

**UNIVERSIDADE DE TAUBATÉ**

**Luís Gustavo Gomes Lopes**

**Luiz Augusto de Resende**

**O PROJETO AERODINÂMICO NA OTIMIZAÇÃO DO  
DESEMPENHO DE CAPACETES DE CICLISMO**

**Taubaté – SP**

**2017**

**Luís Gustavo Gomes Lopes**  
**Luiz Augusto de Resende**

**O PROJETO AERODINÂMICO NA OTIMIZAÇÃO DO  
DESEMPENHO DE CAPACETES DE CICLISMO**

Trabalho de Graduação apresentado para  
obtenção do Título de Bacharel em Engenharia  
Mecânica do Departamento de Engenharia  
Mecânica da Universidade de Taubaté.

Orientador: Prof. Paulo Cesar Corrêa Lindgren

Co-orientadora: Profa. Maria Regina Hidalgo de  
Oliveira Lindgren

**Taubaté – SP**

**2017**

**LUÍS GUSTAVO GOMES LOPES**

**LUIZ AUGUSTO DE RESENDE**

**O PROJETO AERODINÂMICO NA OTIMIZAÇÃO DO DESEMPENHO DE  
CAPACETES DE CICLISMO**

Trabalho de Graduação apresentado para  
obtenção do Título de Bacharel em  
Engenharia Mecânica do Departamento  
de Engenharia Mecânica da Universidade  
de Taubaté.

Data: 1<sup>o</sup> de Novembro de 2017

Resultado: Aprovado.

**BANCA EXAMINADORA**

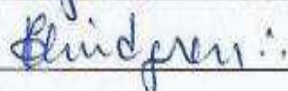
Prof. Paulo Cesar Cones Lindgren - Orientador

Universidade de Taubaté

Assinatura 

Prof. Maria Regina H. D. Lindgren:

Universidade de Taubaté

Assinatura 

Dedico este trabalho a Deus, que sempre me deu forças para a realização do trabalho.

Aos meus amigos e família.

## **AGRADECIMENTOS**

Aos professores, Msc.Paulo Cesar Corrêa Lindgren e Msc.Maria Regina Hidalgo de Oliveira Lindgren, que nos orientaram com excelência dando todo apoio necessário ao desenvolvimento da pesquisa.

Ao coordenador do trabalho de graduação Prof. Msc. Fábio Henrique Fonseca Santejani, que ajudou a realização do relatório.

## RESUMO

Esta monografia tem como objetivo analisar diferentes exemplares de capacetes de ciclismo, em relação ao projeto aerodinâmico, utilizando dados obtidos a partir de testes realizados em túneis de vento, assim verificando os coeficientes de arrasto e comparando a eficiência aerodinâmica dos mesmos. O desenvolvimento do projeto consiste em colocar os diferentes modelos de capacetes em túneis de vento e analisar como o comportamento do deslocamento de ar é afetado pelas características aerodinâmicas dos capacetes. Os capacetes foram projetados por diferentes fabricantes, assim permitindo verificar a diferença de eficácia dentre eles, baseando-se no cálculo dos coeficientes de arrasto. Dessa forma, se consegue demonstrar, tanto por meio de cálculos quanto por testes em túnel de vento, que um projeto aerodinâmico tem grande influência no desempenho de um ciclista.

**Palavras-chave:** Aerodinâmica; Capacetes de ciclismo; Coeficiente de arrasto; Túnel de Vento.

## **ABSTRACT**

This monograph has the objective to analyze different examples of cycling helmets, in relation to the aerodynamic design, using data obtained from tests performed in wind tunnels, this verifying the drag coefficients and comparing their aerodynamic efficiency. The development of the project consists of placing the different models of helmets in wind tunnels and analyzing how the behavior of the air displacement is affected by the aerodynamic characteristics of the helmets. The helmets were designed by different manufacturers, this allowing to verify the difference of effectiveness among them, based on the calculation of the drag coefficients. In this way, it is possible to demonstrate, both by means of calculations and by tests in wind tunnel, that an aerodynamic design has great influence in the performance of a cyclist.

**Keywords:** Aerodynamics; Cycling helmets; Coefficient of drag; Wind tunnel.

## LISTA DE TABELAS

|   |    |
|---|----|
| Tabela 1 – Modelos de capacetes e suas respectivas pontuações determinadas pelo site BikeRadar..... | 14 |
| Tabela 2 – Teste no túnel de vento SPECIALIZED .....  | 29 |



## LISTA DE FIGURAS

|   |    |
|---|----|
| Figura 1 – Competidor em uma prova de ciclismo .....                                      | 13 |
| Figura 2 – Modelo de capacete BontragerBallista .....                                     | 15 |
| Figura 3 – Demonstração de uma força de arrasto de superfície atuando sobre um corpo..... | 16 |
| Figura 4 – Demonstração de uma força de arrasto de superfície atuando sobre um corpo..... | 17 |
| Figura 5 – Coleta de dados em um túnel de vento .....                                     | 18 |
| Figura 6 – Coleta de dados em um túnel de vento .....                                     | 18 |
| Figura 7 – Túnel de vento: circuito aberto.....   | 19 |
| Figura 8 – Túnel de vento de visualização.....  | 20 |
| Figura 9 – Túnel de vento subsônico.....  | 20 |
| Figura 10 – Túnel de vento: Circuito fechado.....   | 21 |
| Figura 11 – Tubo de Pitot.....  | 22 |
| Figura 12 – Hélice de um túnel de vento.....  | 23 |
| Figura 13 – Representação Custo X benefício .....   | 25 |
| Figura 14 – Representação de um teste de coeficiente de arrasto.....                      | 26 |

## SUMÁRIO

|                |   |    |
|----------------|---|----|
| <b>1</b>       | <b>INTRODUÇÃO</b> .....                       | 11 |
| <b>1.1</b>     | <b>Objetivos</b> .....                        | 11 |
| <b>1.1.1</b>   | Objetivo Geral .....                          | 11 |
| <b>1.1.2</b>   | Objetivos Específicos .....                   | 11 |
| <b>1.2</b>     | <b>Relevância do estudo</b> .....             | 12 |
| <b>1.3</b>     | <b>Organização do trabalho</b> .....          | 12 |
| <b>2</b>       | <b>REVISÃO DE LITERATURA</b> .....            | 13 |
| <b>2.1</b>     | <b>Capacetes de ciclismo</b> .....            | 13 |
| <b>2.1.1</b>   | Modelos de capacetes.....                     | 13 |
| <b>2.1.1.1</b> | Capacetes aerodinâmicos.....                  | 14 |
| <b>2.1.1.2</b> | Capacetes convencionais.....                  | 15 |
| <b>2.2</b>     | <b>Coeficiente de arrasto</b> .....           | 15 |
| <b>2.2.1</b>   | Força de arrasto de superfície.....           | 16 |
| <b>2.2.2</b>   | Força de arrasto de forma ou de pressão.....  | 17 |
| <b>2.3</b>     | <b>Túnel de vento</b> .....                   | 17 |
| <b>2.3.1</b>   | Componentes do túnel de vento .....           | 21 |
| <b>2.4</b>     | <b>Equações e variáveis necessárias</b> ..... | 23 |
| <b>2.4.1</b>   | Numero de Reynolds .....                      | 23 |
| <b>2.4.2</b>   | Perda de carga .....                          | 24 |
| <b>2.4.3</b>   | Energia gasta durante um esforço físico ..... | 24 |
| <b>2.4.4</b>   | Aplicações .....                              | 25 |
| <b>2.5</b>     | <b>Perspectivas para o futuro</b> .....       | 26 |
| <b>3</b>       | <b>METODOLOGIA</b> .....                      | 27 |
| <b>4</b>       | <b>RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....           | 29 |
| <b>5</b>       | <b>CONCLUSÃO</b> .....                        | 31 |
|                | <b>REFERÊNCIAS</b> .....                      | 32 |

# 1 INTRODUÇÃO

Diante do cenário atual, todos os produtos estão cada vez mais competitivos e assim com uma maior necessidade de desenvolvimento e estudo para sua melhoria. A engenharia busca, conforme seus projetos, melhorar e trazer mais eficiência ao produto em estudo. O capacete de ciclismo é um dos produtos que podem influenciar em uma corrida dependendo da sua forma geométrica. Com a ajuda de um estudo de seu coeficiente de arrasto em um túnel de vento pretende-se demonstrar que capacetes podem exercer uma grande influência quando se é desenvolvido aerodinamicamente.

Foram utilizados experimentos de diversos túneis de vento que utilizaram capacetes de ciclismo. Os dados essenciais para pesquisa que foram retirados dos estudos são o coeficiente de arrasto e consumo de energia economizada pelo uso de um capacete aero.

As áreas envolvidas no estudo são elementos de mecânica dos fluidos e aerodinâmica, assim devendo ser levado em consideração um estudo mais apurado nas variáveis dessas áreas, como projetos aerodinâmicos, número de Reynolds, forças de arrasto e perda de carga.

## 1.1 OBJETIVOS

### 1.1.1 Objetivo Geral

Esta pesquisa tem como objetivo analisar diferentes exemplares de capacetes de ciclismo, em relação ao projeto aerodinâmico, utilizando dados obtidos a partir de testes realizados em túneis de vento, assim verificando os coeficientes de arrasto e comparando a eficiência aerodinâmica dos mesmos.

### 1.1.2 Objetivos Específicos

Os principais objetivos são chegar a dados conclusivos a respeito da eficácia dos projetos aerodinâmicos dos capacetes comparado com capacetes comuns, esses dados são:

- a) Tempo ganho em percurso com um capacete aerodinâmico.

- b) Velocidade alcançada por um ciclista usando o mesmo esforço físico.
- c) Economia do consumo de energia de um ciclista em percursos

### **1.2 Relevância do estudo**

Deve-se dar grande importância a esse estudo, pois a influência que a aerodinâmica de um capacete pode ter para um ciclista pode ser decisiva para uma competição, pois um dos fatores que mais pesam contra um atleta é a resistência do ar agindo contra ele e se for conseguida a diminuição do coeficiente de arrasto com um equipamento aerodinâmico, provavelmente serão obtidos resultados melhores.

### **1.3 Organização do trabalho**

O trabalho foi organizado da seguinte forma, a revisão de literatura mostrou os principais aspectos envolvidos no trabalho, mostrando as informações necessárias no entendimento. A metodologia descreveu como obteve-se os dados.

E por fim com os resultados foram analisados, chegando à conclusão final.

## 2. REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 Capacetes de ciclismo

A importância do estudo no uso do capacete no ciclismo está cada vez em destaque, pois as competições estão exigindo cada vez mais dos atletas e os clientes que buscam apenas o uso rotineiro estão ficando mais exigentes com os produtos, uma competição é representada na seguinte Figura 1. (FLOWSJOURNAL, 2016).

**Figura 1** - Competidor em uma prova de ciclismo.



**Fonte:** FLOWSJOURNAL(2016).

#### 2.1.1 Modelos de capacetes

Existem vários modelos de capacetes, que variam entre nível de conforto, proteção, ventilação e os que levam em consideração no projeto a aerodinâmica e os que não levam. Assim os diferentes tipos atendem as diferentes necessidades dos clientes (PRA QUEM PEDALA, 2015).

O site *BikeRadar* realizou uma pesquisa onde eles deram pontos para modelos de capacetes de acordo com as respectivas características.

**Tabela 1** - Modelos de capacetes e suas respectivas pontuações determinadas pelo site BikeRadar.

|                           | Aero | HSV | LSV | Visual | Peso | Preço | Total |
|---------------------------|------|-----|-----|--------|------|-------|-------|
| Bontrager Ballista        | 5    | 4   | 4   | 3      | 4    | 5     | 25    |
| Louis Garneau Course      | 3    | 5   | 5   | 5      | 3    | 3     | 24    |
| Kask Protone              | 3    | 5   | 3   | 4      | 2    | 2     | 19    |
| Specialized S-Works Evade | 4    | 4   | 2   | 3      | 2    | 2     | 17    |
| Bell Star Pro             | 5    | 2   | 1   | 1      | 4    | 3     | 16    |
| POC Octal Aero            | 4    | 4   | 3   | 1      | 3    | 1     | 16    |

**Fonte:** PARA QUEM PEDALA (2015).

As siglas representadas na Tabela 1, tem os seguintes significados:

Aero= Performance Aerodinâmica

HSV = Ventilação em alta velocidade

LSV = Ventilação em baixa velocidade

### 2.1.1.1 Capacetes aerodinâmicos

Os capacetes aerodinâmicos são de grande importância no ciclismo, pois ele é o diferencial em ganho de desempenho, pois eles são projetados para diminuir a resistência com o ar, diminuindo então o esforço que o ciclista necessita para correr ganhando vantagem sobre os outros que não usam o mesmo. Os testes em túneis de vento começaram a se tornar populares nos anos 80, onde grandes equipes de competidores começaram a utilizar tais recursos em busca de melhoria nos projetos (FLOWSJOURNAL, 2016).

Um exemplo de capacete aerodinâmico é o modelo de capacete BontragerBallista representado na Figura 2.

**Figura 2** - Modelo de capacete BontragerBallista



**Fonte:** PARA QUEM PEDALA (2015).

### **2.1.1.2 Capacetes convencionais**

Alguns capacetes visam mais o conforto ou proteção em vez da aerodinâmica, geralmente não são para uso em competições, pois a desvantagem de um capacete não aerodinâmico tem contra um aerodinâmico é muito grande (MUNDOTRI, 2014).

## **2.2 Coeficiente de arrasto**

O coeficiente de arrasto é uma força de resistência criada quando um objeto se move dentro de um fluido, que pode ser ar ou líquido, tendo a forma geométrica do objeto o principal influenciador quando se fala respeito da capacidade de enfrentar a resistência do ar, pois quanto maior for sua capacidade, maior vai ser a sua capacidade aerodinâmica. Portanto pode-se concluir que o coeficiente de arrasto mede a força de resistência que o ar exerce sobre um objeto (SCIENTIA PLENA, 2012).

O cálculo do coeficiente de arrasto é realizado com a seguinte equação 1:

$$C_x = \frac{F_A}{A \cdot 0,5 \cdot P \cdot V^2} \quad (1)$$

Onde:

Cx = Coeficiente de arrasto

Fa = Força de arrasto

V = Velocidade do objeto relativo ao fluido

P = Densidade de massa do fluido

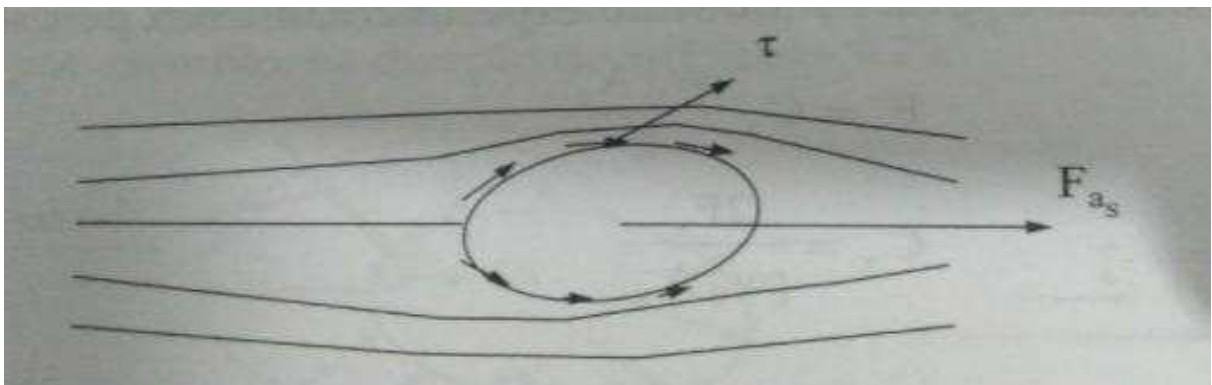
A = Área de referência

Sendo o Cx uma unidade adimensional.

### 2.2.1 Força de arrasto de superfície

As forças de arrasto de superfície são devidas as tensões de cisalhamento que se desenvolvem na superfície, que são causadas por um gradiente de velocidade ao longo das perpendicularidades do objeto em estudo, conforme as **Figuras 3 e 4** (BRUNET, F, 2008, p.224).

**Figura 3** – Demonstração de uma força de arrasto de superfície atuando sobre um corpo

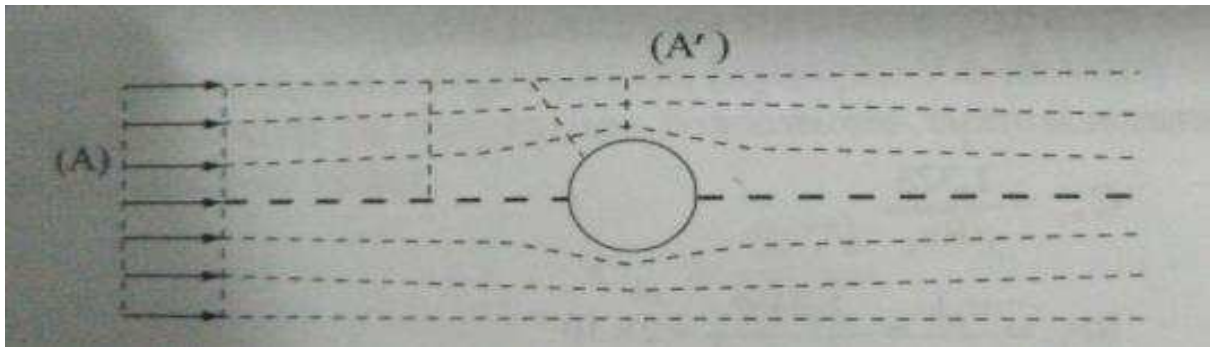


Fonte: BRUNET (2008)



### 2.2.2 Força de arrasto de forma ou de pressão

**Figura 4** – Demonstração de uma força de arrasto de pressão atuando sobre um corpo



Fonte:BRUNET (2008)

### 2.3 Túnel de vento

Os túneis de vento são usados por empresas, universidades e institutos de pesquisa com o intuito de buscar e obter dados através de um ambiente controlado. Seu funcionamento se baseia em produzir um fluxo de fluido com o controle das variáveis que são velocidade do vento, turbulências ajustáveis, dentre outras. Assim, pode se inferir as reações da passagem do ar através dos objetos usados em estudo, como aviões, carros de teste, hélices e capacetes. Esses dados são obtidos através de sensores, que medem as forças que interferem no objeto em análise, essas forças seriam torques, velocidades e acelerações dependendo do modelo e seu objetivo (AEROALCOOL, 2017).

Um teste em um túnel de vento pode ser representado na Figura 5, onde o desempenho dos ciclistas com os capacetes em estudo estão em análise:

**Figura 5** - Coleta de dados em um túnel de vento.



**Fonte:** PARA QUEM PEDALA (2015).

Um túnel de vento é demonstrado internamente na **Figura 6**.

**Figura 6** - Coleta de dados em um túnel de vento.



**Fonte:** FLOWSJOURNAL(2016).

Alguns exemplos de túneis de vento são:

a) Túnel de vento – circuito aberto

Os túneis de vento de circuitos abertos, apresentam um baixo nível de turbulência e excelente estabilidade de fluxo. Como apresentado na Figura 7. (AEROALCOOL, 2017).

**Figura 7** – Túnel de vento: circuito aberto



**Fonte:** AEROALCOOL (2017).

b) Túnel de vento de visualização

Os túneis de vento servem para estudo e visualizações de testes, como as linhas de corrente e escoamento, como apresentado na Figura 8 (AEROALCOOL, 2017).

**Figura 8** – Túnel de vento de visualização



**Fonte:** AEROALCOOL (2017).

c) Túnel de vento subsônico

Os túneis de vento subsônico de circuito aberto apresentam baixo nível de turbulência e grande estabilidade de fluxo e tem como característica ser montado em uma bancada móvel, como apresentado na Figura 9 (AEROALCOOL, 2017).

**Figura 9** – Túnel de vento: Subsônico



**Fonte:** AEROALCOOL (2017).

d) Túnel de vento de circuito fechado

Os túneis de vento de circuito fechado foram desenvolvidos para diminuir o espaço de instalação exigido para garantir a qualidade dos testes. Ele tem como

uma das principais aplicações equipamentos que exigem grande estabilidade e baixa vibração, como apresentado na Figura 10(AEROALCOOL, 2017).

**Figura 10** – Túnel de vento: Circuito fechado



**Fonte:** AEROALCOOL (2017).

Coleta de dados:

A dimensão de um túnel de vento permite a instalação de diversos acessórios como balanças aerodinâmicas, sensores de pressão e velocidade.

Aplicação:

As aplicações desse modelo são:

- a) Estudos do escoamento em torno de objetos de teste
- b) Aplicações mecânicas dos fluidos
- c) Determinações de forças aerodinâmicas
- d) Cálculo de coeficiente de arrasto

### **2.3.1 Componentes do túnel de vento**

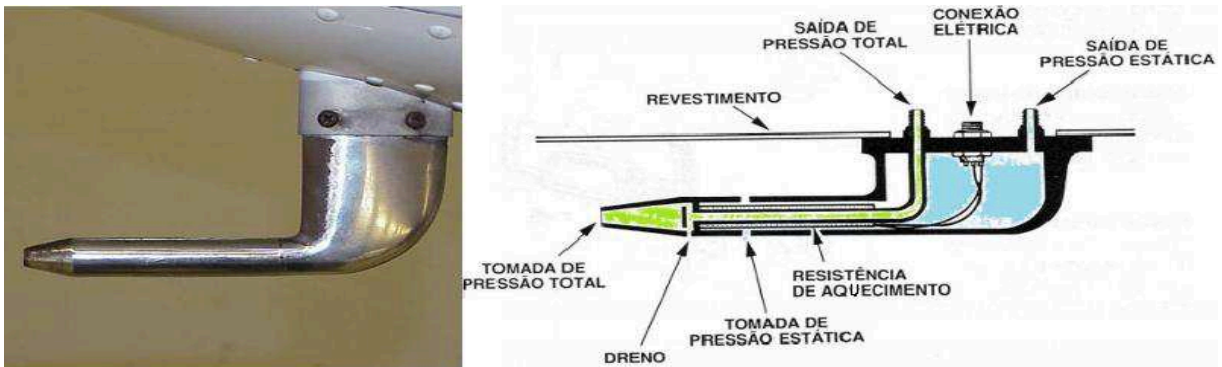
Os componentes do túnel de vento são de grande importância para uma pesquisa, pois influenciam nos resultados dela.

Alguns exemplos são:

a) Tubo de Pitot

O tubo de Pitot é usado para determinar a pressão, que assim pode se medir a velocidade dos fluidos medidos conforme na Figura 12 (MONÓLITO NIMBUS, 2009).

**Figura 11** – Tubo de Pitot



**Fonte:** MONÓLITO NIMBUS (2009).

b) Balança aerodinâmica

A balança aerodinâmica tem como função medir as forças aerodinâmicas que o modelo em estudo sofre quando é submetido à ação de fluidos como: sustentação, momento de arfagem e o arrasto (FOLLOWSCIENCE, 2016).

c) Gerador de fumaça

O gerador de fumaça tem função de melhorar a visualização da passagem do ar pelo objeto em estudo. A visualização permite verificar como os fluidos atravessam o objeto e a influencia que a forma geométrica do objeto pode causar (FOLLOWSCIENCE, 2016).

d) Hélice

A hélice tem a função de gerar a propulsão necessária para empurrar o ar para frente e é acoplada ao motor, usada para controlar as variáveis do ensaio

realizado no estudo, como a velocidade do vento, conforme mostra a figura 7 (ISSUU, 2014).

**Figura 12 – Hélice de um túnel de vento**



Fonte:ISSUU (2014).

## 2.4 Equações e variáveis necessárias

### 2.4.1 Numero de Reynolds

Para o cálculo no túnel de vento é necessário entender a equação determinante do número de Reynolds, que abrange diversas variáveis que serão utilizadas no túnel (ENGQUIMICASANTOSSP, 2013).

Sua formula é representada da seguinte maneira:

$$Re = \frac{\rho * V * D}{\mu} \quad (2)$$

Sendo que a Viscosidade cinemática é:

$$v = \frac{\mu}{\rho} \quad (3)$$

- V- velocidade média do fluido
- D - o diâmetro para o fluxo no tubo
- $\mu$  - viscosidade dinâmica do fluido
- $\rho$  - massa específica do fluido
- $\nu$  – viscosidade cinemática do fluido

#### 2.4.2 Perda de carga

A perda de carga total é calculada através da soma das perdas de pressão de cada componente do túnel de vento. Essa perda em cada um deles é obtida multiplicando o coeficiente de perda de carga local pela pressão dinâmica local, onde o índice varia para cada componente do túnel de vento (BRUNET, F, 2008, p.184).

#### 2.4.3 Energia gasta durante um esforço físico

O consumo de energia por humano adulto é em média 2000 Kcal, isso é 97 Watts, mas um atleta profissional deve consumir quatro vezes mais que isso. Essa energia é usada para manter nosso corpo em funcionamento, pois eles necessitam consumir ela para se manter em funcionamento pleno (AXPFEP, 2006).

Transformação de energia:

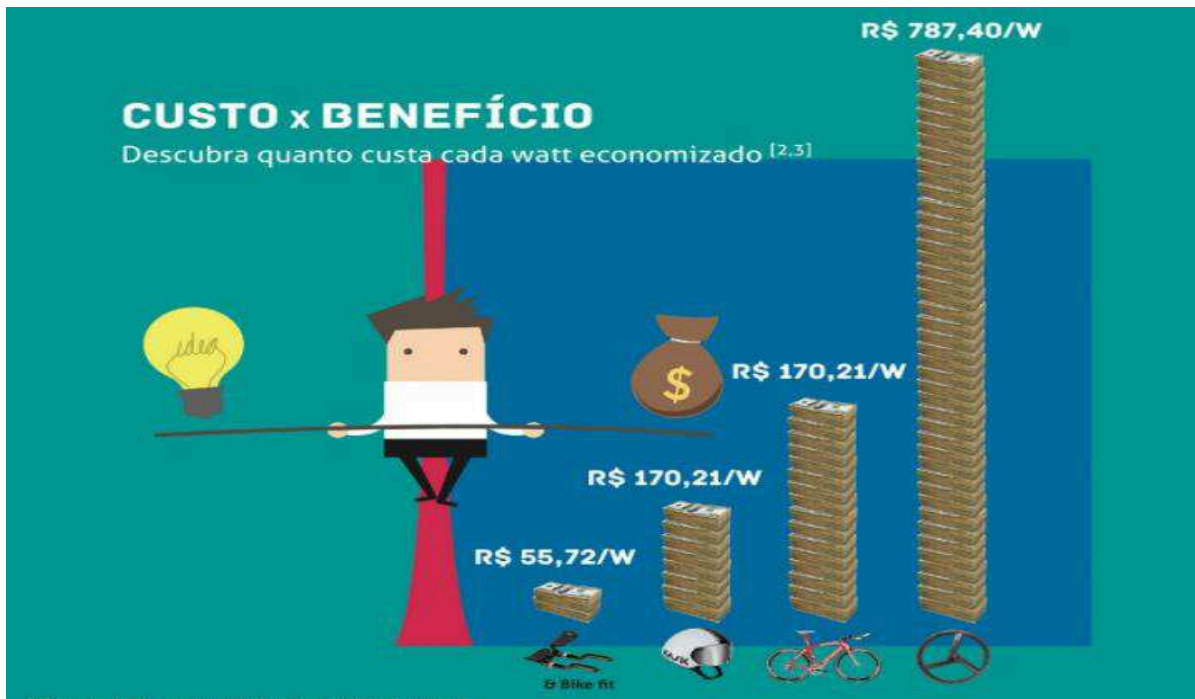
$$2000000\text{cal} * 4,18 \frac{\text{J}}{\text{cal}} = 8,360 \text{ KJ} \quad (4)$$

$$P = \frac{8360000}{24*3600\text{s}} = 97\text{W} \quad (5)$$

Uma representação do Custo x Benefício de watts economizados em relação ao dinheiro economizado, que é demonstrada na Figura 13.



**Figura 13:** Representação Custo X benefício



Fonte: FLOWSJOURNAL(2016).

#### 2.4.4 Aplicações

O estudo aerodinâmico pelo coeficiente de arrasto pode ser aplicado em diversos setores, em veículos aviões e no caso dessa pesquisa em capacetes de ciclismo, assim podemos verificar a importância do estudo desse tema, pois a sua influência é grande no desempenho deles (TIMBONET, 2017).

Alguns exemplos podem ser verificados no anexo, conforme a figura 8:

**Figura 14** – Representação de um teste de coeficiente de arrasto.



**Fonte:** Timbonet(2017).

## **2.5 Perspectiva para o futuro**

A expectativa em relação ao futuro é que os estudos a respeito do desenvolvimento de projetos aerodinâmicos devem ter uma maior importância trazendo mais benefícios e o desempenho dos atletas.

### 3 METODOLOGIA

Segundo Yin, (2003), as pesquisas exploratórias, de caráter tanto descritivo quanto casual, são as abordagens gerais de pesquisas sociais, das quais se diferem em função dos objetivos, problemas, coleta e análise de dados. Para se elaborar a fase inicial, de cunho conceitual, adotou-se a pesquisa exploratória, pois o objetivo nesta etapa era fazer um levantamento do material existente a respeito do tema, de modo que a pesquisa pudesse embasar adequadamente a busca pelos resultados. Esta proposta de pesquisa também encontrou respaldo em Cerro & Bervian (1996), pois ambos afirmam que “a pesquisa exploratória realiza descrições precisas da situação e quer descobrir as relações existentes entre os elementos componentes da mesma”. Na maioria dos experimentos analisados, os Materiais e Métodos constituíram-se em um túnel de vento horizontal, de baixa velocidade, com dispositivo de geração de fumaça densa, em filetes de fluxo laminar, para fins de visualização do fluxo aerodinâmico e de pontos de descolamento da camada-limite, bem como de origem dos vórtex de turbulência. Os dados obtidos e analisados são de testes realizados em diferentes centros de pesquisa, de caráter quantitativo, ou seja, com resultados numéricos e com especificações. O trabalho foi organizado da seguinte forma:

a) Fase exploratória - Pesquisar dados obtidos em centros de pesquisas que foram levantados sobre capacetes de ciclismo em túneis de vento.

b) Fase comparativa – Verificar dados dos capacetes de ciclismo desenvolvidos aerodinamicamente e comparar com comuns.

c) Fase de análise – Analisar os dados da comparação entre os dois capacetes e verificar a eficácia desses projetos, analisando suas vantagens em relação a consumo de energia do ciclista, tempo de realização de percursos e velocidade alcançada com o mesmo esforço realizado.

De acordo com os testes realizados no autódromo oval de Lowe, na Carolina do Norte e em um túnel de vento A2, onde foi dividido em duas etapas realizadas da seguinte forma: primeiramente um ciclista foi submetido a pedalar por 40 km/h por 10 milhas, com potência média de 278W. Os capacetes testados nessa primeira etapa foram, inicialmente, um capacete aero e o outro tradicional. A seguir o teste foi realizado no túnel de vento, agora como constante a velocidade de 40 km/h, com a

obtenção de diferentes medidas de potências médias, conforme os equipamentos utilizados. Eles foram Road Bike com capacete normal, Road Bike com capacete aero, TT Bike com capacete normal e com capacete aero. Com base nestes testes, foram obtidos os resultados que se seguem.

#### 4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Referente aos testes realizados no túnel teve-se como resultados potências médias diferentes, essas variam de acordo com o capacete e o modelo de bicicleta utilizada e assim obteve-se os seguintes resultados:

- Road Bike com capacete normal: 278,3 Watts;
- Road Bike com capacete aero: 239,5 Watts;
- TT Bike com capacete normal 229,6 Watts
- TT Bike com capacete *aero* 221,0 Watts

Ainda o estudo indicou que, no uso de bicicletas de contra-relógio e capacete aero, assumindo que o condutor esteja confortável e com bom posicionamento, isto permite que o mesmo ande, sem alteração na velocidade, com quase o mesmo esforço que realizaria em um pequeno pelotão, ainda com uma economia de 20% em relação a andar sozinho. Assim, vê-se que um bom projeto aerodinâmico em equipamentos ciclísticos, como o capacete, pode proporcionar uma redução, em média, de 30 Watts do esforço que o ciclista deve realizar, podendo utilizar tal esforço em ganho de velocidade, maximizando a eficiência do competidor. Ainda outros dados foram fornecidos pela Specialized, como a economia do tempo obtido na realização de um mesmo percurso, uma vez com um capacete Aero, outra com um capacete comum, essa economia é representada pela Tabela 2.

**Tabela 2** - Teste no túnel de vento SPECIALIZED

| TESTE NO TUNEL DE VENTO SPECIALIZED |                   |
|-------------------------------------|-------------------|
| EQUIPAMENTO UTILIZADO               | ECONOMIA DE TEMPO |
| Capacete Aero X Capacete comum      | 42 s              |

Fonte: SPECIALIZED(2009).

Esses dados provam a eficácia do modelo do capacete Aero em relação a um capacete comum, pois se obteve um ganho considerável de tempo, o que é de extrema relevância em uma competição, pois atualmente essas são decididas com diferenças de segundos, fazendo a economia do capacete Aero ser um grande diferencial para o atleta que utilizará o mesmo.

## 5 CONCLUSÃO

Conclui-se que a força de arrasto aerodinâmico é a força que mais afeta um ciclista, e com isso é extremamente importante estudar essa força para conseguir diminuí-la o máximo possível, por isso não se poupam estudos nesse assunto, onde se aliam alta tecnologia envolvida e grandes investimentos.

O capacete é um dos acessórios que mais faz diferença na performance de um ciclista, por isso houve esse estudo para entender um pouco mais sobre a total diferença que há em questão de tempo e energia gasta por um atleta, com um capacete aerodinâmico com relação a um não aerodinâmico.

Baseando-se nos resultados obtidos, tem-se que os esforços investidos na melhoria da eficiência aerodinâmica de capacetes ciclísticos podem, efetivamente, gerar retornos significativos, como cerca de quase 40 watts de economia de energia e 42 segundos de ganho nas avaliações dos capacetes normal e aero, quando usados na mesma bicicleta modelo Road Bike. Sejam em competições locais, seja competindo por prêmios milionários, como Tour de France, que teve como prêmio mais de 2 milhões de euros nos ano de 2017, o que equivale a mais de 7 milhões de reais de acordo com a cotação do dólar, os investimentos em aperfeiçoamentos aerodinâmicos são buscados intensamente pelos competidores, mobilizando diversos institutos de pesquisa e grandes universidades, os quais podem obter grandes retornos financeiros com patentes e registros de configurações aerodinâmicas, que podem ser fabricados sob licença por empresas nacionais e internacionais.

## REFERÊNCIAS

AERODINÂMICA É TUDO Disponível em: <<https://www.specialized.com/br/pt-br/aero-is-everything>> Acesso em 27/07/2017.

BALANÇA AERODINÂMICA. Disponível em: <<http://followscience.com/content/462825/projeto-de-balanca-aerodinamica-para-tunel-de-vento-didatico/>> Acesso em 23/06/2017.

BATALHA DOS CAPACETES AERO. QUAL O MELHOR DO MERCADO? Disponível em: <<http://www.praquempedala.com.br/blog/video-batalha-dos-capacetes-aero-qual-o-melhor-do-mercado/>> Acesso em 27/07/2017.

BRUNET, F, Mecânica dos fluidos 2º edição, São Paulo. Editora Eugenia Pessoti, 2008.

CAPACETES AERODINAMICOS: NOVAS TENDÊNCIAS E UM VELHA PERGUNTA. Disponível em: <<http://www.mundotri.com.br/2014/03/capacetes-aerodinamicos-novas-tendencias-e-uma-velha-pergunta-vale-a-pena/>> Acesso em 22/08/2017.

CONSUMO DE ENERGIA NO CORPO HUMANO Disponível em: <<http://axpfep1.if.usp.br/~otaviano/>> Acesso em: 27/07/2017.

DETERMINAÇÃO DO COEFICIENTE DE ARRASTO AERODINÂMICO Disponível em: <<https://www.scienciaplena.org.br/sp/article/view/1395>> Acesso em 27/07/2017.

FLAWS ENDURANCE JOURNAL, 13 de Julho de 2016. Disponível em: <<http://flowsjournal.com/JOURNAL/story/quanto-custa-ser-aero/>>. Acesso em 27/07/2017



ISSU, TÚNEIS DE VENTO. Disponível em:

<[https://issuu.com/quasaircraftlsa/docs/apresenta\\_o\\_tunel\\_de\\_vento\\_sub\\_s\\_](https://issuu.com/quasaircraftlsa/docs/apresenta_o_tunel_de_vento_sub_s_)> Acesso em 27/07/2017.

TUBO DE PITOT E O ACIDENTE DA AIR FRANCE Disponível em:

<<https://www.monolitonimbus.com.br/tubo-de-pitot-e-acidente-air-france>>  
Acesso em 2/05/2017.

VISCOSIDADE: DINÂMICA E CINEMÁTICA. Disponível em:

<<http://www.engquimicasantosp.com.br/2015/04/viscosidade-dinamica-e-cinematica.html>> Acesso em 27/07/2017.