

**UNIVERSIDADE DE TAUBATÉ**

**Alef da Conceição Oliveira**

**ANÁLISE QUALITATIVA DE PROJETOS TÚNEL DE  
VENTO.**

**Taubaté – SP**

**2017**

**Alef da Conceição Oliveira**

**ANÁLISE QUALITATIVA DE PROJETOS TÚNEL DE  
VENTO.**

Trabalho de Graduação apresentado como parte dos requisitos para conclusão do curso de Engenharia de Produção Mecânica do Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade de Taubaté.

Orientador: Prof.Me - Leandro Maia Nogueira

**Taubaté – SP**

**2017**

**Ficha Catalográfica elaborada pelo SIBi – Sistema Integrado  
de Bibliotecas / UNITAU - Biblioteca das Engenharias**

O482a Oliveira, Alef da Conceição  
Análise qualitativa de projetos túnel do vento. / Alef da  
Conceição Oliveira. - 2017.  
32f. : il; 30 cm.  
Monografia (Graduação em Engenharia Mecânica) –  
Universidade de Taubaté. Departamento de Engenharia  
Mecânica e Elétrica, 2017  
Orientação: Prof. Me Leandro Maia Nogueira,  
Coorientação: Me Ivair Alves dos Santos, Departamento  
de Engenharia Mecânica e Elétrica.  
1. Túnel do vento. 2. Coeficiente de Arrasto. 3.  
Capacete aerodinâmico. I. Título.

**Alef da Conceição Oliveira**

**ANÁLISE QUALITATIVA DE PROJETOS TÚNEL DE  
VENTO.**

Trabalho de Graduação apresentado como parte dos requisitos para conclusão do curso de Engenharia Mecânica do Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade de Taubaté.

Data: 17/11/2017

Resultado: 8,8 (Oito Inteiros e Oito Décimos)

**BANCA EXAMINADORA**

Prof. Leandro Maia Nogueira, Universidade de Taubaté.

Assinatura 

Prof. Ivair Alves dos Santos, Universidade de Taubaté.

Assinatura 

**Taubaté – SP**

**2017**

Dedico aos membros da família Oliveira.

## **AGRADECIMENTOS**

Em primeiro lugar agradecemos a Deus, fonte da vida e da graça. Agradecemos ao senhor por nossas vidas, famílias e amigos.

Ao meu orientador, Prof.Me - Leandro Maia Nogueira que jamais deixou de incentivar. Sem a sua orientação, dedicação, paciência e auxílio, o estudo aqui apresentado seria praticamente impossível.

Aos meus pais Sr. Marcio Oliveira, Sra. Julia Conceição e a minha namorada Jessica Toledo, que apesar das dificuldades enfrentadas, sempre me incentivou em meus estudos.

Às famílias Toledo, Oliveira e Nunes que sempre nos acolheram com alegria em vossas casas.

## RESUMO

Neste trabalho abordou-se a aplicação na engenharia para aplicar seus conhecimentos e habilidades para pesquisa em projetos e suas implementações em áreas específicas do conhecimento técnico adquirido. Um túnel de vento é frequentemente usado em engenharia mecânica, elétrica e outros cursos, para aquisição de informações experimentais nas investigações do comportamento de fluxos de fluidos em objetos, aeromodelos, asas de avião, aerofólios, capacetes aerodinâmicos, bem como aprendizado através da prática e do uso de instrumentos de medidas de grandes características do próprio fluxo, tais como velocidade, pressão, momentos, forças. Este projeto tem a finalidade de desenvolver meios para melhorar o desempenho, custos, qualidade e prazo. Buscando sempre a máxima excelência na produção e a satisfação do cliente com o produto final. Esse estudo de caso foi realizado em um túnel de vento usando capacete aerodinâmico e um outro normal e verificou as características dos mesmos, Utilizou-se indicadores de desempenho para medir a eficiência e eficácia dos processos. Os resultados obtidos evidenciaram que o capacete aerodinâmico demonstrou ser mais eficiente, durante a introdução do capacete aerodinâmico, notou-se que o equipamento gerou ganho de 20% na melhora do desempenho.

**Palavras-chave:** Túnel de vento. Coeficiente de Arrasto, Capacete Aerodinâmico.

## **ABSTRACT**

In this work the application in engineering was applied to apply its knowledge and skills to research in projects and its implementations in specific areas of the acquired technical knowledge. A wind tunnel is often used in mechanical engineering, electrical engineering and other courses for the acquisition of experimental information in investigations of the behavior of fluid flows in objects, aircraft models, airplane wings, airfoils, aerodynamic helmets, as well as learning through practice and of the use of measurement instruments of great characteristics of the flow itself, such as speed, pressure, moments, force. This project aims to develop means to improve performance, costs, quality and timing. Always seeking maximum excellence in production and customer satisfaction with the final product. This case study was carried out in a wind tunnel using aerodynamic helmet and another normal and verified the characteristics of the same, It used performance indicators to measure the efficiency and effectiveness of the processes. The results showed that the aerodynamic helmet proved to be more efficient, during the introduction of the aerodynamic helmet, it was noticed that the equipment generated a gain of 20% in the improvement of the performance

**Key Words:** Wind tunnel. Coefficient of Drag, Aerodynamic Helmet.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Túnel de Vento. ....	14
Figura 2 – Saída de ar do Túnel de vento .....	15
Figura 3 – Sustentação do Fluxo .....	18
Figura 4 – Capacete Aerodinâmico. ....	17
Figura 5 – Características geométricas de um perfil Aerodinâmico. ....	20
Figura 6 – Resultante de forças no perfil aerodinâmico. ....	21
Figura 8 – Capacete Sem Performance .....	25
Figura 9 – Capacete Modificado Aerodinâmico .....	26
Figura 10 – Túnel de vento .....	27
Figura 11 – Análise dos Capacetes .....	28

## SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	9
1.1	Formulações do Problema .....	9
1.2	Objetivo Geral .....	10
1.3	Objetivo Especifico .....	10
1.4	justificativa .....	10
1.5	Estrutura do Trabalho .....	11
2	REVISÃO DA LITERATURA .....	12
2.1	Túnel de Vento .....	12
2.2	Projeto e Engenharia.....	14
2.3	Sustentação do Fluxo de Vento .....	16
2.4	Capacete Aerodinâmico .....	18
2.5	Aerodinâmica .....	19
2.6	Perfis Aerodinâmicos .....	20
2.7	Dinâmica dos Fluidos Computacional.....	22
3	METODOLOGIA .....	23
4	RESULTADOS .....	24
4.1	Introduções da Pesquisa dos Resultados .....	24
4.2	Análise do Resultado Inicial.....	25
4.3	Análise da Evolução dos Resultados inicial.....	26
4.4	Resultado Final .....	29
5	CONCLUSÃO.....	30
	REFERÊNCIAS .....	31

## 1 INTRODUÇÃO

O túnel de vento é essencial para projetos e pesquisas aerodinâmicas. Porém os ensaios são executados e consistem em um alto grau de dificuldade, tanto científico ou tecnológico. Descreve-se um método para expressar a incerteza de medições associadas à realização de um ensaio em um túnel de vento, onde há um equipamento que tem como função simular, estudos onde o movimento de ar sobre ou ao redor de objetos sólidos.

Representa um duto de diâmetro apropriado (túnel) onde o ar entra (subsônico, supersônico ou hipersônico), deriva de um objeto testado e monitorado por uma banca analítica do lado de fora, e sai compelido por um enorme ventilador, É muito utilizado em laboratórios de modelos físicos para a indicação de padrões nos projetos de aviões, automóveis, edifícios.

É considerável que o ar percorra com velocidade equilibrada e cheguem ao objeto experimentado para a correspondente, no sentido de não reproduzirem-se vibrações indesejadas, apesar disso os testes com turbulências propositais, a prática do escoamento do ar sobre a superfície é quem vai definir a qualificação ou não do objeto.

Os primeiros túneis de vento eram apenas dutos com ventiladores em uma das extremidades. E produzia uma corrente de ar instável e para operar era muito caro, ou seja, com tudo isso foi criado túneis modernos que produzem uma corrente de ar mais agradável a o modelo de circuito fechado, onde reaproveita o ar para poupar energia elétrica e atingir o fluxo de ar mais estável e contínuo.

### 1.1 Formulação do Problema

Esta pesquisa foi realizada na Universidade de Taubaté do ramo de engenharia automobilística localizada no Vale do Paraíba. Através do estudo de caso notou a importância e a necessidade de produtos com aerodinâmica, pois através dele é possível atingir alto desempenhos e atingir metas, diminuir o tempo de altetas profissionais e melhorar a qualidade no dia a dia, otimizar os processos deixando-os mais eficientes e eficazes podendo assim atender as exigências e expectativas dos clientes.

## **1.2 Objetivo Geral**

Portanto com essa análise, espera-se um resultado satisfatório quando comparado aos produtos desenvolvidos de forma aerodinâmica mostrando que a metodologia usada para esse experimento foi de suma importância. Após a realização foi possível discutir a importância tecnológica dos túneis de vento enquanto a verificação de testes aerodinâmicos de diversas estruturas submetidos a forças dinâmicas decorrentes do escoamento de fluídos sobre suas superfícies e melhorar cada vez mais para que possa atingir resultados positivos e satisfatórios. O estudo desenvolvido neste trabalho ajuda o profissional do laboratório a identificar os erros que comprometem os níveis de incerteza exigidos pelo experimento, e serve como um guia de quais procedimentos de medição deve ser adotado para atingir os resultados desejados.

## **1.3 Objetivo Específico**

1. Instrumentar o túnel com um Capacete Aerodinâmico;
2. Demonstrar algumas das principais propriedades aerodinâmicas e suas relações;

## **1.4 Justificativa**

O cenário da indústria brasileira, mostra que as empresas estão buscando a competitividade no mercado investindo cada vez mais em processos e equipamentos de alta qualidade e performance. A implementação de equipamentos aerodinâmicos é de suma importância, pois ajuda os veículos a vencer a força de arrasto eliminando as áreas de refluxo de ar.

## **1.5 Estrutura do Trabalho**

O trabalho será constituído de dois capítulos:

O capítulo I será realizado a introdução, a formulação do problema, os objetivos gerais e específicos, a justificativa e a estrutura do trabalho.

O capítulo II será realizado a revisão bibliográfica, onde o estudo sobre o túnel de vento e um capacete aerodinâmico e foi realizado e apresentado os resultados da pesquisa de campo.

## 2 REVISÃO DA LITERATURA

O Intuito deste capítulo é abordar o projeto do túnel de vento em dois capacetes um normal e outro coma aerodinâmica, seus objetivos e as metodologias que fazem esse equipamento a auxiliar no desempenho , custos e qualidade . Relataremos dentro das metodologias estudadas o Analise Qualitativa de Túnel de vento o qual tomou base para esse estudo sobre a importância da Engenharia no desenvolvimento de dispositivos aerodinâmicos.

### 2.1 Túnel de Vento

A partir do século XIX foi dado o ponto de partida para a criação dos primeiros túneis de vento junto às primeiras investigações aeronáuticas. Para demonstrar que não é necessário que o corpo esteja em movimento para ensaiar sua capacidade aerodinâmica foi desenvolvido o primeiro túnel de vento, onde o objetivo era analisar que mesmo estando o corpo parado e o ar em movimento é possível realizar medições de as forças aerodinâmicas nele aplicado (WIKIPEDIA).

Com início da Segunda Guerra Mundial foram construídos os túneis de vento de maiores dimensões para a realização ensaios em aeronave militares. Os testes com túneis de vento no período da Guerra Fria se tornaram de grande importância devida questões estratégicas auxiliando assim no projeto de mísseis e aviões supersônicos.

No decorrer do tempo o túnel tomou papel importante para testes, sendo aplicados em automóveis e construções civis. Antes que os testes com túneis de vento pudessem ser projetados, o engenheiro inglês e matemático Benjamim Robins (1707 – 1751) inventou um braço girando para medir a força de arrasto onde realizou as primeiras experiências na aviação.

O primeiro túnel de vento que se tem notícia, acionado por uma máquina a vapor, foi construído na Inglaterra em 1871, para a “Aeronautical Society of Great Britain”, por um dos fundadores dessa associação, Frank H. Wenham (GORECKI, 1988). Desde esta época até os dias atuais, muitos aspectos evoluíram, o que influenciou diretamente na qualidade do escoamento e das medidas, preocupação sempre presente nos estudos e desenvolvimentos de produtos e técnicas (JUNIOR, 2009). Segundo Pope (1966) e Barlow et al (1999), Na grande maioria dos túneis para ensaios aerodinâmicos, usa-se o ar como fluido. Os gases são compressíveis e sua massa específica ( $\rho$ ) varia com a temperatura e a pressão, mas em muitos

casos pode-se considerar sua massa específica constante, o que facilita os cálculos e fornece bons resultados (BARLOW, RAE e POPE 1999).

É um Equipamento de pesquisa para estudo dos efeitos do ar em relação ao redor de objetos sólidos. Usado para realizar projetos de aerodinâmica, eles são desenhados para demonstrar a corrente de ar em espaço aberto e para ilustra uma possível da realidade. Similarmente são verificadas partes e peças de automóveis a serem elaboradas através de um modelo em um software de computador, denominado sistema CAD (**Computer Aided Design**). E analisadas por um sofisticado software, o CFD (**Computational Fluid Dynamics**), antes de serem fabricadas. A maioria das instalações de túneis de vento supersônico no mundo utiliza os mesmos procedimentos operacionais adotados nos anos 60 (MATSUMOTO, 2000).

Os desenvolvimentos em andamento preocupam-se mais com particularidades e detalhes de ajuste fino para ganhos incrementais em eficiência e precisão do ensaio, tendo em vista o maior nível de exigência em termos de requisitos de projeto e os grandes custos associados à execução dos ensaios. Entre as referências mais importantes pesquisadas para a execução deste trabalho.

Segundo (Silva, Falcão e Mello (2006) – “Neste artigo, é desenvolvido um modelo matemático simplificado representativo de um TVS. Esse modelo considera o uso de regeneradores para controle de temperatura de estagnação do túnel de vento e válvula de abertura rápida para o controle de pressão de estagnação na câmara do túnel de vento”. Constatou-se um controlador PI para túneis, com dimensões semelhantes àquele apresentado em Fung (1987), conduziu a resultados de desempenho satisfatórios).

De acordo Paglione (1978). “Nesta referência é apresentada uma interessante introdução à teoria do túnel aerodinâmico de sopro. Essa descrição engloba os princípios de funcionamento, formulação matemática que descreve o escoamento nos diversos 25 elementos do túnel e faz uma análise comparativa, baseada em informações bibliográficas, dos problemas associados à qualidade do escoamento durante o tempo de corrida, controle da pressão total do escoamento, tanto na partida como em regime quase permanente e determinação dos requisitos de precisão do sistema de controle”. Essa dissertação de mestrado serviu como base para o projeto do túnel de sopro do ITA, em nível acadêmico.

**Figura 1 Túnel de Vento**



**Fonte: Universidade de Taubaté.**

## **2.2 Projeto e Engenharia**

Segundo o Gilder Nader, pesquisador do Centro de Metrologia de Fluidos (CMF). A realização do ensaio é fundamental para mostrar as condições do vento local, em escala de modelo reduzido, de modo que este seja o mais fiel possível à construção. Por meio destes ensaios são definidos, por exemplo, os carregamentos estáticos do vento.

De acordo com (Bernoulli). “A engenharia se baseou nos princípios para conseguir desenhar as asas de um avião, estabelece que a aceleração do fluxo do ar fosse menor na parte de baixo da asa, levando a uma diferença de pressão na parte inferior em relação à superior, Com base, examina alguns fatores como as forças de arrasto e de sustentação, tombamento, além das frequências de ressonância e a amplitude de vibração da estrutura”.

Forças que atuam.

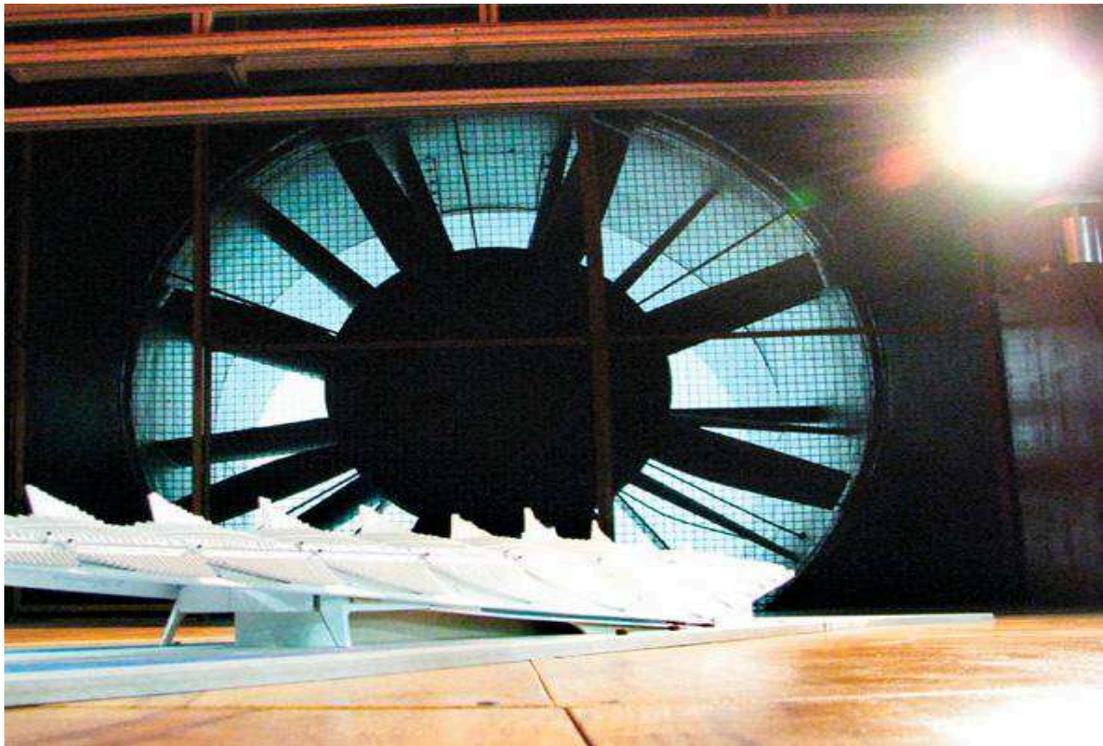
**Arrasto:** Conhecida como a resistência do ar que se apresenta na em turbilhões de ar e vácuo por trás do avião. E te o efeito de forças de fricção (atrito) e produzem na direção paralela a superfície do objeto, fazendo que ocorra uma perda de aceleração.

**Tração:** Força empregada em um corpo numa direção perpendicular a sua superfície, provocando uma redução na aceleração e ate uma possível ruptura em uma aeronave.

**Peso:** Resultante entre a massa do avião e a gravidade.

**Sustentação:** Força produzida pelas asas, reagindo contra a gravidade, e neutralizando o peso do avião,ou seja, na figura abaixo pode-se analisar todas essas forças que atuam em túnel de vento

**Figura 2 - Saída de ar do túnel de vento**

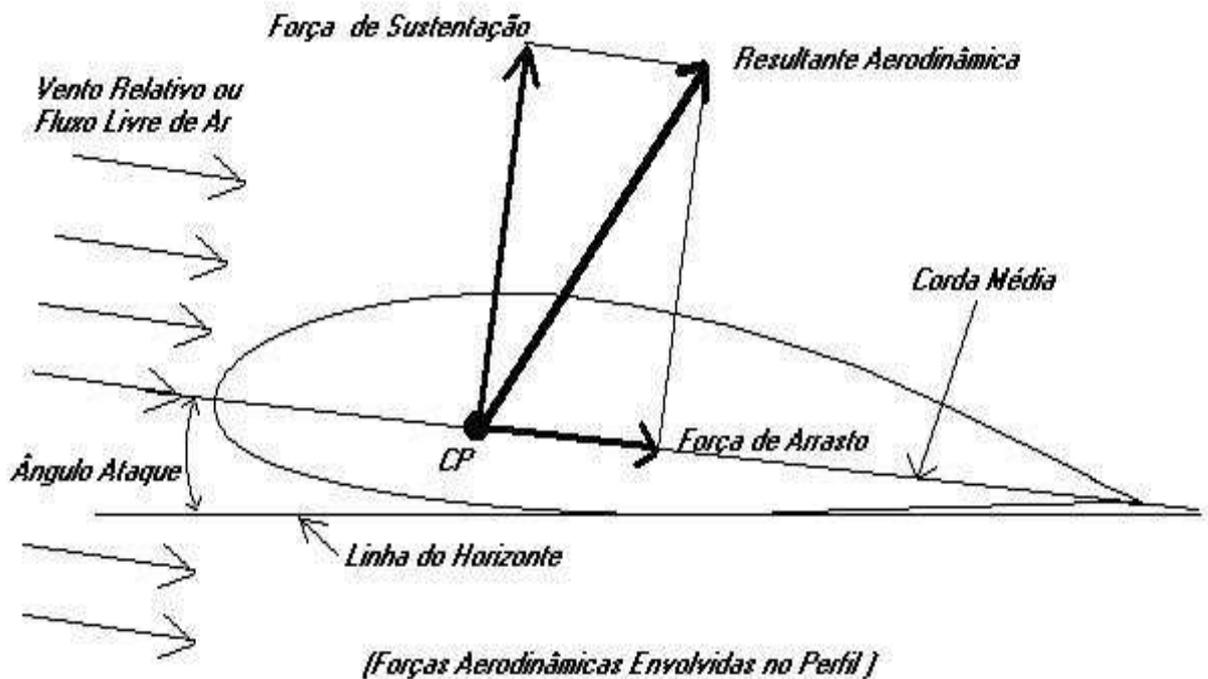


**Fonte:** [www.portalmetlica.com.br](http://www.portalmetlica.com.br)

### 2.3 Sustentação do Fluxo de Vento

O mecanismo da sustentação é comumente esclarecido pela redução da pressão estática na parte superior do perfil, nos moldes do "Tubo de Venturi", tipo específica aplicado é "Princípio de Bernoulli" é onde ocorre encolhimento da pressão estática. É, assim, aludido o fato da pressão estática, e tende a diminuir no extradorso do perfil "por causa da maior velocidade" com que o ar escoa, buscando credibilidade ao teorema da conservação da energia mecânica demonstrada na figura abaixo a resistência do ar e os coeficientes de arrasto.

Figura3- Sustentação do Fluxo.



Crédito: Glauco D. P. Lopes - out. 2004

Fonte: [www.Citynet.com.br](http://www.Citynet.com.br)

A elucidação qualitativa mais compreensível em relação a força de sustentação, conforme Brunetti (2008), vem no ato de ocorrer uma alteração de velocidades entre o escoamento do fluido no rosto superior e inferior do perfil aerodinâmico, que origina pressões onde um diferencial motivado gera uma força resultante perpendicular à direção do movimento. A

formação da força de sustentação pode ser expressa pela terceira lei de Newton, onde aponta que seja qual for a força aplicada sempre vai existir uma reação de mesma intensidade no sentido oposto. A Aplicação desta teoria explica-se no fato, onde caso haja um ângulo positivo entre a asa e a direção do escoamento, o fluido será sujeito a mudar de direção, ou seja, parte do escoamento na porção inferior da asa será forçada para baixo, assim, o fluido aplicaria uma força contrária, fornecendo sustentação à asa (RODRIGUES, 2013).

## 2.4 Capacete Aerodinâmico

Capacete aerodinâmico é bastante empregado em diversas modalidades, especialmente nas provas de velocidade de esqui na neve ou ciclismo. Portanto, o acessório que integra o ciclista como o capacete precisa obter atenção especial. Pois é essencial dispor de como trabalha a força de arrasto, 90% da força aplicada contra o ciclista e a bicicleta levando para frente vêm do ar, quando 10% vêm da resistência de rolamento, ou seja, roda, engrenagens e rolamentos. Tendo como exemplo a velocidade que a bicicleta pode alcançar, O rendimento é imprescindível para que alcance tal feito, tamanha a resistência que será deparada. O capacete esta auferindo essa atenção especial, não só dentro de provas de contra o relógio, mas alem disso obterão a suma importância em provas de estradas. Pois o design desses capacetes são diferenciados e ajudam muito no fluxo de vento, contendo varias qualidades, como por exemplo na Figura abaixo um capacete aerodinâmico e as suas características que concedem um desempenho melhor, design e as entradas de ar nas laterais.

**Figura 4- Capacete Aerodinâmico**



Fonte: Universidade de Taubaté.

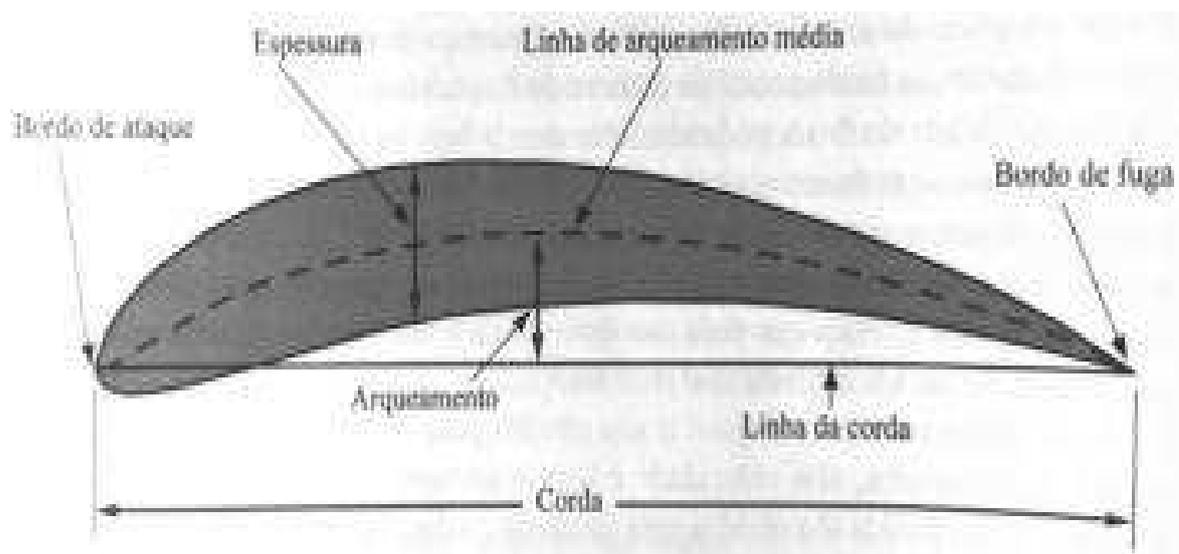
## 2.5 Aerodinâmica

A aerodinâmica consiste em um estudo relativo ao movimento de fluidos gasosos, envolvendo as propriedades e características dos mesmos, bem como a forma com que estes fluidos exercem forças sobre os corpos nele submersos (RODRIGUES, 2013). Tratando-se da interação da aerodinâmica como ciência voltada ao projeto de aeronaves, ambos os campos de estudo caminham juntos, sendo que os estudos de perfis aerodinâmicos alavancaram os estudos da aerodinâmica aplicada a aeronaves. Muitos aspectos analisados na busca da melhor configuração aerodinâmica de uma aeronave são amplamente utilizados pelas partes subsequentes de um projeto aeronáutico (RODRIGUES, 2013). Ou seja, o correto estudo dos fenômenos que envolvem a aerodinâmica é fundamental para o projeto global da aeronave, dando subsídios para uma melhor análise de desempenho, estabilidade e até mesmo aos estudos estruturais, áreas estas, que possuem soluções correlacionadas que devem ser consideradas para a obtenção do projeto global.

## 2.6 Perfis Aerodinâmicos

Os perfis aerodinâmicos ou aerofólios, segundo Rodrigues (2013), são superfícies projetadas a fim de obter uma reação aerodinâmica a partir do escoamento do fluido ao seu entorno. A Figura 1 apresenta as principais características de um perfil aerodinâmico, sendo que, a linha de arqueamento média define o ponto médio entre todos os pontos que formam as superfícies superior e inferior do perfil, a linha da corda representa a linha que une os pontos inicial e final da linha de arqueamento média, a espessura representa a altura do perfil perpendicularmente à linha de corda e o arqueamento representa a máxima distância entre a linha de arqueamento média e a linha de corda do perfil aerodinâmico.

**Figura 5- Características geométricas de um perfil Aerodinâmico.**

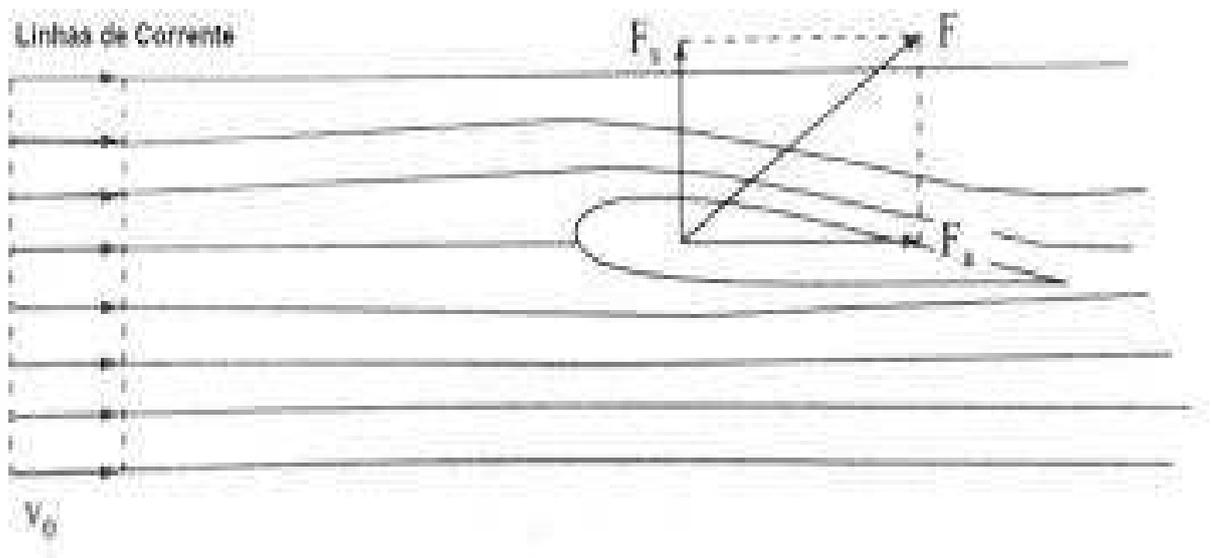


**Fonte: Rodrigues, 2013, p. 28.**

Na interação do perfil aerodinâmico com o fluido, para efeito de estudo, a observação fenomenológica é efetuada adotando o sistema de referência na superfície sólida, ou seja, o corpo se encontra em repouso e o fluido em movimento, adotando uma velocidade igual, em sentido contrário à do corpo estudado (BRUNETTI, 2008). Nessa condição, o perfil aerodinâmico é submetido a uma resultante das forças de cisalhamento e pressão que atuam nas superfícies, conforme apresentado na Figura 6. Supondo-se o escoamento bidimensional, essas forças podem ser decompostas em duas componentes, sendo elas: A força de arrasto ou resistência ao avanço ( $F_a$ ), paralela às linhas de corrente, e a força de sustentação ( $F_s$ ),

perpendicular às linhas de corrente (FOX e MCDONALD, 2001). Outra característica importante tratando-se da interação de perfis aerodinâmicos com o escoamento de fluido é o ângulo de ataque ( $\alpha$ ), que consiste no ângulo formado entre a direção do vento relativo e a linha de corda.

**Figura 6 - Resultante de forças no perfil aerodinâmico.**



Fonte: Adaptado de Brunetti, 2008, p. 223.

## 2.7 Dinâmica dos Fluidos Computacional.

Desde dos anos de 1950, a Dinâmica de Fluidos Computacional (CFD – Computational Fluid Dynamics) apareceu-se como uma opção para este campo da ilustração, uma vez que os tratamentos teóricos e/ou experimentais aplicados até então, nem ao menos são satisfatórios. Por meio da solução numérica das equações de Navier-Stokes utilizando técnicas computacionais, esta alternativa elimina as duas dificuldades fundamentais encontradas nos métodos anteriores, sendo elas: o fenômeno estudado nem sempre é passível de reprodução em laboratório e, além disso, o tempo e custos elevados para a montagem experimental podem constituir um fator complicante em um determinado estudo (FORTUNA, 2000).

Isto vem ao encontro de Santos apud Souza (2012) que destaca-se que o tempo de execução e precisão dos estudos de dinâmica de fluidos foram melhorados com o emprego da modelagem computacional, uma vez que grande parte das soluções antes obtidas via testes exaustivos de laboratório, agora são alcançadas através deste conjunto de métodos aplicáveis as mais variadas áreas da engenharia de forma muito menos onerosa.

Em suma, a Dinâmica de Fluidos Computacional, segundo Fortuna (2000, p.21), “é a área da computação científica que estuda métodos computacionais para simulação de fenômenos que envolvem fluidos em movimento com ou sem trocas de calor”. O autor aborda ainda que o principal interesse na utilização da CFD está na obtenção das distribuições de velocidades, pressões e temperaturas na região do escoamento.

É importante referir que o uso de métodos numéricos computacionais não põe de lado as análises teóricas e experimentais, pelo contrário, muitas vezes as três técnicas são utilizadas de forma a se complementarem entre elas e fornecerem resultados ainda mais precisos. Um exemplo comum desta interação de técnicas é a utilização dos resultados de uma simulação numérica como orientação à escolha dos experimentos a serem realizados, otimizando tempo e custos de projeto (FORTUNA, 2000).

De forma geral, a CFD mostra um conjunto versátil de algoritmos para a solução numérica dos problemas de escoamento, proporcionando uma fácil variação nos parâmetros relevantes e até mesmo dos modelos físicos em um mesmo escoamento, até que se atendam as exigências de projeto.

### 3 METODOLOGIA

Conforme cita Lakatos e Marconi (2001) a metodologia é a explicação clara, objetiva, rigorosa e concreta de todo trabalho realizado no método (trâmite) do trabalho de pesquisa. É a explicação do tipo de estudo, das ferramentas utilizadas, do tempo previsto, das formas de tabulação e tratamento dos dados, enfim, de tudo aquilo que se aplicou no trabalho de pesquisa.

O método utilizado para a execução desse trabalho foi de revisão bibliográfica realizada com consultas em livros, artigos e revistas tirando as devidas conclusões e entendimentos a respeito do assunto abordado. Este foi desenvolvido através de uma pesquisa bibliográfica e documental exemplificado pelo meio de, uma análise qualitativa e não terá foco em representatividade numérica, onde foi realizado um estudo de caso em um laboratório da Universidade de Taubaté, aplicando a análise termodinâmica e será efetuado um teste experimental em um túnel de vento e uma parede com apoios laterais e será realizado testes aerodinâmico com dois capacetes, um capacete normal e um outro com aerodinâmica melhor para comparar-se os resultados, verificando coeficiente de arrasto frequências naturais, modos de vibração e níveis de amortecimento, sustentação e arrasto correspondentes. A aquisição dos dados é feita de forma estatística, tirando a média dos resultados após medição. Após realizar as repetições dos testes e discriminar os resultados com maior variação e esforços aerodinâmicos atuantes no protótipo. Para a definição dos coeficientes de arrasto e sustentação levando em observação a temperatura e densidade do ar, dimensões do protótipo. O que por sua vez gerará um ciclo de melhoria para ser utilizada em empresas de grande porte e que atenda às necessidades de empresas menores sem perder o seu valor e sua eficiência quando o assunto é melhoria na qualidade de produtos aerodinâmicos, permitindo comunicação e direção da sua organização para aumentar sua eficiência e eficácia pela identificação, compreensão e gestão de processos inter-relacionados de um sistema que são projetados para atender a determinados objetivos.

Por fim, os resultados e conclusões obtidos no final desse trabalho são de pura análise conceitual e podem sofrer divergências e pequenos desvios no momento de sua aplicação prática em empresas de grande e médio porte.

## **4 RESULTADOS E DISCUSSÃO**

### **4.1 Introdução da pesquisa dos resultados**

No início do processo de análise do túnel, definição de aerodinâmica, montagem, e todos os procedimentos aplicados no projeto era realizado apenas uma folha de processo contendo as informações que a Engenharia definia como a melhor maneira de fazer o produto, sem prever qualquer tipo de imprevisto. Com o processo definido começa a elaboração do projeto no túnel de vento e de acordo com o andamento ocorrem dificuldades que poderiam ser evitados como; excesso de movimentação no túnel, efeitos do vento, posição do capacete, acessórios, segurança, qualidade.

Todos os itens mencionados acima geram grandes desperdícios para a organização, gerando valores discrepantes no início até atingir o resultado final, paradas não planejadas, defeitos do produto. Com todos esses problemas a improdutividade aumenta o produto fica mais caro e a organização fica menos competitiva no mercado.

## 4.2 Análise do Resultado inicial

A análise do capacete no estado inicial, Figura 1 mostra o capacete sem nenhum desempenho .

**Figura 1 Capacete sem Performance .**



**Fonte: Universidade de Taubaté.**

Analisamos a Figura 1 observamos que esse capacete não remete nenhum desempenho aerodinâmico ao ciclista devido ao design que não foi projetado de forma correta de modo que possa ajudar o desempenho. No momento em que o cliente esta insatisfeito com o serviço prestado, é extremamente perigoso, pois, ele pode contratar outro fornecedor que atende suas expectativas com qualidade, prazo, preço, comprometimento. Tratando deste produto o cliente procura algo que possa atender suas expectativas finais para satisfazer.

Diante de todos os problemas mencionados e impactos gerados por atraso e produtos de pouca qualidade, jamais o fornecedor deve chegar neste ponto, produtos fabricados acima do tempo orçado, vai gerar problemas relacionado ao financeiro como multas, ou seja, a empresa obterá menor lucro ou até prejuízo na produção.

### 4.3 Análises da evolução dos Resultados inicial

A análise do capacete aerodinâmico, Figura 2- Capacete com alta performance.

**Figura 2 – Capacete Modificado Aerodinâmico**



**Fonte: Universidade de Taubaté.**

Iniciado a análise do capacete verificou que este tem uma performance muito melhor aos outros devido ao seu design sofisticado e por suas entradas de ventos nas laterais facilitando a passagem do vento, o desenvolvimento desse produto tem a realização de uma apresentação da área da Engenharia Automobilística, a fim de nivelar o conhecimento de todas as áreas envolvidas. Em ordem conforme a figura 1 foi realizada e analisada o capacete normal, Figura 2, para ter melhor visualização da análise foi tido um capacete aerodinâmico para a verificação de cada subconjunto do produto final.

**Figura 3 – Túnel de Vento**



**Fonte: Universidade de Taubaté.**

A análise qualitativa foi realizada neste túnel de vento com os devidos capacetes verificando em cada, as suas propriedades e característica e foi desenvolvido na escala mais próxima possível buscando resultados mais concretos sem muita discrepância.

**Figura 4 - Análise dos Capacetes.**



**Fonte: Universidade de Taubaté.**

Foi realizada uma análise qualitativa de dois capacetes em um túnel de vento da (UNITAU) - Universidade de Taubaté. Iniciando o projeto de forma minuciosa até chegar aos valores mais próximos e concretos, a partir daí comparou-se um capacete não aerodinâmico e um outro projetado para alto desempenho (com Aerodinâmica) e concluiu-se que o resultado teve uma melhora em relação a performance 20% do fluido do vento passando sobre a superfície externa do capacete e melhorou o coeficiente de arrasto do fluido do vento passando por esse capacete e verificou-se também a turbulência do vento posterior a barreira de design do capacete.

#### **4.4 Resultado final**

De acordo com o trabalho realizado de Projetos de túnel de vento foi responsável por uma melhora em 20% no desempenho, e em um mercado tão competitivo a qualidade é essencial, pois ter produtos com design diferentes que possam atender tanto no dia a dia quanto em competições onde o desempenho do atleta em uma competição será de suma importância para ter resultados melhores, será muito impactante, pois fruir de produtos que remetem uma melhoria no desempenho e agregam um conforto melhor no mercado, por essa razão a escolha de equipamento com aerodinâmica é importante, porque ele interfere diretamente nas forças de resistência que serão enfrentadas durante competições, e nesse sentido o capacete também merece atenção, estudos realizado em túnel de vento indicam que os capacetes aero oferecem um dos maiores benefícios para triatletas com um potencial de dispersão da resistência do ar que não deve ser ignorado e através disso foi o que conseguimos comprovar através do projeto de túnel de vento.

## 5 CONCLUSÃO

Diante da elaboração e análise do Projeto (Túnel de Vento e Capacetes) ao longo do programa e da verificação, é aconselhável que devam, sobretudo, ter um acompanhamento a curto, médio e ao longo prazo, diante a sua extensão de desenvolvimento e também realização da melhora, almejando sempre atingir e prosseguir com formatação mais adequada.

A utilização do método proposto demonstrou ser capaz de mapear o fluxo operacional para apuração de resultados durante a introdução do novo produto. A aplicação do método apresentado evidenciou várias oportunidades para uma diferente visão do projeto, que o levaria a uma redução no coeficiente de arrasto e ações de correção, que aconteceram no projeto original, percebendo ganhos significativos e conclusivos, mas é pesquisas seguintes é de total relevância para atingir resultados melhores.

O método enfatiza os principais princípios da aerodinâmica e ao abordá-los, no projeto, permite que o consumidor participe e implante essa visão, que, muitas vezes, já faz parte do seu cotidiano e que a compartilhe com as demais áreas da empresa, mostrando sempre os pontos a serem corrigidos e partes que tiveram total êxito.

Finalmente é importante enfatizar que os métodos do Projeto Análise de Túnel de Vento, foram retratados e estudados neste estudo, trouxe ótimos resultados à pesquisa, podendo ser utilizado para pesquisas futuramente e de modo que possa obter resultados mais conclusivos.

## REFERÊNCIAS

BARLOW J. B., RAE W. H., POPE A., 1999, “**Low-Speed Wind Tunnel Testing**”, 3rd edition; John Wiley & Sons

GORECKI, J. P. **Túneis aerodinâmicos: passado, presente e futuro. Encit 88** – II Encontro Nacional de Ciências Térmicas. Águas de Lindóia – SP, 1988.

POPE, A., **Low Speed Wind Tunnel Testing**, New York, N.Y., John Wiley& Sons, 1966.

WIKIPEDIA, (**Wind Tunnel**). Acesso em 25 de outubro de 2017, disponível em [http://en.wikipedia.org/wiki/Wind\\_tunnel](http://en.wikipedia.org/wiki/Wind_tunnel).

EBAH. (**Túneis de Vento**). Acesso em 19 de outubro de 2017, disponível em <http://www.ebah.com.br/content/ABAAAe6OsAH/tuneis-vento-trabalho>.

Disponível -- [www.estudopratico.com.br/aerodinamica](http://www.estudopratico.com.br/aerodinamica)-- Acesso em 15 de setembro de 2017.

Disponível -- **Revista\_Construcao\_Metalica\_edicao\_111.pdf** – Acesso em 10 de setembro de 2017.

LAKATOS, E. M.; MARCONI, M. A.: **Fundamentos metodologia científica**. 4.ed. São Paulo: Atlas, 2001.

BRUNETTI, Franco (SP). **Mecânica dos Fluidos**. 2. Ed. Rev. São Paulo: Pearson Prentice, 2008.

FOX, Robert W.; MCDONALD, Alan T. **Introdução à Mecânica dos Fluidos**. 5. Ed. Trad. de R.N.N. Koury e G.A.C. França. Rio de Janeiro: LTC – Livros Técnicos e Científicos Editora S.A., 2001.

RODRIGUES, Luiz E. M. J. **Fundamentos da engenharia aeronáutica**. São Paulo: Cengage Learning, 2013.

FORTUNA, Armando de Oliveira. **Técnicas Computacionais para Dinâmica dos Fluidos:**

**Conceitos Básicos e Aplicações.** São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 2000. (Acadêmica; 30).

SANTOS, César Gabriel dos. **Dimensionamento e Simulação Computacional de Um Rotor Hidráulico do Tipo Francis.** 2012. Monografia (Graduação) – Faculdade Horizontina, Horizontina, 2014.

Disponível-- [www.fahor.com.br/publicacoes/TFC/EngMec/2014/Djone\\_Rafael\\_Viana.pdf](http://www.fahor.com.br/publicacoes/TFC/EngMec/2014/Djone_Rafael_Viana.pdf) -  
- Acesso em 18 de novembro de 2017.