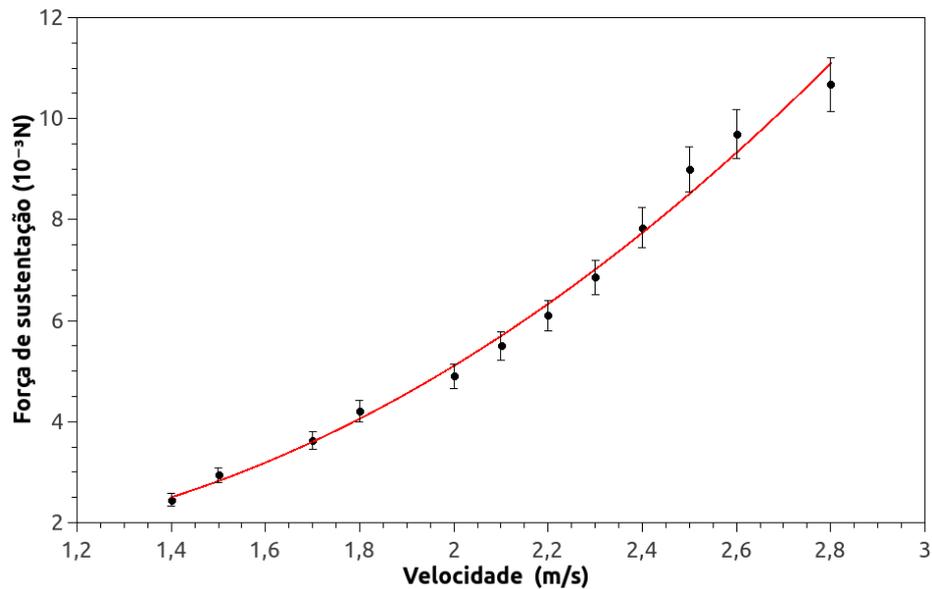
FOTOGRAFIA 18- Protótipo de carro de “fórmula one” e uma balança de precisão dentro da câmara de ensaios



Fonte: O Autor (2017)

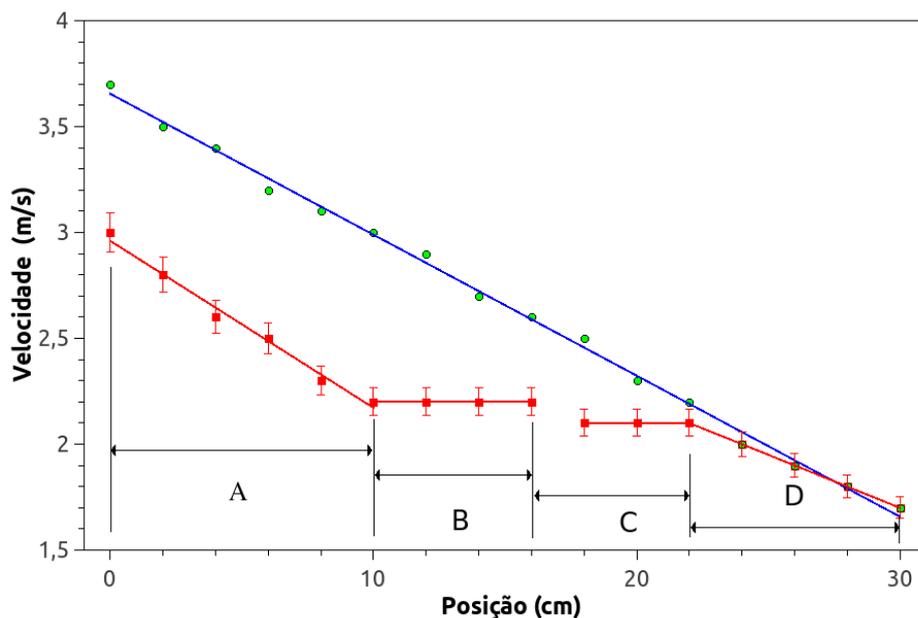
Na fotografia 18 foi possível extrair valores da força de sustentação quando o fluxo de ar contornava os objetos colocados em cima de uma balança de precisão. O ar só tinha como passar pela parte superior da esfera rosa, pois a parte inferior era a balança de precisão. Assim, ao passo que o ar fluía na parte superior e o gradiente de velocidade surgia na esfera, a balança indicava um valor negativo, sugerindo o aparecimento da força de sustentação: uma força voltada para cima, contrária ao sentido da gravidade. Um gráfico foi confeccionado para a caracterização do equipamento com o auxílio de uma balança de precisão e observação das forças de sustentação quando a velocidade do fluxo era variada. O eixo x do gráfico é a representação da variação da velocidade do fluxo de ar dado pela fonte do eletroventilador e o eixo y a força de sustentação extraída da balança de precisão.

GRÁFICO 1- Gráfico da Força da sustentação pela velocidade.



Fonte: O Autor (2017)

GRÁFICO 2- Velocidade do fluxo de ar ao longo da câmara de ensaios. Região A: é a admissão do fluxo na câmara de ensaios; Região B: local onde se inseriu os objetos; Região C: é posterior aos objetos inseridos dentro da câmara; Região D: a exaustão da câmara de ensaios.

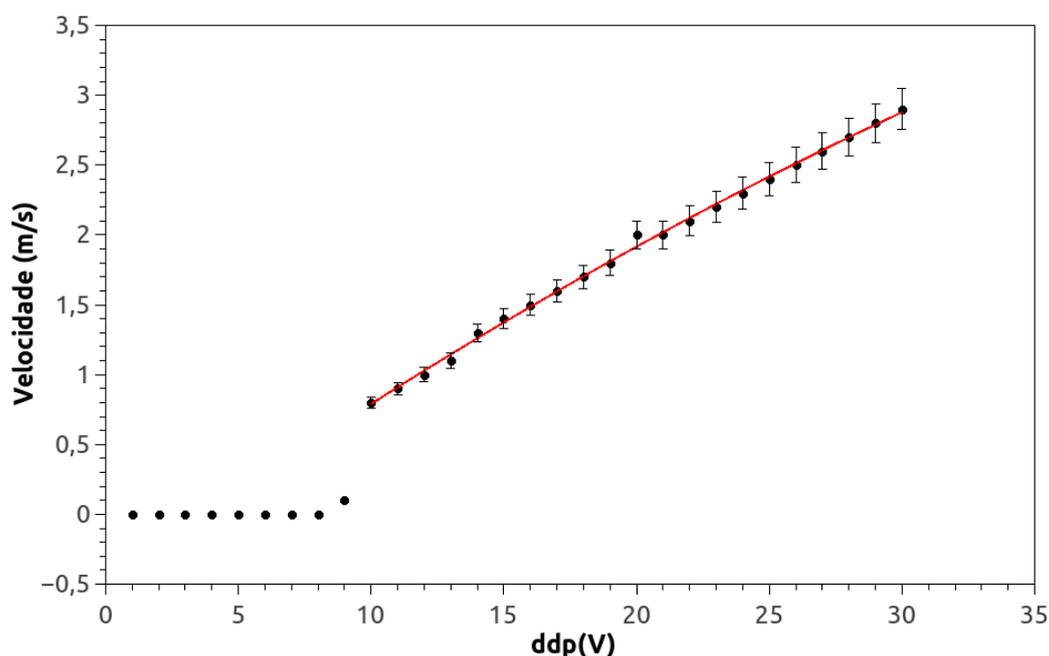


Fonte: O Autor (2017)

No gráfico 2 está representado a velocidade do fluxo de ar dentro da câmara de ensaios em relação a sua posição. A linha azul é a representação da

velocidade para o túnel de vento tipo sugador e o a linha vermelha é do tipo soprador. Entre as posições 10 e 16 cm (região B), a linha vermelha obteve um resultado mais expressivo que a linha azul, pois a linha vermelha corresponde ao regime laminar. Assim, facilitando a análise do fluxo ao contornar os objetos quando inseridos na câmara de ensaio. As velocidades da regiões A, B, C e D foram verificadas sem objetos inseridos dentro da câmara de ensaios.

GRÁFICO 3- Variação da velocidade na entrada da câmara de ensaios versus ddp da fonte.

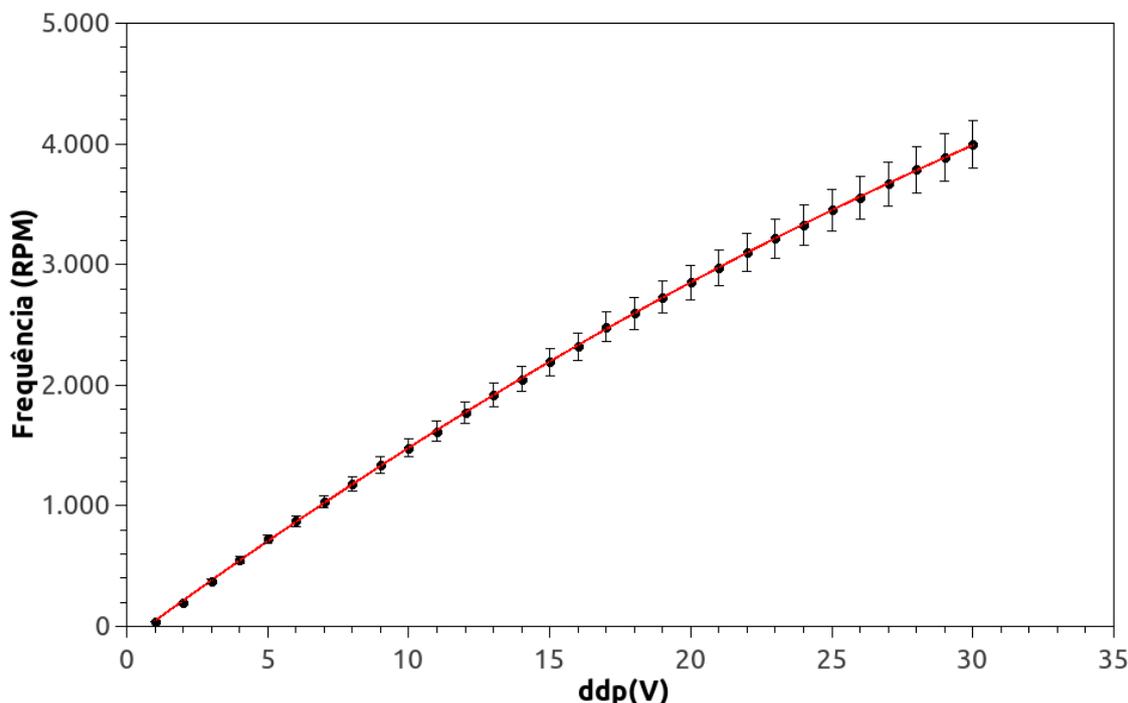


Fonte: O Autor (2017)

Deixando o túnel de vento educacional no tipo soprador é possível verificar a relação entre a DDP (diferença de potencial) da fonte e a velocidade na entrada da câmara de ensaios como se vê no gráfico 3. Verifica-se no gráfico: à medida que a DDP é aumentada, tem-se um aumento da velocidade do fluxo de ar na entrada da câmara de ensaios. Obteve-se, portanto, um melhor resultado qualitativo dentro da câmara de ensaios a partir de uma DDP de 10 V, abaixo desta diferença de potencial a velocidade do fluxo de ar se mantinha nula. O fluxo de ar dentro da câmara conseguiu atingir até uma velocidade de aproximadamente 3 m/s, porém para uma melhor visualização e mantendo-se em regime laminar, a velocidade indicada foi de cerca de 2,2 m/s. Para velocidade superiores a 2,2 m/s o regime passava turbulento, dificultando assim

a análise das linhas ao contornar os objetos aerodinâmicos que forma inseridos na câmara de ensaios.

GRÁFICO 4- Gráfico da frequência do motor pela ddp imposta na fonte de energia.



Fonte: O Autor (2017)

No gráfico 4 tem-se a representação da frequência de giro do motor com a ddp fornecida pela fonte. O motor tem frequência de 12500 RPM, mas sua frequência foi registrada em 10000 RPM devido a carga presa no mesmo. Porém, a frequência efetiva para verificação das linhas de corrente ao contornar os objetos inseridos na câmara de ensaios foi entre 2000 RPM e 3000 RPM. Para obter este espectro de frequência foi necessário variar a ddp da fonte entre 15 V e 22 V, onde se obteve uma velocidade indicada e aproximada de 2,2 m/s. Este limite de velocidade foi tratado como o limite entre os regimes laminar e turbulento.

7.2 O ensino da hidrodinâmica pela ótica dos professores de Física da Educação Básica

Para entender a real situação do ensino de hidrodinâmica e/ou fluidodinâmica nas escolas de Ensino Médio foi elaborado um questionário e

aplicado a uma amostra aleatória de professores de Física de escolas públicas e privadas.

7.2.1. Coleta de dados

Foi aplicado um questionário (Anexo A) a trinta e cinco professores de Física do Ensino Médio, no qual relatam se a hidrodinâmica tem sua abordagem nos livros que adotam para lecionar durante o ano letivo ou se até mesmo aplicam este tema com seus alunos.

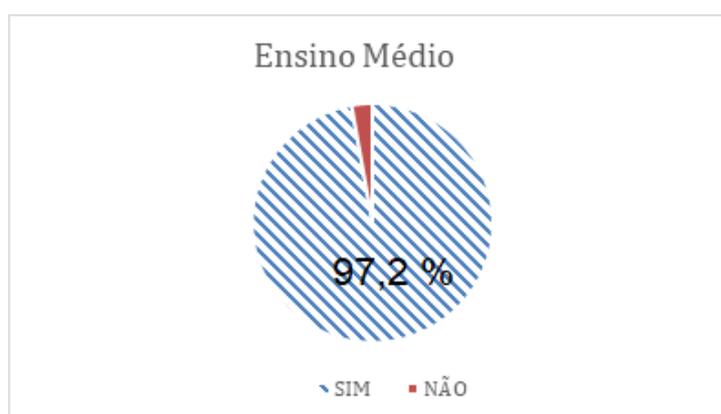
Foi elaborado um roteiro lógico para a construção do questionário e, posteriormente, foram extraídas informações bastante relevantes, que fortaleceram ainda mais a ideia de restaurar o conteúdo da hidrodinâmica na Educação Básica.

7.2.2. Análise do questionário

O questionário aplicado com os professores do Ensino Médio teve o objetivo principal de extrair informações sobre a forma de como é introduzido o tema da Hidrodinâmica no Ensino da Física.

Aos professores que responderam o questionário, obteve-se uma maioria (97,2%) que lecionam em Ensino Médio. Os outros 2,8% correspondem aos professores de Ensino Superior, Técnico e Tecnológico.

GRÁFICO 5- Porcentagem dos professores pesquisados que lecionam no Ensino Médio.

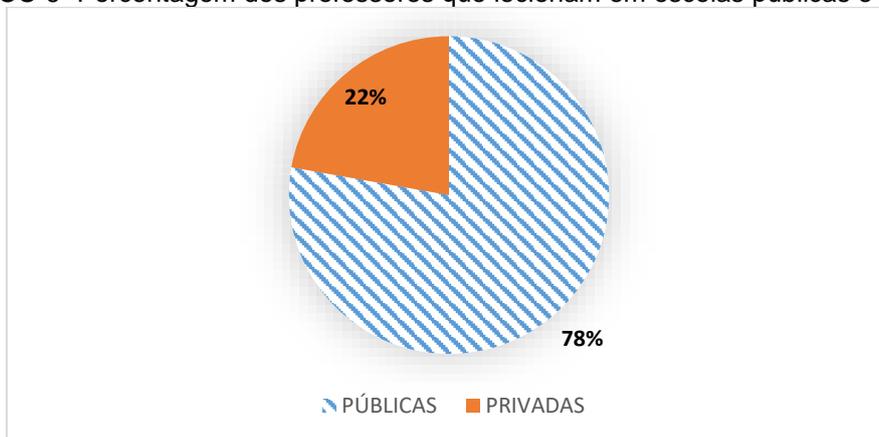


Fonte: O Autor (2017)

Destes, a maioria leciona em escola pública (77,8%). Este tópico é bastante revelador, pois há uma diferença entre os estilos de ensino público e privado. Estas diferenças existem desde os livros didáticos que são adotados

por estas instituições (edição, quantidade de questões, etc.), o tempo demandado para contemplar os conteúdos e desenvolver atividades extracurriculares, até à própria infraestrutura para desenvolver práticas de laboratório.

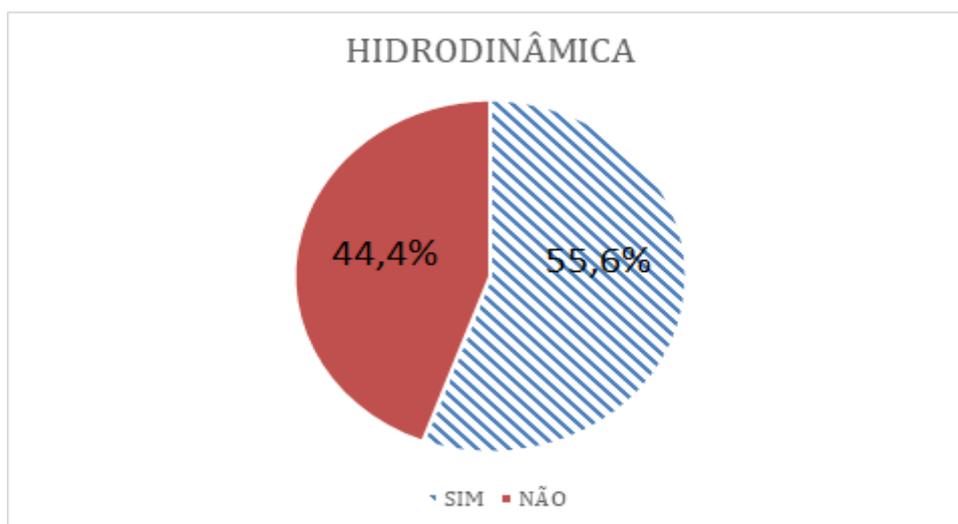
GRÁFICO 6- Porcentagem dos professores que lecionam em escolas públicas e privadas



. Fonte: O Autor (2017)

Na terceira pergunta do questionário aplicado com os professores, procurou-se identificar o quantitativo de professores que abordam ou não o tema da hidrodinâmica durante o ano letivo.

GRÁFICO 7- Porcentagem dos professores que abordam o tópico da Hidrodinâmica.



Fonte: O Autor (2017)

Verificou-se, portanto, que uma sutil maioria (55,6%) relata a não abordagem do referido tema. Confirmando nossa hipótese inicial que esperava

um número inferior de professores abordando a hidrodinâmica no Ensino Médio. No entanto, ao questionar posteriormente as formas de abordagens, os materiais didáticos e a especificação deste conteúdo, alguns dos professores que responderam sim demonstraram ser superficiais na forma como tratam o tema da Hidrodinâmica, pois esta ainda não alcança o espaço condizente com a relevância do referido tema no Ensino da Física.

Os professores que abordam a Hidrodinâmica em sala aula relatam fazer uso de aplicação de fórmulas, resolução de exercícios, vídeos e experiências. Porém, ressalva-se que os professores que fazem uso das aplicações de fórmulas, o fazem apenas quando há tempo residual para a abordagem no ano letivo, pois o ENEM não contempla o referido conteúdo.

Como a Hidrodinâmica é abordada na sala de aula? Caso contrário, justifique.

Entrevistado A: *É um tópico que não existe em cerca de 90% dos livros de ensino médio e não é requisitado no ENEM. trabalho apenas a aplicação de atrito viscoso na área de dinâmica.*

Entrevistado B: *Apenas Hidrostática. A Hidrodinâmica não cai no ENEM.*

Entrevistado C: *Como o conteúdo faz parte do 3º Ano do Ensino Médio a carga horária de 4 aulas semanais não comporta a abordagem deste tópico com devida qualidade. Muitas vezes ele é negligenciado por falta de tempo.*

Entrevistado D: *Nunca cheguei a trabalhar hidrodinâmica, pois, o tempo sempre curto.*

O resultado deste questionário revela, portanto, a importância da inserção da Hidrodinâmica no Ensino Médio e mais especificamente sendo reforçada nos livros didáticos.

Na última pergunta do questionário foi indagado quais livros são utilizados pelos professores e se tem a abordagem da hidrodinâmica nos mesmos. Para elucidar melhor este quesito, apresentaremos detalhadamente algumas respostas.

Entrevistado A: *Conexões com a Física; Editora Moderna; Blaidi Sant'Anna, Glorinha Martini, Hugo Carneiro Reis e Walter Spinelli; 2º Edição, 2013. Hidrodinâmica não está presente em nenhum dos volumes deste livro.*

Entrevistado B: *Átila, Alberto Gaspar, 2010; Scipione, Beatriz Alvarenga, 2005; LTC, David Halliday, 1984. Os dois primeiros só têm a hidrostática no volume 2, em quanto o terceiro aborda muito bem no volume 2, mas com uma linguagem muito avançada para o atual ensino médio, tanto que é uma das fontes utilizada na Universidade.*

Entrevistado C: *Tópicos de física - Ramalho, Nicolau e Toledo, 2015, editora Saraiva. Sim, está inserida como conteúdo normal.*

Entrevistado D: *Editora do Brasil; autor Mauricio Puetrocola e outros; ano 2016; Está inserido no livro a parte da Hidrostática mas não, Hidrodinâmica; porém o assunto é trabalhado na ementa do período correspondente nas turmas EBTT.*

Diante destas e demais respostas extraídas do questionário foi possível perceber que o estudo da Hidrodinâmica aparece em alguns livros, porém alguns não foram aprovados pelo PNLD. Por isso, fez-se necessário aprofundar a análise de tal conteúdo nos livros didáticos aprovados pelo PNLD 2015 e 2018.

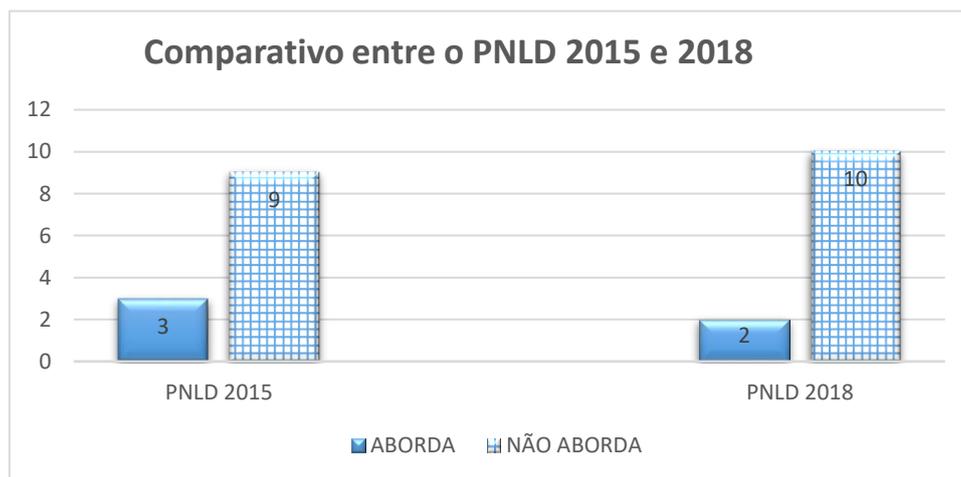
7.3 Análise dos Livros Didáticos PNLD

Os livros aprovados no PNLD 2018 foram a nossa base para a consulta sobre a abordagem ou não da hidrodinâmica no Ensino Médio. Foram revisados doze livros em todos os volumes. E do total destes livros analisados, percebeu-se que apenas dois livros contemplam o tema da Hidrodinâmica. Confirmando a nossa infeliz expectativa e ratificando as respostas extraídas do questionário aplicado com os professores de Ensino Médio.

Nos livros que abordam este tema, que foram os livros da editora FTD e SCIPONE, ambos no referido volume 1 das respectivas edições, notou-se uma breve passagem teórica sobre as equações de Bernoulli e da Continuidade, com poucas explicações sobre seus efeitos deste conteúdo no dia a dia e sem um direcionamento para aplicação de experiências.

Para ilustrar melhor como o tema da Hidrodinâmica vem sendo rejeitado pelo PNLD ao longo dos anos, colocaremos em uma tabela o comparativo, de alguns livros, entre o PNLD de 2015 e 2018, os quais são focos da nossa pesquisa.

GRÁFICO 8- Comparativo entre o PNLD 2015 e 2018 sobre a abordagem da Hidrodinâmica no Ensino Médio.



Fonte: O Autor (2017)

Ao observar o comparativo do gráfico 8, percebe-se que o tema da Hidrodinâmica segue uma tendência de redução no Ensino Médio. No PNLD 2015, 3 livros didáticos abordavam o tema e 9 livros não abordavam. No PNLD 2018 apenas 2 livros didáticos tem a abordagem da Hidrodinâmica e 10 não abordam, diminuindo, portanto, a quantidade de livros que contém a temática.

Entende-se que o livro didático é um dos principais instrumentos para auxiliar os professores na transposição dos conteúdos. Quando o tema ou conteúdo é ausente no livro didático da escola, sua abordagem é mais difícil nesta instituição, onde há escassez de tempo e estrutura para reprodução do conteúdo adicional. Além disso, mesmo que o livro didático contemple o tema, é importante incentivar a elaboração de estratégias de ensino inovadoras e de baixo custo que possibilitem aos estudantes uma experiência acadêmica mais concreta e lúdica, como é o caso do túnel de vento educacional aqui proposto.

8 CONCLUSÕES E PERSPECTIVAS

O protótipo do túnel de vento é um aparato experimental utilizado para analisar grandes edificações, avião e estádio de futebol, por exemplo. Assim, demanda um grande recurso para sua aquisição. Contudo, realizamos um produto educacional acessível, no qual podemos replicá-lo em sala de aula, fazendo-se uma redução drástica em suas dimensões e com um valor bem mais palpável do que o tamanho real.

Além do estudo da fluidodinâmica com este aparato educacional, podemos fazer análises com outros tópicos da Física como medidas de temperatura, por exemplo. Assim, tornando nosso produto mais amplo, podendo englobar mais de um tema.

Em uma perspectiva futura, será proposto um possível esquema de plano de aula e uma avaliação em forma de questionário antes e após aplicação do túnel de vento, com turmas de Ensino Médio. Onde poderá ser verificado se o aluno tem o conhecimento prévio do que é a hidrodinâmica ou fluidodinâmica e demais conhecimentos que estão vinculados ao tema.

O programa computacional *ANSYS* teve um papel importante neste trabalho, pois é de grande relevância a inserção de tecnologias, inovações científicas e ferramentas digitais como formas de abranger diferentes meios no processo ensino/aprendizagem, mas ficará, entretanto, para uma futura abordagem, a sua comparação entre o túnel educacional e a análise computacional. Ficando, portanto, apenas como guia tecnológico para o professor executar com seus alunos.

Por fim, após a elaboração do produto educacional, da revisão nos livros adotados no PNLD 2015 e 2018, do questionário entre os professores de Ensino Médio e da análise computacional como guia para os docentes, termina-se um trabalho árduo, mas que terá sua continuidade tanto na minha trajetória acadêmica quanto profissional.

REFERÊNCIAS

- ALVES – FILHO, J.P. *Atividades Experimentais: Do Método à prática Construtivista*. Tese de Doutorado, UFSC, Florianópolis, 2000.
- ANSYS Inc. Ansys Workbench, version 18.2. Canonsburg: Ansys Inc. 2017. Disponível em: <<http://www.ansys.com/academic/free-student-products>>. Acesso em 2017.
- AUSUBEL, D.P.; NOVAK, J.D. and HANESIAN, H. *Educational psychology: a cognitive view*. 2nd. ed. New York, Holt Rinehart and Winston, 1978.
- AUSUBEL, D.P.; Novak, J.D.; Hanesian, J. *Psicologia educacional*. Rio de Janeiro, interamericana, 1980.
- AUSUBEL, D.P. *The acquisition and retention of knowledge: A cognitive view*. Dordrecht, Kluwer Academic Publishers, 2000.
- AZEVEDO, M. C. P. S. *Ensino por Investigação: Problematizando as Atividades em Sala de Aula*. In: CARVALHO, A. M. P. (Org.). *Ensino de Ciência: unindo a pesquisa e a prática*: ed. São Paulo. Cengage Learning, p. 20, 2010.
- _____. *Ensino por Investigação: Problematizando as Atividades em Sala de Aula*. In: CARVALHO, A. M. P. (Org.). *Ensino de Ciência: unindo a pesquisa e a prática*: ed. São Paulo. Cengage Learning, p. 11, 2010.
- BORGES, A. T. *Novos rumos para o laboratório escolar de ciências*. Caderno Brasileiro de Ensino de Física, v.19, n.3: p.291-313,2002.
- BRASIL. *Parâmetros curriculares nacionais: ensino médio/ Secretaria de Ensino Médio*. Brasília, MEC/SEM, p. 22, 1999.
- _____. *Parâmetros curriculares nacionais: ensino médio/ Secretaria de Ensino Médio*. Brasília, MEC/SEM, p. 23, 1999.
- _____. *Parâmetros curriculares nacionais: ensino médio/ Secretaria de Ensino Médio*. Brasília, MEC/SEM, p. 24, 1999.
- BARLOW, B.J.; RAE W.H.; POPE, A. *Low Speed Wind Tunnel Testing*. 3ª ed. New York: John Wiley& Sons, 1999.
- BROCKINGTON, G.; PIETROCOLA, M. *Serão as regras da transposição didática aplicáveis aos conceitos de Física moderna?(Are therules for DidacticalTranspositionapplicabletotheconceptsofmodernphysics?)*. *Investigações em Ensino de Ciências*, Porto Alegre, v. 10, n. 3, p. 387-404, 2005.
- FOX R. W., McDONALD A. T., PRITCHARD P. J., *Introdução à mecânica dos fluidos*. 7 ed., Rio de Janeiro: LTD,2011.

FREIRE, P. *Pedagogia do Oprimido*. 17. ed. Rio de Janeiro: Paz e Terra, 1987

GIL PEREZ, Daniel; CASTRO, Pablo Valdés. *La orientacion de las practicas de laboratorio como investigaci3n: un ejemplo ilustrativo*. Enseñanza de las Ciencias, p.23, 1996.

GOOGLE SKETCHUP Pro 8. Disponível em: <<https://www.sketchup.com/pt-BR>>. Acesso em 2017.

HECKLER, V.; SARAIVA, M. de F. O.; FILHO, K. de S. O. *Uso de simuladores, imagens e anima33es como ferramentas auxiliares no ensino/aprendizagem de 3ptica*. Revista Brasileira de Ensino de Física, v. 29, n. 2, p. 267-273, 2007.

HALLIDAY D.; RESNICK R.; WALKER T., *Fundamentos da Física*, v.2, 9 ed., Rio de Janeiro: LTC, 2012.

MOREIRA, Marco Ant3nio; MASINI, Elcie Aparecida Salzano. *Aprendizagem Significativa: A Teoria de Aprendizagem de David Ausubel*. S3o Paulo: Editora Centauro. P. 111, 2001.

MOREIRA, Marco Ant3nio. *A teoria da aprendizagem significativa e sua implementa33o em sala de aula*. Bras3lia: Editora Universidade de Bras3lia, 2006.

OSTERMANN, F.; MOREIRA, M. A. *A f3sica na forma33o de professores do ensino fundamental*. Porto Alegre: Editora UFRGS, 1999.

PLATE, E. J.; *Methods of investigating urban wind fields – physical models*, *Atmospheric Environment* 33, 1999 – pp. 3981 – 3989.

PRATA, Alessandra Rodrigues. *Impacto da altura dos edif3cios nas condi33es de ventila33o natural do meio urbano*. 2005. 243 f. Tese (Doutoramento em Arquitetura e Urbanismo, Estruturas Ambientais Urbanas) Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de S3o Paulo, S3o Paulo, 2005.

RICHARD E. SONNTAG, CLAUS BORGNACKE, GORDON J. VAN WYLEN; *Fundamentos da termodin3mica*. tradu33o da sexta edi33o inglesa: Euryale de Jesus Zerbini. – S3o Paulo: Edgard Blucher, 2003.

S3R3, M. G.; COELHO, S. M.; NUNES, A. D. *O papel da experimenta33o no ensino da f3sica*. Caderno Brasileiro de F3sica, v.20, 2003

S3R3, M. G. *Rapport final du projet europ3en "Labwork in Science Education"*. Luxembourg: 3dition de la Commission Europ3enne, 1998. Disponível em: <<http://formation.etud.u-psud.fr/didasco/index.htm>>

SIQUEIRA, M.; PIETROCOLA, M. *A transposi33o did3tica aplicada a teoria contempor3nea: a f3sica de part3culas elementares no ensino m3dio*. X Encontro Nacional de Pesquisa em Ensino de F3sica, S3o Paulo, p. 01-10, 2006.

SILVA, J E J. SOUZA, *O ensino de Física em Botucatu, Revista Botucatuense de Ensino de Física*, v. 97, n. 4, p. 1103-1125, 2010.

VILLANI, A. *Reflexões sobre o ensino de Física no Brasil: Práticas, Conteúdos e Pressupostos*. Revista de Ensino de Física, vol. 6, nº 2, 1984. Disponível em: <http://www.sbfisica.org.br/rbef/pdf/vol06a18.pdf>. Acesso em: 14 mar. 2014.

APÊNDICE A – O produto educacional

MNPEF
Mestrado Nacional
Profissional em
Ensino de Física



UNIVERSIDADE
FEDERAL
DE PERNAMBUCO



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CAMPUS ACADÊMICO DO AGRESTE
PÓS-GRADUAÇÃO EM ENSINO DE FÍSICA – PROFIS – CAA
MESTRADO NACIONAL PROFISSIONAL EM ENSINO DE FÍSICA - MNPEF

TÚNEL DE VENTO: um produto educacional acessível

Artur Moreira Almeida

Caruaru
2017

CARO (A) PROFESSOR (A)

O Produto Educacional aqui descrito é resultado de trabalho desenvolvido no âmbito do Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física – Polo UFPE em parceria com a Universidade Federal da Paraíba da qual foi disponibilizada a sua estrutura para elaboração do aparato experimental: túnel vento educacional.

Este produto é um equipamento para estudos qualitativos de hidrodinâmica que permite visualizar o deslocamento do ar em torno de formas geométricas e modelos em escala, como por exemplo: em protótipo nas áreas automobilísticas, aviação, construção civil, entre outros. Um simulador computacional foi utilizado para otimizar a construção do aparato experimental, fazer possíveis comparações entre o simulador e o próprio túnel de vento e, até mesmo, possibilitar ao aluno uma abordagem mais tecnológica em sua aprendizagem no Ensino da Física.

O experimento físico e a simulação computacional poderão ser usados em conjunto na sala de aula, como uma forma alternativa para vivenciar conteúdos como: pressão; velocidade; estudo da equação da continuidade; equação de Bernoulli.

No decurso deste produto educacional, é apresentado um plano de aula e um questionário para ser aplicado antes e depois da aplicação do produto educacional com os alunos de Ensino Médio.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 -	Visão da entrada de ar do primeiro protótipo sem o eletroventilador	78
Figura 2 -	Versão final do túnel de vento em formato cilíndrico	79
Figura 3 -	Visão expandida do túnel de vento.	80
Figura 4 -	Eletroventilador.	80
Fotografia 1 -	Motor de aeromodelo	81
Figura 5 -	Diagrama com dimensões do motor de aeromodelo	82
Figura 6 -	Hélice de Nylon para aeromodelismo	82
Fotografia 2 -	Spinner em alumínio com 3 mm de eixo.	83
Fotografia 3 -	Máquina de fumaça	84
Fotografia 4 -	Mangueira de silicone	84
Fotografia 5 -	Tube de latão	85
Fotografia 6 -	Erlenmeyer	85
Figura 7 -	Tela de proteção instalada na entrada de ar	86
Fotografia 7 -	Imagem da câmara de ensaios em formato cilíndrico	87
Fotografia 8 -	Imagem da colmeia	87
Figura 8 -	Saída de ar	88
Figura 9 -	Saída de ar	88
Figura 10 -	Difusor da versão final em formato de turbina de avião.	89
Figura 11 -	Difusor da versão final em formato de turbina de avião.	89
Figura 12 -	Imagem completa do túnel de vento com suas respectivas partes	90

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	76
2	DESCRIÇÃO DO EQUIPAMENTO	78
2.1	Entrada de ar	79
2.2	Eletroventilador	80
2.3	O sistema traçador de Linhas de corrente	83
2.4	Tela de proteção	86
2.5	Câmara de Ensaios	86
2.6	Saída de ar (difusor)	88
2.7	Visão completa do túnel de vento	89
3	OBJETIVOS	91
4	MATERIAIS UTILIZADOS	92
5	ETAPAS DE CONSTRUÇÃO	93
6	PLANO DE AULA	95
7	QUESTIONÁRIO	96
8	CONSIDERAÇÕES FINAIS	97
	REFERÊNCIAS	98

1 INTRODUÇÃO

Ao analisarmos os conteúdos e disciplinas ofertadas no Ensino Médio e Superior, percebemos pouca abordagem experimental e teórica de um tema bastante relevante na física: a Hidrodinâmica. Trata-se de um conteúdo que não é contemplado nos laboratórios de Física das Universidades e Escolas de Ensino Médio. Encontramos apenas nas Universidades, nos cursos de Engenharia Mecânica. Esta lacuna existente no ensino da Física nos fez pensar e elaborar um produto educacional que pudesse restaurar este tema e contemplá-lo no ensino médio, com o propósito de reforçar qualitativamente a aprendizagem deste conteúdo. Dessa forma, foi proposto a construção de um túnel de vento. Um produto educacional que ao mesmo tempo restaura o ensino da Hidrodinâmica na Física, bem como a experimentação na forma significativa da aprendizagem.

Os túneis de vento são equipamentos que proporcionam a visualização do comportamento aerodinâmico do ar em relação a diversos tipos de objetos em escala dimensional, tais como aviões, carros e até mesmo na construção civil. Sua construção favorece a observação do movimento do ar ao redor dos modelos reduzidos inseridos dentro dele – o que não seria possível realizar em uma situação normal – e verificar qualitativamente o comportamento do vento sobre as formas geométricas por meio do comparativo entre o experimento e a simulação computacional.

Aliada à experimentação, utilizamos o *software ANSYS* para verificar o comportamento esperado da passagem do fluido ao redor de objetos conhecidos. Poderá ser utilizado, em breve, para fazer uma comparação dos dados reais extraídos do protótipo educacional com o simulador. O *software* possibilita simular fluxos com detalhamento realístico da geometria em estudo, tanto do meio fluido quanto do objeto inserido dentro dele. Facilitando uma melhor análise nas mudanças de parâmetros, otimizando o escoamento.

Estudos experimentais, como ensaios em túnel de vento, simulações computacionais e/ou modelos matemáticos, são ferramentas importantes que permitem uma análise das transformações urbanas ou arquitetônicas aplicadas

ao tecido urbano (quadras, bairros) ou em áreas pré-definidas na implementação de edifícios (PLATE; PRATA, 1999; 2005).

Os túneis de vento normalmente são de grande dimensão. Por isso, para a sua construção e manutenção são necessários grandes investimentos financeiros, o que tem inviabilizado demonstrações na área de ensino de física. Para contornar este problema, foi desenvolvido um aparato experimental de custo reduzido e de dimensões que permitam seu fácil transporte a uma sala de aula. Este projeto teve como parte fundamental: mostrar aos estudantes o comportamento de um fluido escoando em regime laminar e observar como as linhas de corrente se comportam ao contornar o objeto-

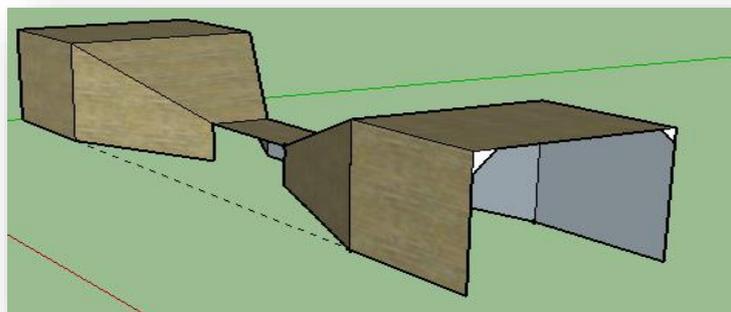
O objetivo principal deste trabalho é, portanto, montar um equipamento de visualização de fenômenos de Hidrodinâmica com intuito de fornecer um aprendizado mais significativo e possibilitar que o aluno seja capaz de reconhecê-lo, que saiba diferenciar fluido laminar de turbulento, descobrir como a aerodinâmica afeta na construção civil, em aviões e até mesmo na própria natureza, como por exemplo: entender o fluxo de água na mangueira de jardim, o porquê do formato do ônibus ser diferente do carro comum, perceber a diferença na estrutura de um foguete e da estação espacial, por que se acumula poeira nas hélices dos ventiladores mesmo estando em movimento, por que o telhado das casas são jogadas para cima quando passa uma forte ventania em sua parte superior e entender como é construído a asa do avião. Fazendo, assim, uma análise qualitativa.

A Física é uma disciplina cuja conexão com o cotidiano é bastante presente, mas essa conexão ainda é muito pouco utilizada pelos professores na transposição didática, deixando o ensino por vezes muito desagradável para o estudante. Considerando que o Ensino da Física precisa ir além das fórmulas e das aulas tradicionais, este produto educacional vem mostrar que o ensino não se trata apenas de treinamento para provas, mas pode ser algo que possibilite aos estudantes fazer uso de abordagens que possam desenvolver raciocínios físicos no cotidiano. O estudante deve ser protagonista da aprendizagem. Assim, com a construção de experimentos por parte do aluno, tem-se a possibilidade de propiciar uma construção mais significativa do conhecimento.

2 DESCRIÇÃO DO EQUIPAMENTO

O protótipo do equipamento foi construído em três versões para estudo de sua montagem. Em sua primeira versão não funcional, foi construído com sessões retas de papelão e isopor para adequar a estrutura às dimensões das peças: como entrada de ar/eletroventilador, câmara de ensaios/janela de visualização, entre outras. Na segunda versão, mantivemos o formato retangular e o reconstruímos em MDF com espessura de 15 mm. Foi obtido uma boa rigidez na estrutura e leveza do equipamento o que facilitou o transporte e permitiu a instalação do eletroventilador e dispositivo de rastreo por fumaça. As paredes internas lisas otimizaram o fluxo interno do ar aspirado pelo motor. O túnel possuía um comprimento de 1,20 m com áreas de sucção e exaustão de ar medindo (40,0 x 40,0) cm². O dimensionamento do protótipo foi feito no *software Sketchup* da Google e sua representação é mostrada na Figura 1. O *Sketchup* é um programa muito utilizado por arquitetos, designers, construtores, fabricantes e engenheiros e, também pode ser usado para fins educacionais.

FIGURA 1: Visão da entrada de ar do primeiro protótipo sem o eletroventilador. Imagem produzida pelo software Sketchup.



Fonte: O Autor (2017)

Além de uma imagem 3D gerada pelo *Sketchup*, foi feito uma análise computacional do meio fluido para melhorar o resultado do produto educacional, usando o *software ANSYS*. Assim, considerando os resultados da simulação, elaboramos uma terceira versão (Fig. 2) do protótipo em formato cilíndrico. Este

formato reduziu as perdas de cargas ao longo do túnel aumentando a velocidade do fluxo do ar na câmara de ensaios. Este formato também facilita a construção.

Na elaboração da nossa atual estrutura, começamos pela a elaboração das entrada e saída de ar que possuem a mesma dimensão em geometria cônica. Confeccionou-se, portanto, duas formas cônicas de 40 cm de diâmetro e 30 cm de altura em fibra de vidro e resina, mas que pode ser reproduzida em MDF cru. Ao término da elaboração destas estruturas, as mesmas são fixadas na estrutura central do túnel (câmara de ensaios), construída em formato cilíndrico de 16 cm de diâmetro e 45 cm de altura.

O túnel de vento educacional é um equipamento que foi elaborado a partir de três componentes principais: a entrada de ar (área de estrangulamento), saída de ar (difusor) e a câmara de ensaios.

FIGURA 2: Versão final do túnel de vento em formato cilíndrico



Fonte: O Autor (2017)

2.1 Entrada de ar

Após a elaboração da estrutura da entrada de ar (figura 3), conforme descrita acima, os processos para complementação deste componente são os seguintes: a inserção do eletroventilador, tela de proteção e traçador de linhas.

FIGURA 3: Tela de proteção (região A); Eletroventilador (região B); traçador de linhas – Colmeia de canudos (Região C). Visão expandida do túnel de vento.

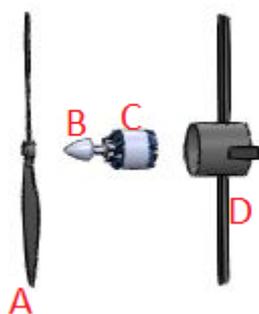


Fonte: O Autor (2017)

2.2 Eletroventilador

O eletroventilador é o conjunto do motor mais a hélice. Este conjunto é um componente importante no projeto do túnel de vento, ele deve atender a demanda do sistema, superar as perdas geradas em cada componente e, assim, fornecer a vazão esperada. É composto por uma hélice acoplada a um motor elétrico com controle de velocidade. O motor tem a função de dar força ao sistema, suportar o tamanho da hélice, atingir a rotação necessária para gerar o efeito e alcançar, portanto, a velocidade adequada para a visualização do fluxo de ar na câmara de ensaios. As figuras e fotografias a seguir mostram detalhes deste conjunto.

FIGURA 4: Eletroventilador. Região A: hélice; Região B: spinner; Região C: motor de impressora; Região D: suporte para o motor.



Fonte: O Autor (2017)

O eletroventilador pode ser composto por um pequeno motor de aeromodelismo, sem escovas (*brushless*) que possui uma rotação de até 12.000 RPM, operando em 11.1 V DC (corrente direta), corrente máxima de 16 A (ampere) e controlado por um circuito PWM (Modulação por largura de pulso). Ele foi uma opção mais sofisticada, porém a usada foi o motor de impressora onde seu custo vai a zero. O motor é apresentado na fotografia 1 e na figura 5, está acoplado a uma hélice 10x6. O primeiro número representa a medida do diâmetro do círculo quando a hélice está em movimento medido em polegadas e o segundo, a sua curva de passo, também medido em polegada. Passo é uma medida teórica que significa a distância que a hélice se move para a frente, com 100% de eficiência, em um meio ideal. No exemplo dado (10 x 6) em cada rotação do motor, ou uma rotação completa do eixo, a hélice avançaria 6 polegadas (em condições ideais).

A hélice é ajustada por um *spinner* em alumínio de 3 mm de eixo. O *spinner* é a peça de sustentação de hélice ao eixo do motor.

FOTOGRAFIA 1: Motor de aeromodelo (imagem à esquerda) tipo brushless (sem escovas) de alta rotação utilizado no protótipo atual. Pode atingir até 12.000 RPM. Motor de impressora (imagem a direita).



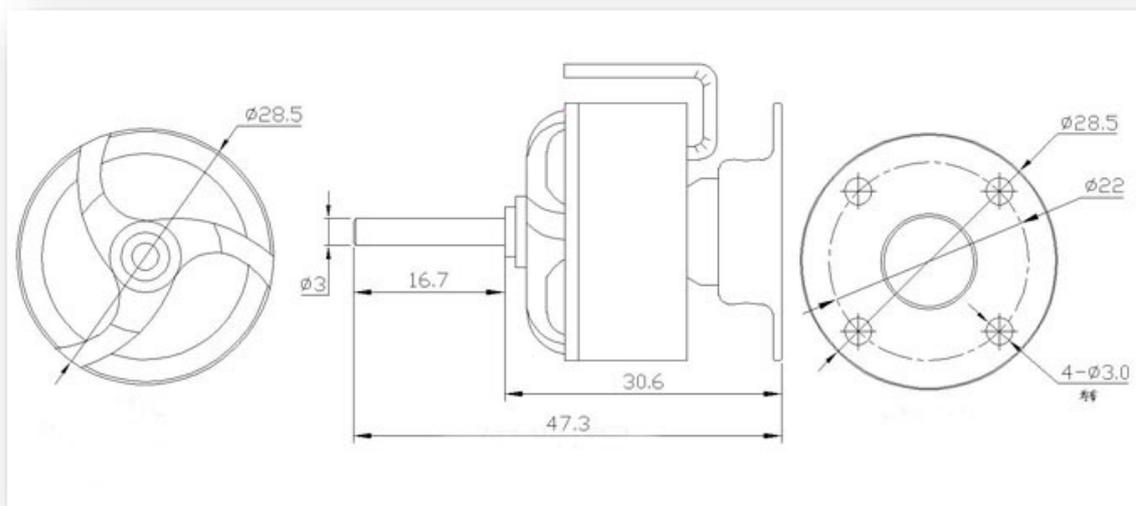
Fonte: O Autor (2017)

CARACTERÍSTICAS DO MOTOR DE AEROMODELISMO

- MODELO: CF2822
- FABRICANTE: EMAX
- PESO: 39g
- DIMENSÕES: 22X10 mm
- DIÂMETRO DO EIXO: 3mm

- POTÊNCIA: 166 WATS
- TENSÃO DE TRABALHO: 11.1v 3s LipolyKV: 1200 rpm/v
- CORRENTE MÁXIMA: 15 amp para hélice 10x5 ou 16,5 para hélice 10x4,7SF

FIGURA 5: Diagrama com dimensões do motor de aeromodelo tipo brushless utilizado expressas em mm



Fonte: O Autor (2017)

FIGURA 6: Hélice de Nylon para aeromodelismo



. Fonte: O Autor (2017)

FOTOGRAFIA 2: *Spinner* em alumínio com 3 mm de eixo.



Fonte: O Autor (2017)

2.3 O sistema traçador de Linhas de corrente

Para a verificação das linhas de corrente utilizamos inicialmente o nitrogênio (N_2) líquido, como traçador. O N_2 rapidamente passa ao estado de vapor condensando o vapor de água a sua volta. Isto gera uma fumaça branca e densa o suficiente para visualizar o efeito desejado. No entanto, devido à dificuldade em obtê-lo, optamos pelo uso de uma máquina de fumaça utilizada em ambientes de festas para simulação de nevoeiro.

A máquina de fumaça (fotografia 3) opera com uma mistura aquosa de glicerina na proporção de 2 partes de água para 1 de glicerina. Na evaporação gera uma fumaça branca e densa. O transporte da fumaça é feito por uma mangueira de silicone (fotografia 4) instalada na saída da máquina até o tubo ejetor de fumaça. Este é um tubo de latão perfurado com diâmetro de 5 mm (fotografia 5) fixado na parte superior da entrada de ar. A fumaça ao ser injetada é distribuída entre os furos espaçados de 3 cm, assim é empurrada pelo fluxo de ar advindo do eletroventilador seguindo as linhas de corrente.

Para tornar mais fácil o transporte e otimizar o espaço utilizado do túnel, utilizamos um gabinete de computador para instalar a máquina de fumaça, uma bateria e os circuitos eletrônicos de controle do motor e carregamento da bateria.

FOTOGRAFIA 3: Máquina de fumaça utilizada como fonte do traçador das linhas de corrente. Pode ser acionada com controle local ou de forma remota.



Fonte: O Autor (2017)

FOTOGRAFIA 4: Mangueira de silicone utilizada para conduzir a fumaça advinda da máquina até a parte superior da entrada de ar.



Fonte: O Autor (2017)

FOTOGRAFIA 5: Tubo de latão perfurado para ejetar a fumaça dentro da área de contração

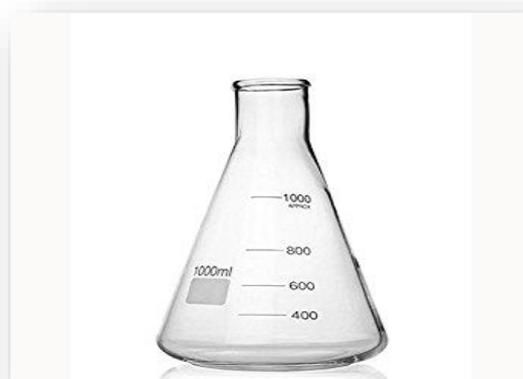


Fonte: O Autor (2017)

Este tubo de latão pode ser substituído por tudo de cobre ou retirado de uma antena de televisão.

Após a fumaça ser ejetada pela máquina quando acionada pelo controle remoto, tem-se a condensação do vapor. E para não encharcar os componentes do túnel, foi colocado um *Erlenmeyer* (fotografia 6) na parte inferior da entrada de ar para que toda a água condensada seja recolhida.

FOTOGRAFIA 6: Erlenmeyer utilizado para receber o líquido condensado ao longo do conjunto mangueira e tubo de latão.

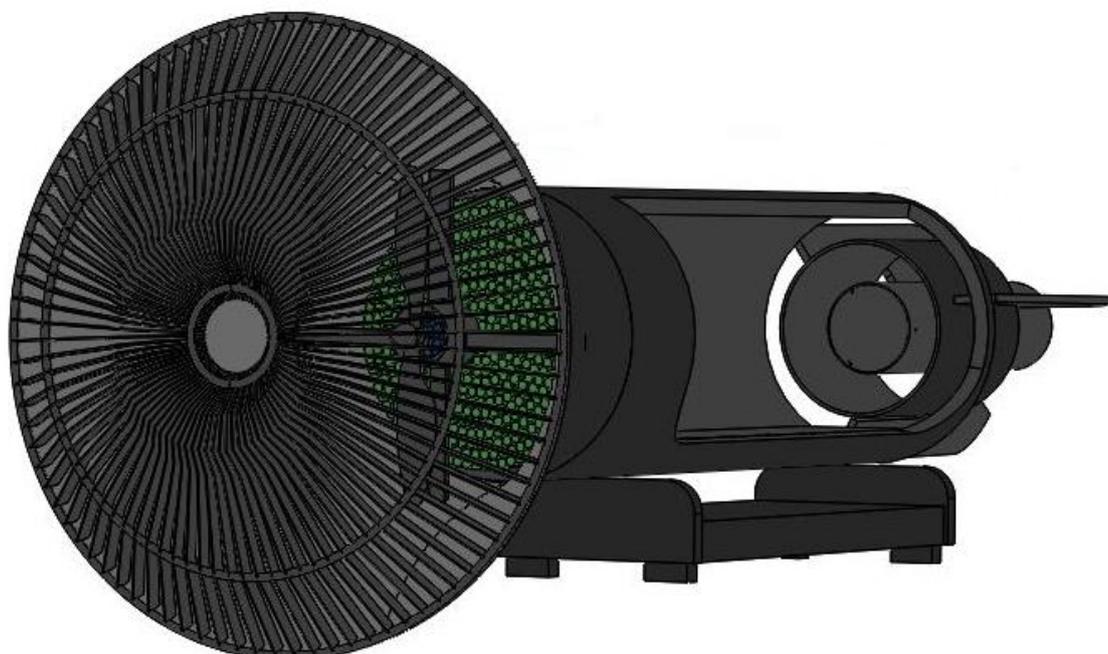


Fonte: O Autor (2017)

2.4 Tela de proteção

Foram instaladas telas de proteção para resguardar a integridade física dos discentes, para que durante a análise do túnel de vento, não se tenha contato direto da mão ou outro membro do corpo do aluno com a hélice do eletroventilador. Inicialmente foi utilizada uma tela plástica de *Nylon* e posteriormente a grade plástica de um ventilador comercial comum.

FIGURA 7: Tela de proteção instalada na entrada de ar



Fonte: O Autor (2017)

A seguir será descrito o segundo componente do túnel de vento: a câmara de ensaios. Entre este componente e a entrada de ar, utilizou-se uma colmeia para transformar o fluxo de ar de turbulento em laminar, conforme será discriminado mais adiante.

2.5 Câmara de Ensaio

Na câmara de ensaios foi utilizado um tubo de papelão de alta densidade medindo 15,0 cm de diâmetro (pode ser substituído por um tubo de PVC) onde foi instalada uma porta de acesso com dobradiças e uma janela de acrílico para

a observação do fenômeno. Nesta janela pode-se acoplar uma câmera de vídeo para registro do objeto em estudo.

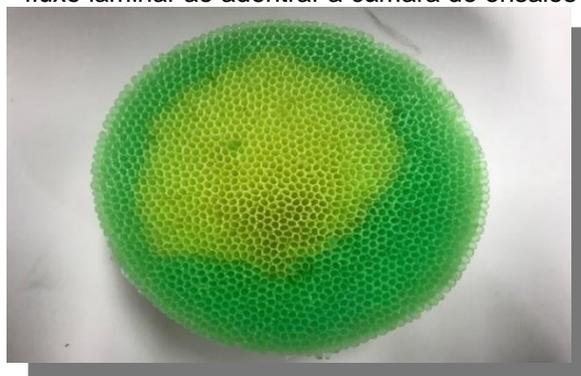
FOTOGRAFIA 7: Imagem da câmara de ensaios em formato cilíndrico, onde os corpos de prova serão observados.



Fonte: O Autor (2017)

Com o objetivo de alterar o regime de escoamento do fluido de turbulento para laminar foram utilizadas duas estruturas na configuração de colmeia, composta por canudos plásticos medindo 5 cm comprimento e 3mm de diâmetro dispostos lado a lado. Estas estruturas foram dispostas na entrada da câmara de ensaios. A colmeia (ver fotografia 8) é um dispositivo por onde as linhas de fluxo de ar individuais se tornam paralelas. Em outras palavras, a colmeia tem a função de corrigir a direção de escoamento (BARLOW,1999). Propiciando, portanto, uma visualização das linhas do fluxo de ar na câmara de ensaios do túnel de vento educacional.

FOTOGRAFIA 8: Imagem da colmeia, elaborada com canudos plásticos para tornar o fluxo laminar ao adentrar a câmara de ensaios

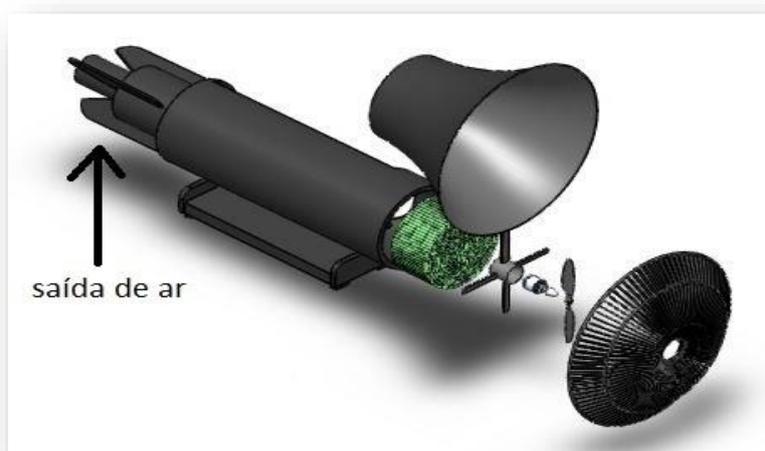


Fonte: O Autor (2017)

2.6 Saída de ar (difusor)

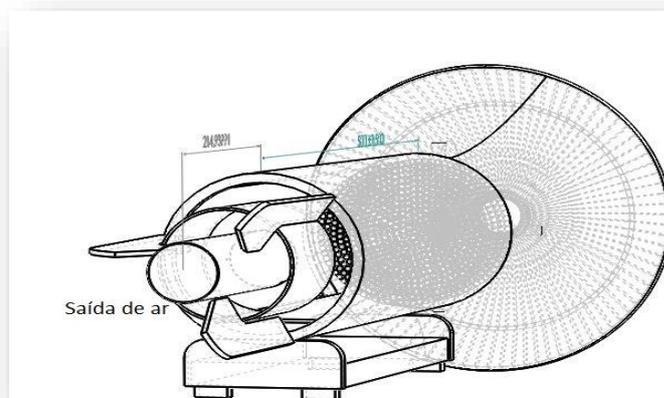
A saída de ar é a área destinada a reduzir a velocidade do fluido, a fim de recuperar a altura de pressão do escoamento. Os difusores são dispositivos construídos para desacelerar os escoamentos. (Van Wylen, 2003). A saída de ar é elaborada apenas como forma ilustrativa para que o túnel tivesse uma visão mais harmoniosa com os demais componentes do túnel.

FIGURA 8: Saída de ar.



Fonte: O Autor (2017)

FIGURA 9: Saída de ar



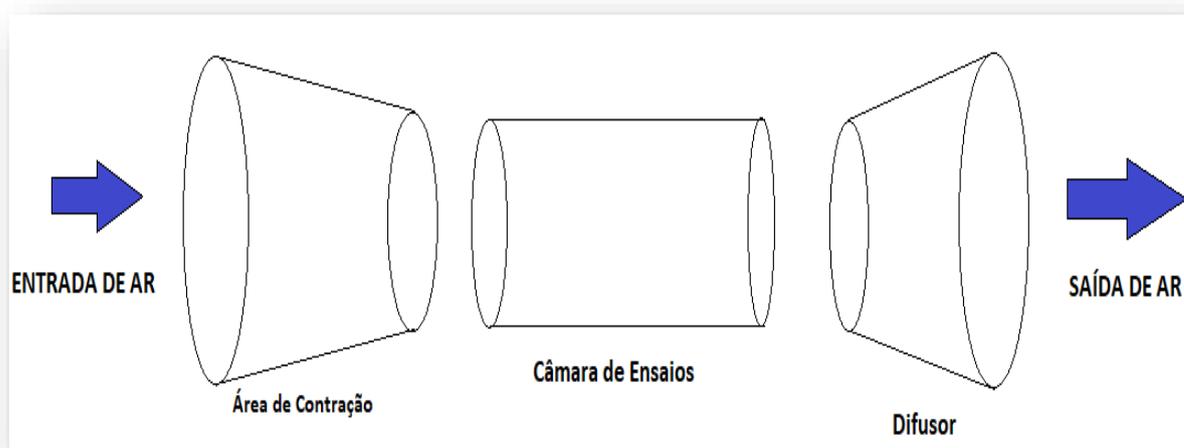
Fonte: O Autor (2017)

2.7 Visão completa do túnel de vento

A partir da elaboração de cada componente descrito acima segue a visão do projeto em esboço de suas medidas como guia para iniciar o projeto do produto educacional.

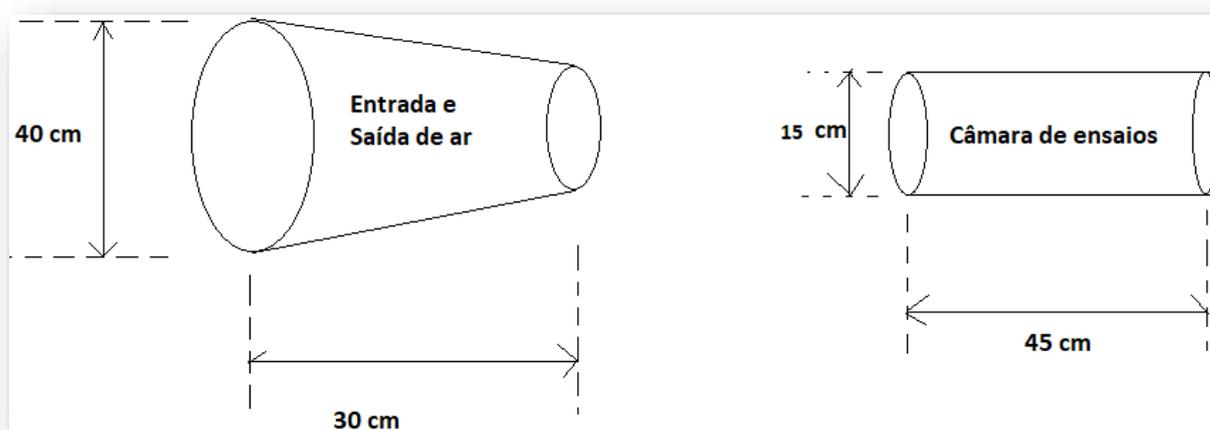
Para tanto, com auxílio de um esquadro, de uma trena e um lápis de carpinteiro, realizou-se marcação na estrutura pré-moldada de acordo com o desenho de fabricação do projeto (figuras 10 e 11).

FIGURA 10: Difusor da versão final em formato de turbina de avião.



Fonte: O Autor (2017)

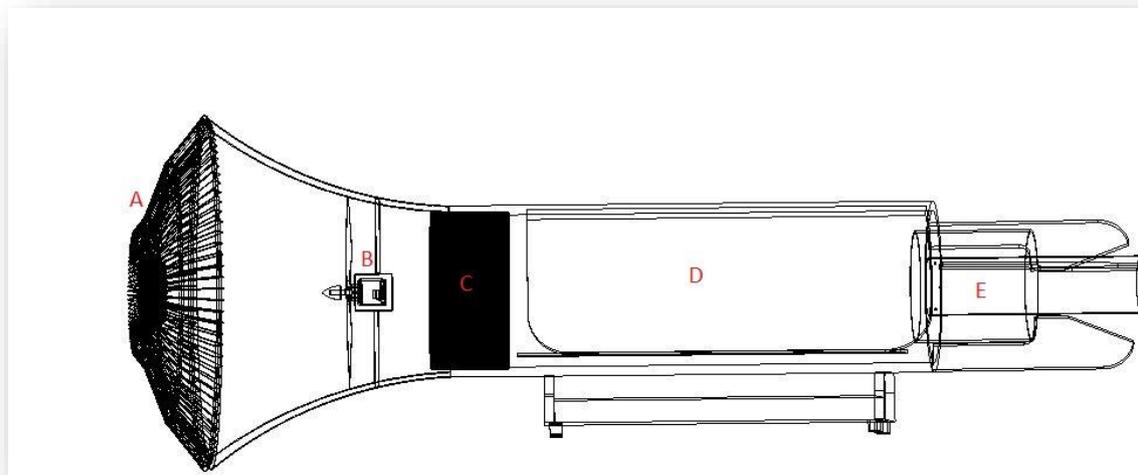
FIGURA 11: Difusor da versão final em formato de turbina de avião.



Fonte: O Autor (2017)

Os materiais usados contemplam diversos painéis de madeira compensada montada em uma configuração aerodinâmica, exaustor com controle de velocidade, anemômetro, telas de proteção e pedestal com rodas. Na etapa de pré-construção, foi realizada uma intensa pesquisa sobre os túneis de ventos acompanhada do dimensionamento para um equipamento portátil.

FIGURA 12: Imagem completa do túnel de vento com suas respectivas partes. Em A) Entrada de ar, B) Eletroventilador na parte interna, C) Colmeia, D) Câmara de ensaios, E) Saída de ar.



Fonte: O Autor (2017)

Montada a parte mecânica e instalada a parte elétrica, o túnel (figura 12) está disponível para aplicação em sala de aula e início das análises qualitativas com os discentes.

3 OBJETIVOS

Elaborar um protótipo de um túnel de vento educacional, desenvolvido com intuito de fornecer um aprendizado mais significativo e possibilitar que o aluno seja capaz de reconhecê-lo, que saiba diferenciar fluido laminar de turbulento, descobrir como a aerodinâmica afeta na construção civil, em aviões e até mesmo na própria natureza, como por exemplo: entender o fluxo de água na mangueira de jardim, o porquê do formato do ônibus ser diferente do carro comum, perceber a diferença na estrutura de um foguete e da estação espacial, por que se acumula poeira nas hélices dos ventiladores mesmo estando em movimento, por que o telhado das casas são jogadas para cima quando passa uma forte ventania em sua parte superior e entender como é construído a asado avião. Fazendo, assim, uma análise qualitativa. Os sete objetivos específicos serão esmiuçados a seguir:

- Fazer uma pesquisa bibliográfica;
- Dimensionar os materiais;
- Construir o túnel de vento educacional;
- Comparar dados extraídos do túnel com simulador *ansysstudent*;
- Analisar os dados obtidos;
- Reproduzir um relatório;
- Elaborar um questionário.

4 MATERIAIS UTILIZADOS

Os materiais utilizados foram:

- Canudos com 5 cm de comprimento e 3mm de diâmetro;
- Fibra de vidro e resina;
- MDF;
- Tela de proteção (tela de ventilador comum);
- Eletroventilador: hélice, motor e spinner.
- Acrílico;
- Máquina de fumaça;
- Circuito eletrônico;

5 ETAPAS DE CONSTRUÇÃO

- I. Pesquisa
- II. Dimensionamento
- III. Aquisição de material
- IV. Traçar e cortar (figura tal)
- V. Fazer montagem (figura tal)
- VI. Inserir a colmeia
- VII. Colocar a mangueira saindo da máquina de fumaça até o traçador de linhas.
- VIII. Inserir Erlenmeyer na mangueira para obter o líquido condensado;
- IX. Montagem e ajuste do eletroventilador;
- X. Inserir circuito eletrônico;
- XI. Colocar em funcionamento.

No modo de operação, podemos separar em alguns processos como guia para o professor ao aplicar o mini túnel de vento com os alunos do Ensino Médio.

Ao iniciar a aplicação do aparato experimental com os alunos, faz-se a apresentação dos componentes que o compõem: a entrada de ar (área de estrangulamento), explicar a utilização da colmeia, o que é a câmara de ensaios e da sua iluminação, a saída de ar (difusor) e como ligar e desligar o motor em baixa e alta rotação e do tempo de espera para injetar a fumaça e os cuidados com a manipulação com o protótipo.

Deste modo, vamos detalhar separadamente alguns desses processos:

- Antes de ligar o motor, pedir para que os alunos não se aproximem muito da entrada de ar para que não entre em contato com a hélice e, assim evitem acidentes ao ligar o eletroventilador.
- Lembrar de colocar o túnel educacional em um ambiente que possua saída de ar (janelas) para que não se acumule fumaça na região de aplicação (sala de aula ou laboratório, por exemplo), evitando possíveis danos a saúde dos alunos.

- Ligar a iluminação da câmara de ensaios no módulo de controle para melhorar a visualização.
- Ligar o motor em baixa rotação.
- Observar o led vermelho que acenderá no módulo de controle, avisando que a fumaça de glicerina já está pronta para ser ejetada. Após acionar a máquina de fumaça, a mesma levará cerca de 15 segundos ejetando fumaça e após este tempo ela cessa. É preciso esperar um certo intervalo de tempo para que o led no módulo de controle retorne a ascender para que acione novamente a fumaça para dentro do túnel.
- Posicionar uma câmera filmadora na parte de acrílico da câmara de ensaios para registrar todo fenômeno.
- Inserir o anemômetro dentro da câmara de ensaios para obter valores da velocidade do fluxo de ar e fazer a conexão com o *software ANSYS*, caso pretenda fazer uma análise mais quantitativa.
- Ejetar a fumaça na câmara de ensaios sem corpo prova para observar se as linhas de fluxo de ar estão em regime laminar. Fenômeno esperado pela colocação da colmeia na entrada da câmara de ensaios.
- Colocar corpo de prova em formatos primitivos como: esfera e cubo. E fazer as devidas observações qualitativas e comparar com a câmara sem corpo de teste. Lembrando que é preciso inserir um corpo de prova de cada vez.
- Inserir protótipos como: perfil de asa de avião, carro popular e outros copos. Podendo, então, fazer as comparações com os corpos anteriormente inseridos e explicar fenômenos do dia a dia, com o arrasto nos automóveis e da importância da aerodinâmica na fabricação dos carros de fórmula um, por exemplo. Finalizando a análise qualitativa.

6 PLANO DE AULA

<p>Escola: Escola Fictícia de Ensino Médio Curso: Ensino Médio Disciplina: Física Tempo: duas aulas de 50 min Série: 1º ano do Ensino Médio Ano: 2018 Professor (a): Artur Moreira Almeida</p>
<p>OBJETIVO</p> <p>Trazer o aluno para o centro do ensino, onde ele seja protagonista de suas ações. Provocando questionamentos sobre o tópico da Hidrodinâmica. Buscando resgatar o sendo crítico nos alunos e ao mesmo tempo elucidar situações que estão presentes no dia a dia dos discentes.</p>
<p>II. CONTEÚDO</p> <p>Hidrodinâmica: Equação da Continuidade e Equação de Bernoulli</p>
<p>III. METODOLOGIA- RECURSOS DIDÁTICOS</p> <p>Aparato experimental: túnel de vento educacional, simulador <i>ANSYS STUDENTS</i>, exposição das ideias iniciais no quadro branco e pincel. Comparar os resultados do simulador com os dados qualitativos observados no túnel. Separar uma aula extra antes do questionário final para mostrar o ANSYS e dar exemplos de simulações do fluxo de ar contornado objetos primitivos: esfera e cubo.</p>
<p>IV. AVALIAÇÃO</p> <p>Avaliar qualitativamente e quantitativamente por meio de questionário. Questionário que deverá ser aplicado antes de entrar o aparato educacional e após. Verificando, portanto, o ganho de aprendizagem significativa dos alunos.</p>
<p>V. BIBLIOGRAFIA</p> <p>ALVARENGA B.; MÁXIMO A., FÍSICA: CONTEXTO & APLICAÇÕES, V.1, 1 ed., SCIPIONE, 2013.</p> <p>XAVIER C.; BARRETO B, FÍSICA AULA POR AULA, V.1,2 ed, FTD, 2013.</p>

7 QUESTIONÁRIO

1. O QUE É O TÚNEL DE VENTO?
2. EXPLIQUE O FORMATO DO TÚNEL DE VENTO.
3. PARA QUE É INSERIDO FUMAÇA DENTRO DO TÚNEL?
4. O QUE É FLUIDO LAMINAR E TURBULENTO?
5. O QUE É UMA CÂMARA DE ENSAIOS?
6. O QUE É ÁREA DE CONTRAÇÃO?
7. QUAL O FORMATO AS LINHAS DO FLUXO DE AR QUANDO CONTORNA UMA ESFERA? DESENHE-AS.
8. QUAL O FORMATO AS LINHAS DO FLUXO DE AR QUANDO CONTORNA UMA RETÂNGULO? DESENHE-AS.
9. QUAIS FATORES SÃO IMPORTANTES NA CONSTRUÇÃO DO CARRO DE FORMULA 1?
10. UM AUTOMÓVEL GASTA MAIS COMBUSTÍVEL PARA VENCER A RESISTÊNCIA DO AR OU O ATRITO DOS ROLAMENTOS DAS RODAS?
11. O TUBARÃO POSSUI UMA FORMA ESPECÍFICA QUE O FAZ ALCANÇAR GRANDES VELOCIDADES DENTRO D'ÁGUA. BASEADO NAS INFORMAÇÕES FEITAS PELO TÚNEL, EXPLIQUE O POR QUÊ DE SEU FORMATO.

OBS.: A PERGUNTA ONZE É A ÚNICA QUE DEVERÁ SER RESPONDIDA APENAS NO QUESTIONÁRIO APÓS A APLICAÇÃO DO TÚNEL DE VENTO.

8 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O protótipo do túnel de vento é um aparato experimental utilizado para analisar grandes edificações, avião e estádio de futebol, por exemplo. Assim, demanda um grande recurso para sua aquisição. Contudo, realizamos um produto educacional acessível, no qual podemos replicá-lo em sala de aula, fazendo-se uma redução drástica em suas dimensões e com um valor bem mais palpável do que o tamanho real.

Além do estudo da fluidodinâmica com este aparato educacional, podemos fazer análises com outros tópicos da física: como medidas de temperatura, por exemplo. Assim, tornando nosso produto mais amplo, podendo englobar mais de um tema.

Por fim, propor um esquema de plano de aula e uma avaliação em forma de questionário antes e após aplicação do túnel de vento, com turmas de ensino médio. Onde poderá ser verificado se o aluno tem o conhecimento prévio do que é a hidrodinâmica ou fluidodinâmica e demais conhecimentos que estão vinculados ao tema.

REFERÊNCIAS

- ALVES – FILHO, J.P. *Atividades Experimentais: Do Método à prática Construtivista*. Tese de Doutorado, UFSC, Florianópolis, 2000.
- ANSYS Inc. Ansys Workbench, version 18.2. Canonsburg: Ansys Inc. 2017. Disponível em: <<http://www.ansys.com/academic/free-student-products>>. Acesso em 2017.
- AUSUBEL, D.P.; NOVAK, J.D. and HANESIAN, H. *Educational psychology: a cognitive view*. 2nd. ed. New York, Holt Rinehart and Winston, 1978.
- AUSUBEL, D.P.; Novak, J.D.; Hanesian, J. *Psicologia educacional*. Rio de Janeiro, interamericana, 1980.
- AUSUBEL, D.P. *The acquisition and retention of knowledge: A cognitive view*. Dordrecht, Kluwer Academic Publishers, 2000.
- AZEVEDO, M. C. P. S. *Ensino por Investigação: Problematizando as Atividades em Sala de Aula*. In: CARVALHO, A. M. P. (Org.). *Ensino de Ciência: unindo a pesquisa e a prática*: ed. São Paulo. Cengage Learning, p. 20, 2010.
- _____. *Ensino por Investigação: Problematizando as Atividades em Sala de Aula*. In: CARVALHO, A. M. P. (Org.). *Ensino de Ciência: unindo a pesquisa e a prática*: ed. São Paulo. Cengage Learning, p. 11, 2010.
- BORGES, A. T. *Novos rumos para o laboratório escolar de ciências*. Caderno Brasileiro de Ensino de Física, v.19, n.3: p.291-313,2002.
- BRASIL. *Parâmetros curriculares nacionais: ensino médio/ Secretaria de Ensino Médio*. Brasília, MEC/SEM, p. 22, 1999.
- _____. *Parâmetros curriculares nacionais: ensino médio/ Secretaria de Ensino Médio*. Brasília, MEC/SEM, p. 23, 1999.
- _____. *Parâmetros curriculares nacionais: ensino médio/ Secretaria de Ensino Médio*. Brasília, MEC/SEM, p. 24, 1999.
- BARLOW, B.J.; RAE W.H.; POPE, A. *LowSpeed Wind TunnelTesting*. 3ª ed. New York: John Wiley& Sons, 1999.
- BROCKINGTON, G.; PIETROCOLA, M. *Serão as regras da transposição didática aplicáveis aos conceitos de Física moderna?(Are therules for DidacticalTranspositionapplicabletotheconceptsofmodernphysics?)*. Investigações em Ensino de Ciências, Porto Alegre, v. 10, n. 3, p. 387-404, 2005.

FOX R. W., McDONALD A. T., PRITCHARD P. J., *Introdução à mecânica dos fluidos*. 7 ed., Rio de Janeiro: LTD,2011.

FREIRE, P. *Pedagogia do Oprimido*. 17. ed. Rio de Janeiro: Paz e Terra, 1987

GIL PEREZ, Daniel; CASTRO, Pablo Valdés. *La orientacion de las practicas de laboratorio como investigación: un ejemplo ilustrativo*. Enseñanza de las Ciencias, p.23, 1996.

GOOGLE SKETCHUP Pro 8. Disponível em: <<https://www.sketchup.com/pt-BR>>. Acesso em 2017.

HECKLER, V.; SARAIVA, M. de F. O.; FILHO, K. de S. O. *Uso de simuladores, imagens e animações como ferramentas auxiliares no ensino/aprendizagem de óptica*. Revista Brasileira de Ensino de Física, v. 29, n. 2, p. 267-273, 2007.

HALLIDAY D.; RESNICK R.; WALKER T., *Fundamentos da Física*, v.2, 9 ed., Rio de Janeiro: LTC, 2012.

MOREIRA, Marco Antônio; MASINI, Elcie Aparecida Salzano. *Aprendizagem Significativa: A Teoria de Aprendizagem de David Ausubel*. São Paulo: Editora Centauro. P. 111, 2001.

MOREIRA, Marco Antônio. *A teoria da aprendizagem significativa e sua implementação em sala de aula*. Brasília: Editora Universidade de Brasília, 2006.

OSTERMANN, F.; MOREIRA, M. A. *A física na formação de professores do ensino fundamental*. Porto Alegre: Editora UFRGS, 1999.

PLATE, E. J.; *Methods of investigating urban wind fields – physical models, Atmospheric Environment* 33, 1999 – pp. 3981 – 3989.

PRATA, Alessandra Rodrigues. *Impacto da altura dos edifícios nas condições de ventilação natural do meio urbano*. 2005. 243 f. Tese (Doutoramento em Arquitetura e Urbanismo, Estruturas Ambientais Urbanas) Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2005.

RICHARD E. SONNTAG, CLAUS BORGNACKE, GORDON J. VAN WYLEN; *Fundamentos da termodinâmica*. tradução da sexta edição inglesa: Euryale de Jesus Zerbini. – São Paulo: Edgard Blucher, 2003.

SÉRÉ, M. G.; COELHO, S. M.; NUNES, A. D. *O papel da experimentação no ensino da física*. Caderno Brasileiro de Física, v.20, 2003

SÉRÉ, M. G. *Rapport final du projet européen "Labwork in Science Education"*. Luxembourg: Édition de la Commission Européenne, 1998. Disponível em: <<http://formation.etud.u-psud.fr/didasco/index.htm>>

SIQUEIRA, M.; PIETROCOLA, M. *A transposição didática aplicada a teoria contemporânea: a física de partículas elementares no ensino médio*. X Encontro Nacional de Pesquisa em Ensino de Física, São Paulo, p. 01-10, 2006.

SILVA, J E J. SOUZA, *O ensino de Física em Botucatu*, *Revista Botucatuense de Ensino de Física*, v. 97, n. 4, p. 1103-1125, 2010.

VILLANI, A. *Reflexões sobre o ensino de Física no Brasil: Práticas, Conteúdos e Pressupostos*. *Revista de Ensino de Física*, vol. 6, nº 2, 1984. Disponível em: <http://www.sbfisica.org.br/rbef/pdf/vol06a18.pdf>. Acesso em: 14 mar. 2014.

ANEXO A- Questionário aplicado com professores de Ensino Médio

VOCÊ É PROFESSOR DO ENSINO MÉDIO?

SIM

NÃO

1. LECIONA EM UMA ESCOLA PÚBLICA OU PRIVADA?

PÚBLICA

PRIVADA

2. A HIDRODINÂMICA É ABORDADA EM SUA ESCOLA?

SIM

NÃO

3. COMO A HIDRODINÂMICA É ABORDADA NA SALA DE AULA?
(Aplicação de fórmula, experiências, vídeos ou outros). CASO
CONTRÁRIO, JUSTIFIQUE

4. Qual livro didático é utilizado em sala de aula (EDITORA, AUTOR E
ANO)? A Hidrodinâmica está inserida em algum dos volumes deste livro?
CASO SIM, COMO ESTÁ INSERIDO?

ANEXO B - O Orçamento do protótipo: Túnel de Vento Educacional

MATERIAIS	QUANTIDADE	PREÇO + FRETE	TOTAL
Câmara de ensaios	1	R\$50,00	R\$50,00
Tela de Proteção	1 (m ²)	R\$20,00	R\$20,00
Canudos	2 pacotes com 800 unidades	R\$11,00	R\$22,00
Cola branca	1kg	R\$11,00	R\$11,00
Hélice	1 unidade	R\$46,89	R\$46,89
<i>Spinner</i>	1 unidade	R\$69,89	R\$69,89
Circuito eletrônico	1 unidade	R\$20,00	R\$20,00
Motor	1 unidade	R\$85,88	R\$85,88
Máquina de fumaça	1 unidade	R\$200,00	R\$200,00
TOTAL	-----	-----	R\$525,66