

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO NORTE – UFRN
CENTRO DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA
MESTRADO EM ENGENHARIA MECÂNICA

**ANÁLISE QUALI-QUANTITATIVA DO DESLOCAMENTO DA CAMADA-LIMITE
EM CARROCERIAS VEICULARES**

Dissertação submetida à

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO NORTE
como parte dos requisitos para a obtenção do grau de

MESTRE EM ENGENHARIA MECÂNICA

ELMO THIAGO LINS CÖURAS FORD

PROF. JOSÉ UBIRAGI DE LIMA MENDES, D.Sc.

Natal, Março de 2008

Livros Grátis

<http://www.livrosgratis.com.br>

Milhares de livros grátis para download.

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO NORTE - UFRN
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA

**ANÁLISE QUALI-QUANTITATIVA DO DESLOCAMENTO DA CAMADA-LIMITE
EM CARROCERIAS VEICULARES**

ELMO THIAGO LINS CÖURAS FORD

Esta dissertação foi julgada adequada para a obtenção do título de

MESTRE EM ENGENHARIA MECÂNICA

sendo aprovada em sua forma final.

PROF. JOSÉ UBIRAGI DE LIMA MENDES, D.Sc. – Orientador

BANCA EXAMINADORA

PROF. CAUBÍ FERREIRA DE SOUZA JÚNIOR, D.Sc

PROF. LUIZ GUILHERME MEIRA DE SOUZA, D.Sc.

PROF. JOSÉ UBIRAGI DE LIMA MENDES, D.Sc.

**Dedico este trabalho a toda
minha família. Em especial aos
meus pais e minha noiva que me
deram o maior incentivo para a
realização deste sonho.**

AGRADECIMENTOS

A meus amigos(as) Fernanda, Natan, Aroldo, Reginaldo, Aldo, Adauto, Macilon e a outros não tão lembrados agora, que me incentivaram...

A Secretária Marisa pela paciência e dedicação dispensadas aos mestrandos.

Ao professor Dr. José Ubiragi de Lima Mendes, pela atenção e orientação para elaboração deste trabalho.

Ao Professor Dr. Luiz Guilherme Meira de Souza, que me ajudou e incentivou bastante a superar todas as adversidades.

Ao Professor Dr. Caubí Ferreira de Souza Júnior, que contribuiu para a melhoria do trabalho.

A todos do Curso de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica da Universidade Federal do Rio Grande do Norte - UFRN, pela compreensão nos momentos em que necessitei vossa ajuda.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS.....	vii
LISTA DE TABELAS.....	xiv
RESUMO.....	xvi
ABSTRACT.....	xvii
1. INTRODUÇÃO.....	1
1.1. APRESENTAÇÃO DO TRABALHO.....	1
1.2. OBJETIVOS.....	2
1.2.1. Objetivo Geral.....	2
1.2.2. Objetivos Específicos.....	2
2. ESTADO DA ARTE.....	3
2.1. HISTÓRICO DO ESTUDO AERODINÂMICO.....	4
2.1.1. Camada-limite.....	5
2.1.2 Resistência Aerodinâmica.....	5
2.2. DESPRENDIMENTO DA CAMADA-LIMITE E TURBULÊNCIA.....	6
2.3. CÁLCULO DA RESISTÊNCIA AERODINÂMICA.....	8
2.3.1. Área da seção transversal.....	9
2.3.2. Pressão dinâmica.....	9
2.3.3. Coeficiente de resistência aerodinâmica.....	11
2.4. PRINCÍPIOS DE CARROCERIAS AERODINÂMICAS.....	13
2.5. FORMAS DE BAIXA RESISTÊNCIA AERODINÂMICA.....	14
2.6. PRINCÍPIO DE JARAY (FORMA J).....	17
2.7. PRINCÍPIO DE KAMM (FORMA K).....	18
2.8. ESTUDOS DE LAY.....	19

2.8.1. Influência do arredondamento das arestas laterais.....	21
2.9. MEIOS DE DIMINUIR A RESISTÊNCIA DO AR.....	21
2.9.1. Sucção da camada limite.....	21
2.9.2. Palhetas direcionais.....	21
2.9.3. Cantos auxiliares.....	22
2.10. DISTRIBUIÇÃO DE PRESSÃO.....	23
2.11. TEORIA DAS FORÇAS DE ARRASTO E SUSTENTAÇÃO.....	24
2.11.1. Forças de arrasto.....	24
2.11.2. Forças de sustentação.....	24
2.12. TIPOS DE TÚNEIS AERODINÂMICOS.....	31
2.13. CONSIDERAÇÕES FINAIS DA FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	34
3. MATERIAIS E MÉTODO.....	36
3.1. TÚNEL AERODINÂMICO.....	36
3.2. PROJETO DOS MODELOS EXPERIMENTADOS.....	42
3.3. DISTRIBUIÇÃO DE PRESSÃO NAS SUPERFÍCIES DOS MODELOS.....	46
3.4. CONFIGURAÇÃO DA MESA AUTOMOBILÍSTICA PARA SIMULAÇÃO DO MOVIMENTO DO PISO.....	54
3.5. MONITORAMENTO E DISTRIBUIÇÃO DAS PRESSÕES E VELOCIDADES.....	55
3.6. INCERTEZAS EXPERIMENTAIS.....	57
3.7. CONDIÇÕES DOS ENSAIOS.....	57
4. RESULTADOS E DISCUSÃO.....	59
4.1. RESULTADOS COM O MODELO FAMILIAR (UTILITÁRIO).....	59
4.2. RESULTADOS COM O MODELO ESPORTIVO.....	67
4.3. COMPARATIVO DOS RESULTADOS DE CADA MODELO SEPARADAMENTE..	74
4.3.1. Comparativo do modelo familiar (Utilitário).....	74
4.3.2. Comparativo do modelo esportivo.....	77

4.4. COMPARATIVO DO MODELO FAMILIAR X MODELO ESPORTIVO.....	80
4.5. DESEMPENHO DO TÚNEL AERODINÂMICO.....	95
4.6. CUSTOS PARA CONSTRUÇÃO DO TÚNEL AERODINÂMICO.....	96
5. CONCLUSÕES.....	98
REFERÊNCIAS.....	102
APÊNDICE A.....	105
ANEXO 1.....	109
ANEXO 2.....	101

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1** – escoamento sobre uma placa plana e um fusos.
- Figura 2** – escoamento do ar em torno de um corpo.
- Figura 3** – Formação da esteira em um corpo com variação brusca de seção.
- Figura 4** – Distribuição de pressão em um corpo.
- Figura 5** – Locais onde a pressão dinâmica é predominante.
- Figura 6** – Variação do coeficiente de arrasto em função do número de Reynolds.
- Figura 7** – Fusos aerodinâmico.
- Figura 8** – Efeito do solo no escoamento do ar sobre um fusos.
- Figura 9** – Efeito da aproximação do solo no C_x de um fusos.
- Figura 10** – Semi-fusos, com fluxo simétrico imaginário.
- Figura 11** – Fusos assimétrico.
- Figura 12** – Formas de carrocerias propostas por Jaray.
- Figura 13** – Forma de Jaray modificada.
- Figura 14** – Área de turbulência para as formas de Kamm e Jaray encurtada.
- Figura 15** – Comparação do C_x entre as formas J e K, para diferentes comprimentos.
- Figura 16** – Modelo usado por Lay em seus estudos.
- Figura 17** – Meios de reduzir a resistência do ar.
- Figura 18** – Utilização de cantos auxiliares em locais de deslocamento da camada limite.
- Figura 19** – Comparação da distribuição de pressão em dois tipos de dianteira.
- Figura 20** – Características básicas de um aerofólio.
- Figura 21** – Geometria de um aerofólio de arco circular.
- Figura 22** – Variação de C_x com o C_z .
- Figura 23** – Linha média de um veículo convencional.

- Figura 24** – Ângulo de ataque efetivo para as formas de Jaray (J) e a Kamm (K).
- Figura 25** – Uso de traseira alta para redução de forças de sustentação.
- Figura 26** – Uso de spoiler na dianteira do veículo para redução de forças de sustentação.
- Figura 27** – Alteração da carroceria de forma a reduzir a sustentação na dianteira do veículo.
- Figura 28** – Forma geometria provável da carroceria do futuro.
- Figura 29** – Túnel aerodinâmico do tipo circuito fechado.
- Figura 30** – Túnel aerodinâmico do tipo circuito aberto.
- Figura 31** – Túnel aerodinâmico do tipo soprador com circuito aberto.
- Figura 32** – Túnel aerodinâmico do tipo exaustor com circuito aberto.
- Figura 33** – Túnel aerodinâmico do tipo plano.
- Figura 34** – Túnel aerodinâmico com difusor.
- Figura 35** – Molde para o difusor.
- Figura 36** – Primeira peça construída.
- Figura 37** – Montagem da contração.
- Figura 38** – Difusor armado.
- Figura 39** – Construção da seção de ensaios.
- Figura 40** – Seção de ensaios construída.
- Figura 41** – Seção de com tela de uniformização.
- Figura 42** – Seção de uniformização.
- Figura 43** – Vista interna da peça de ângulo reto do difusor.
- Figura 44** – Peça de ângulo reto do difusor.
- Figura 45** – Contração do difusor.
- Figura 46** – Vista interna da contração do difusor.
- Figura 47** – Peças para montagem do túnel.
- Figura 48** – Motor elétrico.
- Figura 49** – Ventilador Centrífugo.

Figura 50 – Coifa anti-vibrações.

Figura 51 – Vista interna do túnel.

Figura 52 – Túnel semi-montado.

Figura 53 – Caixa de uniformização do tipo colméia.

Figura 54 – Modelo esquemático do túnel aerodinâmico.

Figura 55 – Túnel Aerodinâmico instalado.

Figura 56 – Modelo familiar.

Figura 57 – Vista dianteira do modelo familiar.

Figura 58 – Vista traseira do modelo familiar.

Figura 59 – Modelo familiar em ensaio no túnel.

Figura 60 – Modelo esportivo.

Figura 61 – Vista dianteira do modelo esportivo.

Figura 62 – Vista traseira do modelo esportivo.

Figura 63 – Modelo esportivo em ensaio no túnel.

Figura 64 – Modelos familiar e esportivo respectivamente.

Figura 65 – Tomadas de pressão da superfície superior do modelo familiar.

Figura 66 – Vista das tomadas de pressão da superfície superior do modelo familiar.

Figura 67 – Detalhe das tomadas de pressão da superfície superior do modelo familiar.

Figura 68 – Vista das tomadas de pressão da dianteira do modelo familiar.

Figura 69 – Detalhe das tomadas de pressões da dianteira do modelo familiar.

Figura 70 – Tomadas de pressão da superfície inferior do modelo familiar.

Figura 71 – Detalhe das tomadas de pressão da parte dianteira da superfície inferior do modelo familiar.

Figura 72 – Detalhe das tomadas de pressão da parte traseira da superfície inferior do modelo familiar.

Figura 73 – Tomadas de pressão da superfície superior do modelo esportivo.

Figura 74 – Vista das tomadas de pressão da superfície superior do modelo esportivo.

Figura 75 – Detalhe das tomadas de pressão da superfície superior do modelo esportivo.

Figura 76 – Vista das tomadas de pressão da dianteira do modelo esportivo.

Figura 77 – Detalhe das tomadas de pressões da dianteira do modelo esportivo.

Figura 78 – Tomadas de pressão da superfície inferior do modelo esportivo.

Figura 79 – Detalhe das tomadas de pressão da parte dianteira da superfície inferior do modelo esportivo.

Figura 80 – Detalhe das tomadas de pressão da parte traseira da superfície inferior do modelo esportivo.

Figura 81 – Modelo familiar em processo de ensaio.

Figura 82 – Modelo esportivo em processo de ensaio.

Figura 83 – Retirada do cobre para utilização dos tubo plásticos.

Figura 84 – Tubo plásticos utilizados nas tomadas de pressão no modelo esportivo.

Figura 85 – Tubo plásticos utilizados nas tomadas de pressão no modelo familiar.

Figura 86 – Mesa simuladora do piso.

Figura 87 – Mesa simuladora do piso instalada no túnel.

Figura 88 – Micromanômetro digital usado no experimento.

Figura 89 – Tubo de “Pitot” usado no experimento.

Figura 90 – Curva da pressão ao longo da parte superior da carroceria do modelo familiar.

Figura 91 – Curva da pressão ao longo da parte inferior da carroceria do modelo familiar.

Figura 92 – Curva da pressão ao longo da parte superior da carroceria do modelo familiar.

Figura 93 – Curva da pressão ao longo da parte inferior da carroceria do modelo familiar.

Figura 94 – Curva da pressão ao longo da parte superior da carroceria do modelo familiar.

Figura 95 – Curva da pressão ao longo da parte inferior da carroceria do modelo familiar.

Figura 96 – Curva da pressão ao longo da parte superior da carroceria do modelo familiar.

Figura 97. Curva da pressão ao longo da parte inferior da carroceria do modelo familiar.

Figura 98 – Curva da pressão ao longo da parte superior da carroceria do modelo familiar.

Figura 99 – Curva da pressão ao longo da parte inferior da carroceria do modelo familiar.

Figura 100 – Curva da pressão ao longo da parte superior da carroceria do modelo esportivo.

Figura 101 – Curva da pressão ao longo da parte inferior da carroceria do modelo esportivo.

Figura 102 – Curva da pressão ao longo da parte superior da carroceria do modelo esportivo.

Figura 103 – Curva da pressão ao longo da parte inferior da carroceria do modelo esportivo.

Figura 104 – Curva da pressão ao longo da parte superior da carroceria do modelo esportivo.

Figura 105 – Curva da pressão ao longo da parte inferior da carroceria do modelo esportivo.

Figura 106 – Curva da pressão ao longo da parte superior da carroceria do modelo esportivo.

Figura 107 – Curva da pressão ao longo da parte inferior da carroceria do modelo esportivo.

Figura 108 – Curva da pressão ao longo da parte superior da carroceria do modelo esportivo.

Figura 109 – Curva da pressão ao longo da parte inferior da carroceria do modelo esportivo.

Figura 110 – Curvas das pressões ao longo da parte superior da carroceria do modelo familiar.

Figura 111 – Curva média da pressão ao longo da parte superior da carroceria do modelo familiar.

Figura 112 – Curvas das pressões ao longo da parte inferior da carroceria do modelo familiar.

Figura 113 – Curva média da pressão ao longo da parte inferior da carroceria do modelo familiar.

Figura 114 – Curvas das pressões ao longo da parte superior da carroceria do modelo esportivo.

Figura 115 – Curva média da pressão ao longo da parte superior da carroceria do modelo esportivo.

Figura 116 – Curvas das pressões ao longo da parte inferior da carroceria do modelo esportivo.

Figura 117 – Curva média da pressão ao longo da parte inferior da carroceria do modelo esportivo.

Figura 118 – Comparativo das curvas médias da pressão ao longo da parte superior da carroceria dos modelos familiar x esportivo.

Figura 119 – Comparativo das curvas médias da pressão ao longo da parte inferior da carroceria dos modelos familiar x esportivo.

Figura 120 – Comparativo entre o ponto 1 dos modelos familiar x esportivo.

Figura 121 – Borda de ataque no modelo esportivo.

Figura 122 – Perfil do modelo esportivo.

Figura 123 – Borda de ataque do modelo familiar.

Figura 124 – Perfil do modelo familiar.

Figura 125 – Comparativo entre o ponto 2 dos modelos familiar x esportivo.

Figura 126 – Ponto 2 do modelo familiar.

Figura 127 – Ponto 2 do modelo esportivo.

Figura 128 – Região de pressão do ponto 2 do modelo esportivo.

Figura 129 – Comparativo entre o ponto 3 dos modelos familiar x esportivo.

Figura 130 – Ponto 3 do modelo familiar e região do pára-brisas.

Figura 131 – Ponto 3 do modelo esportivo e região do pára-brisas.

Figura 132 – Comparativo entre o ponto 4 dos modelos familiar x esportivo.

Figura 133 – Ponto 4 do modelo familiar, região de pressão máxima.

Figura 134 – Ponto 4 do modelo esportivo região de pressão máxima.

Figura 135 – Comparativo entre o ponto 5 dos modelos familiar x esportivo.

Figura 136 – Ponto 5 do modelo familiar.

Figura 137 – Ponto 5 do modelo esportivo.

Figura 138 – Comparativo entre o ponto 6 dos modelos familiar x esportivo.

Figura 139 – Pontos 6, 7, 8 e 9 do modelo familiar, uniformização da carroceria.

Figura 140 – Ponto 6 do modelo esportivo, com início de quebra de seção pela região do vidro traseiro.

Figura 141 – Comparativo entre os pontos 7, 8 e 9 dos modelos familiar x esportivo.

Figura 142 – Pontos 7, 8 e 9 do modelo esportivo, uniformização da carroceria e início do descolamento da camada-limite.

Figura 143 – Comparativo entre o ponto 10 dos modelos familiar x esportivo.

Figura 144. Ponto 10 do modelo esportivo.

Figura 145 – Ponto 10 do modelo esportivo, visualização do “vão-livre”.

Figura 146 – Ponto 10 do modelo familiar.

Figura 147 – Ponto 10 do modelo familiar, visualização do “vão-livre”.

Figura 148 – Comparativo entre o ponto 11 dos modelos familiar x esportivo.

Figura 149 – Ponto 11 do modelo familiar.

Figura 150 – Ponto 11 do modelo esportivo.

Figura 151 – Comparativo entre os pontos 12 e 13 dos modelos familiar x esportivo.

Figura 152 – Pontos 12 e 13 do modelo esportivo.

Figura 153 – Pontos 12 e 13 do modelo familiar.

Figura 154 – Ângulo de saída do modelo esportivo.

Figura 155 – Ângulo de saída do modelo familiar.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Estudo de Lay

Tabela 2 – Valores de “ α ”, para o calculo do ângulo de ataque.

Tabela 3 – Dimensões do túnel aerodinâmico.

Tabela 4 – Dimensões do Modelo Familiar em escala 1:18.

Tabela 5 – Dimensões do Modelo Esportivo em escala 1:18.

Tabela 6 – Condições de ensaios do modelo familiar.

Tabela 7 – Condições de ensaios do modelo familiar.

Tabela 8 – Valores correspondentes a medição 1 da superfície superior do modelo familiar.

Tabela 9 – Valores correspondentes a medição 1 da superfície inferior do modelo familiar.

Tabela 10 – Valores correspondentes a medição 1 da superfície inferior do modelo familiar.

Tabela 11 – Valores correspondentes a medição 2 da superfície inferior do modelo familiar.

Tabela 12 – Valores correspondentes a medição 3 da superfície superior do modelo familiar.

Tabela 13 – Valores correspondentes a medição 3 da superfície inferior do modelo familiar.

Tabela 14 – Valores correspondentes a medição 4 da superfície superior do modelo familiar.

Tabela 15 – Valores correspondentes a medição 4 da superfície inferior do modelo familiar.

Tabela 16 – Valores correspondentes a medição 5 da superfície superior do modelo familiar.

Tabela 17 – Valores correspondentes a medição 5 da superfície inferior do modelo familiar.

Tabela 18 – Valores correspondentes a medição 1 da superfície superior do modelo esportivo.

Tabela 19 – Valores correspondentes a medição 1 da superfície inferior do modelo esportivo.

Tabela 20 – Valores correspondentes a medição 2 da superfície superior do modelo esportivo.

Tabela 21 – Valores correspondentes a medição 2 da superfície inferior do modelo esportivo.

Tabela 22 – Valores correspondentes a medição 3 da superfície superior do modelo esportivo.

Tabela 23 – Valores correspondentes a medição 3 da superfície inferior do modelo esportivo.

Tabela 24 – Valores correspondentes a medição 4 da superfície superior do modelo.

Tabela 25 – Valores correspondentes a medição 4 da superfície inferior do modelo.

Tabela 26 – Valores correspondentes a medição 5 da superfície superior do modelo esportivo.

Tabela 27 – Valores correspondentes a medição 5 da superfície inferior do modelo esportivo.

Tabela 28 – Média dos valores correspondentes à superfície superior do modelo familiar.

Tabela 29 – Média dos valores correspondentes à superfície inferior do modelo familiar.

Tabela 30 – Média dos valores correspondentes à superfície superior do modelo esportivo.

Tabela 31 – Média dos valores correspondentes à superfície inferior do modelo esportivo.

Tabela 32 – Custos de construção do túnel aerodinâmico.

RESUMO

CÖURAS FORD, ELMO THIAGO LINS (2008). *Análise Quali-Quantitativa do Deslocamento da Camada-Limite em Carrocerias Veiculares*. Natal, 2008. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte – UFRN.

Dois dos principais objetivos no estudo da aerodinâmica de veículos é a segurança e o desempenho. Esses objetivos podem ser alcançados através do desenvolvimento de dispositivos que modifiquem o escoamento de ar ao redor do veículo e também através de alterações da forma das superfícies externas. O perfil mais baixo da frente do veículo, por exemplo, tem grande influência sobre o coeficiente de penetração aerodinâmica (C_x) e posteriormente sobre grande parte da distribuição de pressão ao longo da superfície do veículo. O objetivo deste trabalho foi de analisar o comportamento aerodinâmico que incide sobre 2 (dois) tipos de carrocerias de veículos, baseado em experimentação em túnel aerodinâmico, visando determinar a eficiência aerodinâmica de cada uma delas. Foram comparados dois modelos de veículos, sendo um deles com configuração familiar, muito comum nas grandes cidades e outro modelo com configuração esportiva mais voltado para o desempenho, ambos com escala 1:18. Para a realização do experimento foi construído um túnel aerodinâmico do tipo soprador com circuito aberto, onde foram analisadas as distribuições de pressão nas superfícies inferiores e superiores da carroceria dos modelos e o deslocamento da camada-limite. Tomando-se por base toda a teórica deste trabalho, com relação à aerodinâmica de carroceria, considerou-se nesta dissertação que essa filosofia de pesquisa é capaz de gerar reflexos positivos, que podem tornar os veículos cada vez mais eficientes e influenciar positivamente nos níveis de segurança e desempenho.

Palavras Chaves: Aerodinâmica, camada-limite, escoamento de fluido, carroceria veicular.

ABSTRACT

Two of the objective principal in the study of the aerodynamics of vehicles are the safety and the acting. Those objectives can be reached through the development of devices modify the drainage of air about of the vehicle and also through alterations in the way of the external surfaces. The front lowest profile of the vehicle, for instance, has great influence on the coefficient of aerodynamic penetration (C_x) and later on great part of the pressure distribution along the surface of the vehicle. The objective of this work was of analyzing the aerodynamic behavior that it happens on some types the trucks of vehicles, based on experimentation in aerodynamic tunnel, seeking to determine the aerodynamic efficiency of each one of them. Two models of vehicles were compared, belonging one to them with family configuration, very common in the great cities and other model with sporting configuration more gone back to the acting, both with scale 1:18. For the accomplishment of the experiment an aerodynamic tunnel of the type open circuit was built, where the pressure distributions were analyzed in the inferior and superior surfaces of the drag of the model. Being taken by base all the theoretical of this work, with relationship to the aerodynamics of vehicle drag, considered in this dissertation that that research philosophy is capable to generate positive reflexes, that can turn the vehicles more and more efficient and to influence positively in safety's levels and acting.

Keywords: Aerodynamics, Flow, Vehicle Drag.

1. INTRODUÇÃO

1.1. Apresentação do trabalho

O setor automobilístico tem se destacado com o desenvolvimento de projetos, mostrando sua capacidade de inovação e seu alto nível de tecnologia implementada, tornando-se um dos segmentos mais importantes da economia mundial.

No decorrer dos anos, com desenvolvimento dos veículos foram atingidas velocidades cada vez maiores e produzindo efeitos aerodinâmicos não mais possíveis de serem ignorados, e, assim progressivamente cresceu a importância do estudo da aerodinâmica aplicada aos veículos terrestres.

Diante do caráter relevante do estudo, uma vez que o tema é discutido mundialmente não apenas no ramo da aviação, mas também no ramo automobilístico como fator de suma importância e que se reflete diretamente no desempenho do automóvel. A melhoria de um projeto aerodinâmico torna-se imprescindível. Esta importância é mais significativa se considerarmos que, no Brasil, quase todo transporte é realizado por via terrestre.

Baseando-se nos aspectos citados, esta dissertação procura demonstrar os diversos fatores que incidem sobre o comportamento aerodinâmico em carrocerias de veículos, analisando o comportamento aerodinâmico que incide sobre 2 (dois) tipos de carrocerias, sendo uma delas com configuração familiar, muito comum nas grandes cidades e outro modelo com configuração esportiva mais voltado para o desempenho, ambos modelos com escala 1:18.

Para a realização do experimento foi construído um túnel aerodinâmico do tipo soprador de circuito aberto, onde foram empregadas inovações como a utilização de coifa anti-vibrações entre o motor/ventilador centrifugo e o restante do túnel, também foi construída uma colméia de uniformização do fluxo de ar, afim de deixa o fluxo mais laminar.

Dessa forma foi possível analisar as distribuições de pressão nas superfícies inferiores e superiores da carroceria dos modelos e o deslocamento da camada-limite, afim de determinar a eficiência aerodinâmica de cada um dos modelos, apontando os ponto positivos, negativo e possíveis correções.

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo Geral

Analisar o comportamento aerodinâmico que incide sobre 2 (dois) modelos de carrocerias de veículos, baseado em experimentação em túnel aerodinâmico, visando determinar a eficiência aerodinâmica de cada uma delas.

1.2.2. Objetivos Específicos

- Projetar e construir um túnel aerodinâmico para executar os experimentos.
- Demonstrar algumas características aerodinâmicas de automóveis de diferentes tipos de carrocerias.
- Analisar o deslocamento e descolamento da camada-limite de 2 (dois) diferentes tipos de carrocerias.
- Ressaltar a importância da aerodinâmica em projetos de carroceria de veículos.

2. ESTADO DA ARTE

Este capítulo apresenta uma revisão bibliográfica sobre o tema estudado por meio da qual se buscou demonstrar as inúmeras definições, abordagens sobre aerodinâmica de carroceria de veículos, os métodos e fatores utilizados para realização de análises do escoamento. Na presente fundamentação teórica, procurou-se, também, definir o ambiente no qual está inserida a pesquisa e os diversos elementos influenciadores para que a mesma alcance êxito.

A primeira seção demonstra um histórico sobre aerodinâmica; defini-se camada-limite; e retrata as maneiras como ocorre a resistência aerodinâmica, considerando a resistência de forma, à resistência por atrito e as perdas por correntes de ar. Na segunda seção trata-se do desprendimento da camada-limite. Na terceira seção, estuda-se o cálculo da resistência aerodinâmica, considerado para tal a área da seção transversal, a pressão dinâmica e o coeficiente de resistência aerodinâmica. Na quarta seção, analisa-se os princípios de carrocerias aerodinâmicas. Na quinta seção, as formas de baixa resistência aerodinâmica. A sexta seção consiste de um estudo princípio de Jaray (Forma J). Na sétima seção, Princípio de Kamm (Forma K). Na oitava seção, Estudo de Lay. Na nona seção, estuda-se meios de diminuir a resistência do ar, considerando para isso, a sucção da camada-limite, palhetas direcionais e cantos auxiliares. Na décima seção, analisa-se a distribuição de pressão. Na décima primeira seção, forças de arrasto e sustentação. Na décima segunda seção, apresenta as considerações finais.

2.1. Histórico do estudo aerodinâmico

Antes da 1ª Guerra Mundial (1914), a aerodinâmica dos automóveis teve apenas uma base empírica, e a sua única finalidade era a da redução da resistência oferecida pelo ar, permitindo maiores velocidades com as pequenas potências disponíveis na época.

Mais tarde, após a verificação da influência da velocidade relativa do ar sobre a estabilidade do veículo e, conseqüentemente, sobre a segurança dos ocupantes, iniciaram-se estudos mais científicos. Essas pesquisas começaram em 1920 com Rumpler e Jarray; consistiam na análise matemática do escoamento do ar, determinação de novos desenhos para veículos, e o ensaio de modelos reduzidos em túnel aerodinâmico.

Inicialmente foram utilizados os túneis disponíveis da aviação, mas depois foram construídos túneis especiais para o ensaio de vários tipos de veículos terrestres: automóveis, ônibus, caminhões, motocicletas, etc. (CANALE, 1989)

Os grandes estabelecimentos de pesquisas e de ensino especializados em automóveis, e as grandes fábricas da indústria automobilística, dispõem atualmente de túneis aerodinâmicos capazes de realizar ensaios com veículos em tamanho real. Entre estes estabelecimentos se situam General Motors, Ford Motor, Chrysler, Mercedes-Benz, T. H. Stuttgart, etc. Entre os pesquisadores destacaram-se Pumplner, Jaray, K. Schoeler, W. Kamm, F. Porsche, na Alemanha; Dubonne, Andreau e Laubordette, na França; Ferrari, na Itália; Ledvinka na Rep. Tcheca; d'Eyston, na Inglaterra; R. Heal e C. Reynolds nos E.U.A.

Atualmente, o consumo de combustível e a emissão de poluentes no ar atmosférico são preocupações constantes e a cada novo projeto, ou mesmo em modificações nos modelos já existentes, tornam-se fatores indispensáveis à análise das características aerodinâmicas.

As forças aerodinâmicas produzidas sobre os veículos provocam arrasto, sustentação, forças laterais e momentos. Estas forças resultam de duas fontes: distribuição de pressão e fricção viscosa. A resistência ao rolamento dos pneus exerce uma parcela menor na geração do coeficiente de arrasto. O arrasto aerodinâmico é um dos maiores interesses na elaboração de um projeto.

White (2002) mostra que um caminhão, trafegando a uma velocidade de 89 km/h, com um defletor aerodinâmico instalado no alto da cabine pode-se obter uma redução

de arrasto em torno de 20%. O ângulo do defletor pode ser ajustado para conduzir o escoamento suavemente para o topo e em torno das laterais do compartimento de carga, resultando em uma redução na resistência total do veículo de cerca de 10%, reduzindo os custos com o combustível em grande parte pela resistência gerada pelos componentes mecânicos do veículo como, por exemplo, a resistência à tração e à aceleração do veículo.

2.1.1. Camada-limite

A camada de fluido em um escoamento real, próxima a uma superfície sólida e que tem uma velocidade relativa à fronteira por tensões de cisalhamento é denominada camada-limite. As camadas-limites podem ser laminares ou turbulentas, dependendo em geral de seu comprimento, da velocidade do fluido em sua vizinhança e da rugosidade da superfície sólida.

2.1.2 Resistência Aerodinâmica

Quando um corpo move-se e, o fluido sofre uma resistência ao seu deslocamento, pela presença deste. A resistência provém de três fontes distintas, que são:

Resistência de Forma: Ocorre devido a geometria do corpo. Um corpo, ao se deslocar no ar, produz um turbilhonamento na sua parte posterior. Esse turbilhonamento depende especialmente da forma do corpo e é tanto maior quanto maior a velocidade de deslocamento. Na Figura 1 estão representados os fluxos em torno de uma placa plana e de um fusão, sendo que na Figura 1a e Figura 1c, o fluxo é de baixa velocidade e na Figura 1b e Figura 1d o fluxo é de grande velocidade.

Apenas em baixa velocidade a turbulência não ocorre de forma tão significativa, como pode ser visualizado nas Figuras 1a; 1b; 1c e 1d. Dependendo da forma do corpo é possível evitar o deslocamento da camada-limite, o que impede a formação de turbulência, até valores de velocidade bastante elevados. Porém a partir de uma determinada velocidade, que depende da pressão e temperatura do meio, a ocorrência da turbulência é

inevitável. Assim é correto afirmar que quanto maior a área transversal em que ocorre turbulência maior é a resistência aerodinâmica.

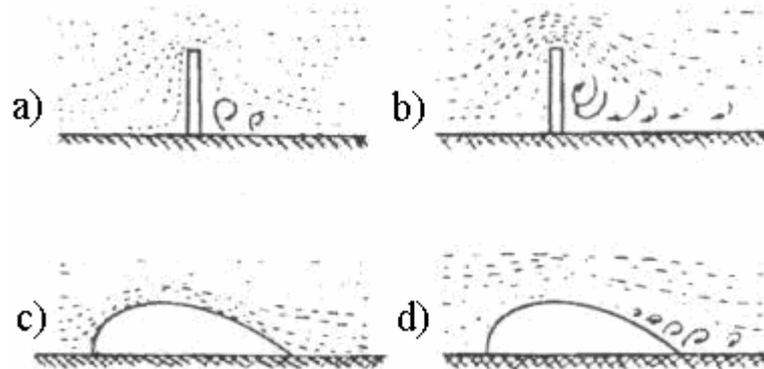


Figura 1. Escoamento sobre uma placa plana e um fusô (NICOLAZZI, 2001).

Resistência de atrito: Ocorre devido à viscosidade, e causa perdas por atrito do ar com a superfície externa do corpo. A resistência de atrito do ar com a superfície do veículo, é relativamente pequena. Apenas em forma bastante aerodinâmicas é que o atrito do ar passa a ser sensível. Nesses casos, como em aviões ou veículos para recordes de velocidade, o acabamento superficial é de suma importância, exigindo-se assim uma superfície polida, pois a existência de rugosidades na superfície de atrito com o ar reduz a velocidade máxima do veículo.

Perdas por correntes de ar: Ocorre devido ao ar que penetra no veículo, para refrigeração do motor e ventilação. O ar perde parte de sua velocidade ao entrar no veículo e, assim, ao sair deve ser acelerado, consumindo potência do veículo. As perdas por efeito de circulação do ar dentro do veículo, seja no motor ou no habitáculo, contribuem com 1% a 10% da resistência total, dependendo do veículo. (NICOLAZZI, 2001).

2.2. Desprendimento da camada-limite e turbulência

O deslocamento da camada-limite está intimamente ligado com a geometria do corpo que atravessa um fluido. Para um melhor entendimento do fenômeno é necessária uma melhor descrição do mecanismo do desprendimento da camada limite, como a que segue. Na

Figura 2, o ar passa de A para B adquire maior velocidade, pois diminui a seção de fluxo. Com o aumento da velocidade, a pressão estática do ar diminui e assim, neste trecho, o ar flui sem qualquer problema, pois vai de uma zona de alta pressão para uma zona de baixa pressão. O problema agora é no trecho BD, no qual o fluido começa a deixar o veículo. Devido a aceleração sofrida no primeiro trecho as moléculas da camada limite também ganham energia, devido à viscosidade do fluido.

No entanto, na parte posterior do corpo há um aumento na seção de fluxo de ar e, assim, uma redução da velocidade. Esta redução de velocidade produz uma desaceleração da camada-limite, ou seja, um aumento na pressão estática, e um gradiente de pressão adversa ao movimento das partículas. Como as moléculas da camada limite são as que possuem menor energia, elas sentem primeiro o efeito deste gradiente de pressão adversa e em um dado ponto do contorno do corpo, a pressão alcança um valor que força o fluxo a voltar em direção a zona em que o fluxo é reverso, formam-se turbilhões que agitam todo escoamento. A zona de turbulência formada na parte traseira do corpo pelo deslocamento da camada limite, é denominada de *esteira*.

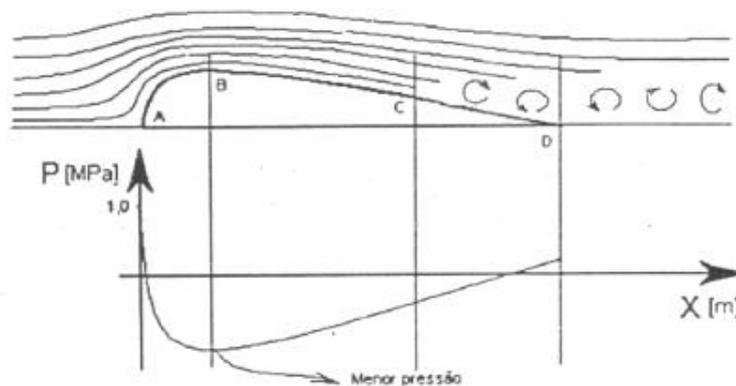


Figura 2. Escoamento do ar em torno de um corpo (NICOLAZZI, 2001).

Quanto mais rapidamente reduzir-se a seção do corpo maior o gradiente de pressão adversa, o que facilita a separação da camada-limite. Cantos vivos produzem uma variação brusca de seção e, desta forma, origina sempre uma separação da camada limite, com forte turbulência na esteira. Por outro lado, o escoamento em torno de um corpo cuja seção diminui progressivamente tem um gradiente de pressão bastante suave, de modo que o fluxo permanece em contato com a superfície até quase o seu final.

Devido ao pequeno gradiente de pressão, a camada limite se descola quase que somente no final do corpo e a energia que recebe das camadas de ar mais externas, é suficiente para evitar grandes turbulências. Com isso, pode-se afirmar que a resistência do ar é pequena para formas com variação suave de geometria. Porém se a velocidade aumentar significativamente e a forma do corpo não se alterar também ocorrerá grande turbulência. Isso é devido ao fato que a forma aerodinâmica ótima de um corpo depende de sua velocidade no meio, como mostra a figura 3.

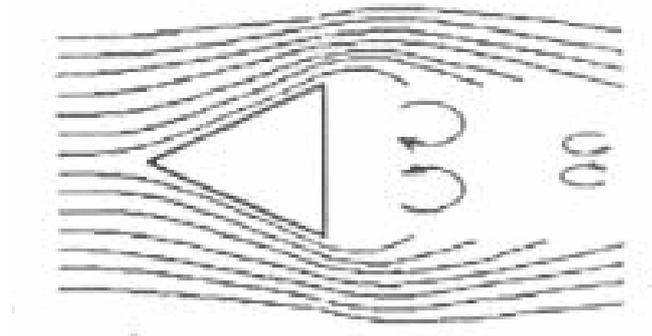


Figura 3. Formação da esteira em um corpo com variação brusca de seção (NICOLAZZI, 2001).

2.3. Cálculo da resistência aerodinâmica

A resistência aerodinâmica para carroceria de veículos é dada, considerando os três efeitos conjuntamente, por:

$$Q_a = q \cdot C_x \cdot A \quad (\text{Eq. 1})$$

onde:

q – pressão dinâmica;

C_x – coeficiente de resistência aerodinâmica;

A – área projetada seção transversal do corpo.

A pressão dinâmica que é função da velocidade relativa entre o veículo e o ar, da temperatura e da pressão atmosférica, pode ser calculada por:

$$q = \frac{1}{2} \rho \cdot v^2 \quad (\text{Eq. 2})$$

onde:

$\rho = 1,22557 \text{ [kg/m}^3\text{]}$ (massa específica do ar a 15° C e 760mmHg);

v – velocidade relativa do ar [m/s].

Para outras condições de temperatura e pressão a massa específica do ar pode ser obtida, através da expressão:

$$\rho = 0,4647 \frac{P}{T} [\text{kg} / \text{m}^3] \quad (\text{Eq. 3})$$

onde:

p – a pressão atmosférica em mm de Hg;

T – a temperatura absoluta K.

A resistência aerodinâmica, conforme visto, depende da área da seção transversal, da pressão dinâmica e do coeficiente de resistência.

2.3.1. Área da seção transversal

No estudo da resistência aerodinâmica, tem-se interesse na maior área projetada da seção transversal do veículo na direção do movimento. Uma maneira de se obter esta área é a partir dos desenhos do projeto da carroceria do veículo, quando disponíveis. Outro é o método experimental que faz uso da projeção da área sobre uma parede vertical. Ou sobre uma película fotográfica. Também é possível a utilização de métodos de medição direta através máquinas de medição de coordenadas.

2.3.2. Pressão dinâmica

Segundo Fox (2001), a pressão dinâmica pode ser definida como a pressão que o ar exerce sobre uma superfície disposta transversalmente as linhas de fluxo. Quando a velocidade do fluxo de ar cai a zero em um ponto, devido a um obstáculo, neste faz-se sentir a pressão dinâmica na sua plenitude. A pressão dinâmica é justamente a energia cinética contida em uma unidade de volume de ar em movimento totalmente transformada em energia

potencial, ou seja, em pressão. A energia cinética de uma determinada quantidade de ar é dada por:

$$E_c = \frac{1}{2}mv^2 \quad (\text{Eq. 4})$$

ou

$$E_c = E_p = \frac{1}{2}\rho \cdot V \cdot v^2 \quad (\text{Eq. 5})$$

onde:

E_p – energia potencial;

ρ – massa específica;

v – velocidade do fluido;

V – volume.

A pressão dinâmica é obtida pela divisão da Eq. 5 pelo volume, ou seja:

$$q = \frac{1}{2}\rho \cdot v^2 \quad (\text{Eq. 6})$$

Em um automóvel, a pressão dinâmica produz-se em diversas zonas, A principal é na dianteira, onde as linhas de fluxo separam-se e a velocidade cai a zero. Outra ocorre no pára-brisas, mas não com pressão dinâmica total, já que os mesmos são inclinados em relação a vertical. Outras saliências, como espelhos retrovisores, calhas de água, maçanetas e etc., são áreas de represamento do ar que devem ser evitadas, ou pelo menos projetadas de maneira a reduzir os seus efeitos danosos para a aerodinâmica.

Além da pressão dinâmica existe a pressão estática, que pode ser definida como a pressão em uma superfície paralela à linha de fluxo. Conforme figuras 4 e 5.

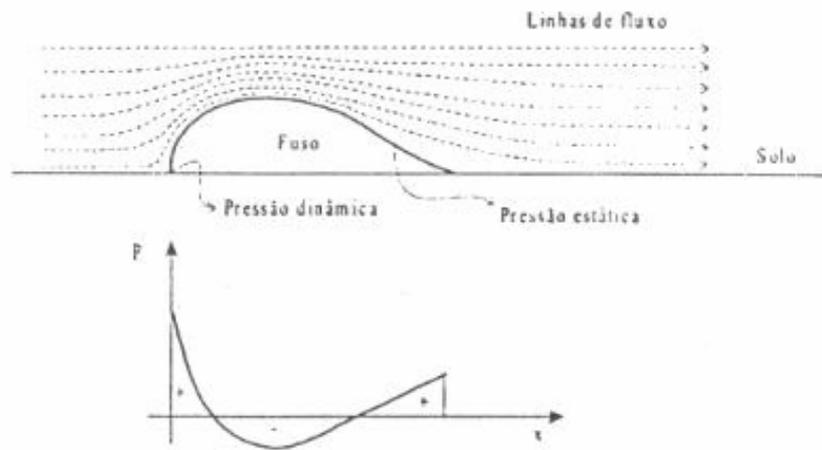


Figura 4. Distribuição de pressão em um corpo (Fox, 2001).

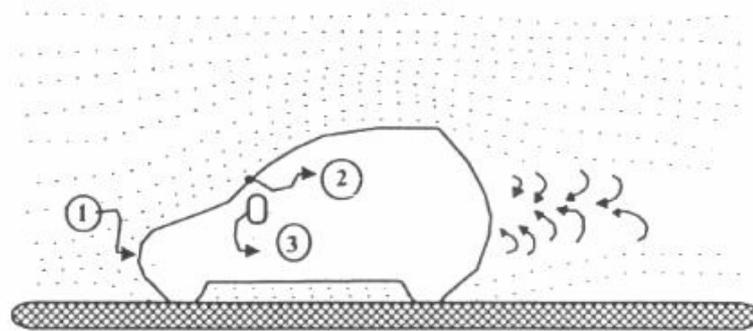


Figura 5. Locais onde a pressão dinâmica é predominante (NICOLAZZI, 2001).

2.3.3. Coeficiente de resistência aerodinâmica

O coeficiente de penetração aerodinâmico C_x , serve de medida para a aerodinâmica de um corpo e é determinado experimentalmente. Em seu valor estão considerados a influencia de forma, do acabamento superficial e do fluxo necessário para refrigeração do motor e ventilação do interior do veículo. Segundo Campbell (1969), quanto menor o seu valor, tanto menor a resistência do ar. O valor do coeficiente aerodinâmico é independente da área da seção transversal do corpo que se desloca no fluido, no entanto, a área deve permanecer tão pequena quanto possível, já que o seu produto com o coeficiente de resistência aerodinâmica resulta no que se pode chamar de área efetiva quanto à resistência do corpo.

Para Campbell (1969), a determinação de C_x pode ser realizada através do estudo em túneis de vento, seja com modelo reduzido ou mesmo com automóveis em tamanho real. Outra possibilidade é um teste em pista com o veículo.

Na confecção dos modelos em escala reduzida, para testes em túnel de vento, algumas recomendações básicas devem ser seguidas:

- As rodas do modelo, em geral, não giram. Os desvios, na medida, são pequenos no caso das rodas serem protegidas por paralamas. Para os carros de corrida as rodas, que ficam girando livremente contra o fluxo de ar ocasionam grande resistência, quando comparadas com as que ficam protegidas por paralamas. No caso das rodas desprotegidas, é interessante o acionamento destas através de motores elétricos, de modo a não distorcer os resultados;

- É necessário usar o maior número possível de detalhes mecanicamente semelhantes ao veículo real, como palhetas do limpador do parabrisas, maçanetas, calhas de chuva, etc. A parte inferior do chassi também apresenta importância, pois o modelo com a parte de baixo lisa, apresenta C_x inferior ao real. De modo que as medidas realizadas em modelos possam ser transportadas para um caso real, é necessário haver similaridade mecânica entre os fluxos real e o do túnel de vento. Esta similaridade é garantida quando o número de Reynolds para os dois fluxos for igual. Dado por:

$$\Re_e = \frac{vl}{\mu} \rho \quad (\text{Eq. 7})$$

onde:

v – velocidade do fluido;

l – dimensão característica;

ρ – massa específica;

μ – viscosidade do fluido.

Assim, para teste em que o fluido do túnel é o ar, a velocidade do fluxo deve crescer na proporção em que o tamanho diminui. A semelhança no acabamento superficial é de suma importância.

Verificações realizadas com modelos de automóveis mostraram que o coeficiente de resistência do ar C_x praticamente independe de \mathcal{R}_e (número de Reynolds), ao contrário de alguns sólidos, como a esfera. (Fox, 2001). Como detalha a figura 6.

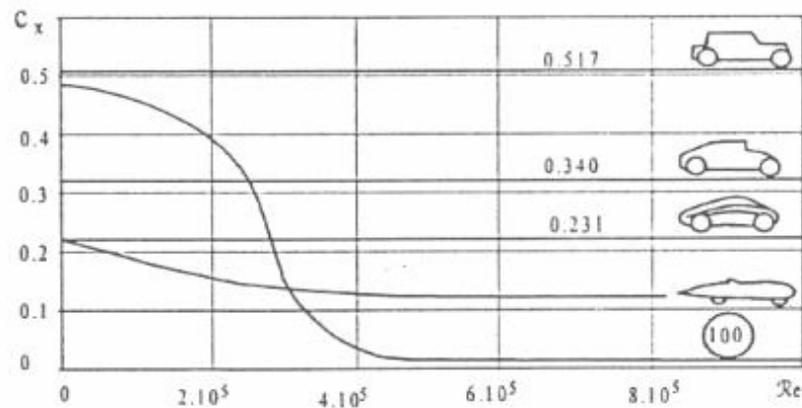


Figura 6. Variação do coeficiente de arrasto em função do número de Reynolds (Fox, 2001).

O número de Reynolds varia entre $\mathcal{R}_e=1,5.10^6$ (no trânsito das cidade, onde as médias de velocidades são de 20 a 40 km/h); e $\mathcal{R}_e=12.10^6$ (nas rodovias, onde as médias velocidades são entre 80 e 120 km/h).

Segundo Nicolazzi (2001), nos ensaios em túnel de vento a resistência aerodinâmica é aproximadamente distribuída da seguinte forma:

Forma: 63%;

Faróis, emblemas, frisos, antenas, guarnições, retrovisores e outros acabamentos: 29%;

Parte inferior do chassi (sulcos, volumes e outras obstruções que causam turbulência): 8%.

2.4. Princípios de carrocerias aerodinâmicas

O efeito do ar se movimentando em torno de um veículo afeta de três modos distintos o seu comportamento:

- Resistência ao movimento;
- Efeitos de sustentação ou contra pressão;
- Efeito de ventos laterais.

Segundo Ahmed (1983), a primeira preocupação dos construtores foi justamente com o problema da resistência aerodinâmica, já que esta afeta sensivelmente a potência consumida pelo veículo. Embora os primeiros estudos detalhados tenham sido iniciados em 1920, até os dias atuais a maioria dos veículos possuem uma forma que leva a um desperdício de potência da ordem de 30 a 40%. Quanto aos ventos laterais, o projeto das carrocerias dos modelos em produção quase os desconsidera completamente. Este fato deve-se principalmente as seguintes causas:

- Quase todo estudo aerodinâmico deve ser experimental ou numérico, com grande dispêndio de tempo e financeiro;
- As melhores soluções em termos de aerodinâmica se adaptam mal a um projeto de automóvel, em termos de layout e disponibilidade do espaço interno;
- O design automotivo segue uma evolução mais comercial do que técnica, com carroceria de formas esteticamente boas, mas de baixo rendimento aerodinâmico.

Os efeitos de forças verticais, sobre o veículo, influenciam a aderência de cada pneu e, portanto, o comportamento direcional do veículo sob ação de forças laterais bem como a potência que pode ser transmitida pelas rodas e a capacidade de frenagem. Por isso a sua análise também é muito importante no projeto de veículos de grande desempenho.

Sendo assim, se o projetista tiver acesso às informações a respeito das formas mais adequadas para o desempenho aerodinâmico de um veículo, recursos e tempo podem ser economizados na otimização aerodinâmica.

2.5. Formas de baixa resistência aerodinâmica

De um modo geral, a forma mais aerodinâmica é a de um fuso simétrico, apresentando um valor de C_x da ordem de 0,05. As primeiras experiências com carroceria aerodinâmica foram, portanto, inspiradas nesta forma. Conforme demonstra a figura 7

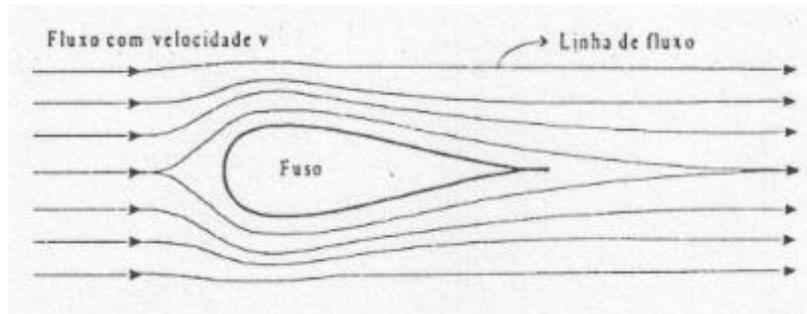


Figura 7. Fuso aerodinâmico (NICOLAZZI, 2001).

Os resultados, no entanto, não foram animadores, pois a presença do solo perturba as linhas de fluxo, aumentando a resistência para valores de cerca de 0,20. A redução da eficiência, da forma, deve-se a aproximadamente do solo pois o mesmo torna o fluxo assimétrico. Conforme mostra a figura 8.

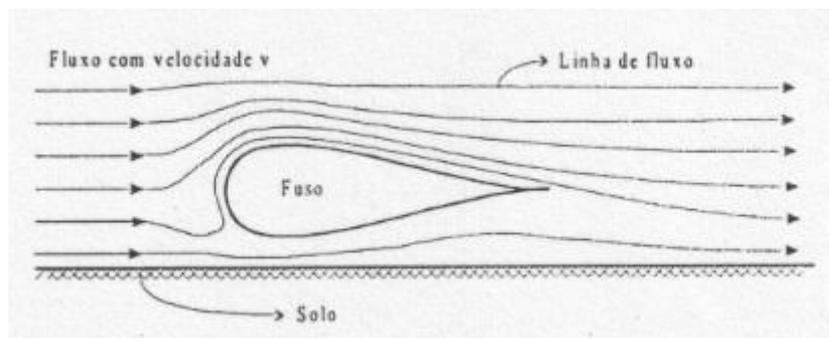


Figura 8. Efeito do solo no escoamento do ar sobre um fusão (NICOLAZZI, 2001).

Os fusos apresentam bons resultados quando afastados do solo, com C_x crescendo quando aproxima-se do solo. Como pode ser verificado em resultados experimentais. Como demonstra a figura 9.

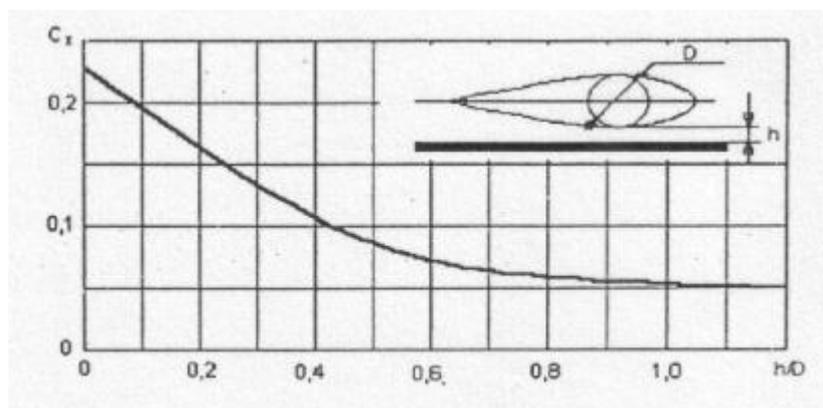


Figura 9. Efeito da aproximação do solo no C_x de um fusão (NICOLAZZI, 2001).

Tentando manter a simetria imaginária do fluxo que o fuso foi cortado ao meio por um plano, pois o que ocorre em um lado do fuso não influi no fluxo do outro lado. Deste modo, é possível usar um meio fuso, junto ao solo, com resultado igual ao de um fuso isolado. Essa forma é eficiente, apenas, quando o veículo fica bem próximo ao solo. Isto habitualmente não ocorre pois existe um vão entre o chassi e o solo, da ordem de 200 a 250mm, em todos os veículos de passeio. De modo a possibilitar este espaço a forma indicada é a intermediária entre o fuso e o semi-fuso, ou seja, um fuso assimétrico o que permite que as linhas do fluxo sigam melhor a forma da sua linha média. Como mostram as figuras 10 e 11.

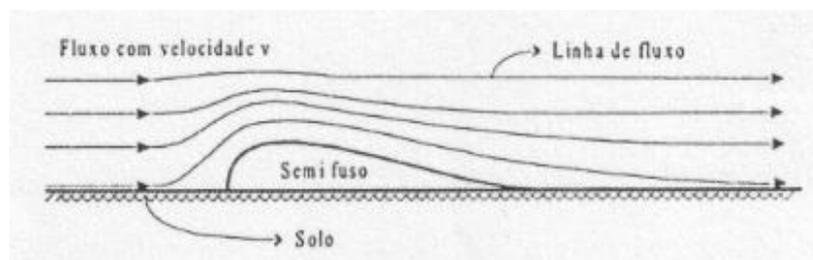


Figura 10. Semi-fuso, com fluxo simétrico imaginário (NICOLAZZI, 2001).

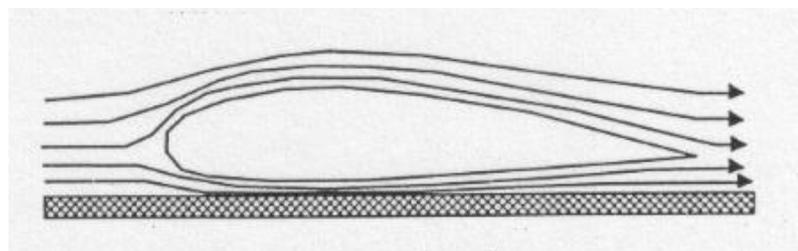


Figura 11. Fuso assimétrico (NICOLAZZI, 2001).

A forma de fuso assimétrico apresenta um C_x da ordem de 0,13, não tão boa quanto o do fuso simétrico, porém satisfatório. Essa forma no entanto, apresenta três inconvenientes graves:

- No assoalho, devido a forma do fuso, há dificuldades de colocação das rodas, acesso à cabine e visibilidade para traz;
- O veículo é muito comprido, dificultando o tráfego;
- A forma cria uma forte força de sustentação em altas velocidades, que reduz a carga sobre as rodas tornando o veículo perigoso sob ação de forças laterais.

2.6. Princípio de Jaray (Forma J)

De modo a contornar alguns problemas, Jaray propôs uma forma de carroceria derivada do fuso assimétrico. Esta forma é constituída de um perfil de asa, como corpo inferior da carroceria, com um semi-fuso sobreposto de modo a formar a cabine. Esse esquema obteve sucesso, por ser prático e permitir redução da resistência aerodinâmica a menos da metade, dos veículos existentes na época. Os modelos que seguiram esta tendência foram o Citroen DS e o Porsche 911. A forma de Jaray, também denominada de Form J, pode ser derivada a partir do fuso assimétrico, modificado a parte dianteira de modo a melhorar a visibilidade. Conforme mostra a figura 12.

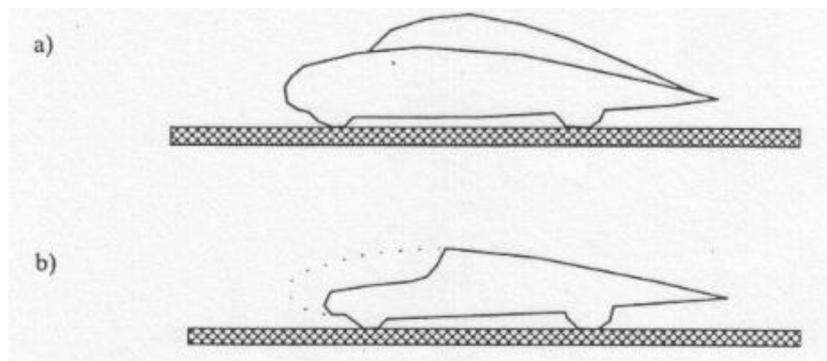


Figura 12. Formas de carrocerias propostas por Jaray (NICOLAZZI, 2001).

Carrocerias com este formato apresentam a vantagem de que a camada limite conserva-se ligada até o final, o que implica em turbulência e C_x baixos. No entanto, para que isto ocorra, o comprimento do veículo deve ser grande, o que é uma desvantagem. Procurou-se contornar este problema, inerente da forma de Jaray, encurtando a parte traseira do veículo. Conforme figura 13.

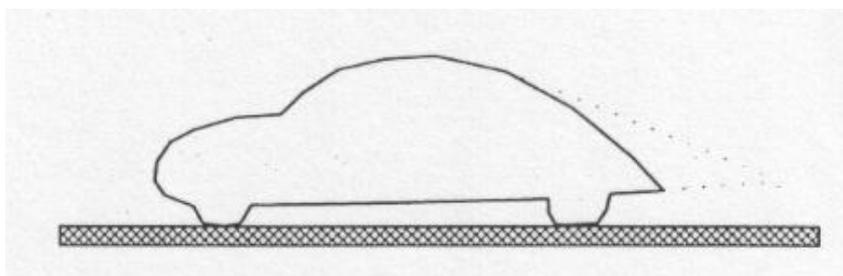


Figura 13. Forma de Jaray modificada (NICOLAZZI, 2001).

Porém como era de se esperar a camada limite não se mantém colada até o final do veículo, sofrendo separação bem antes do final, o que causa um aumento significativo da turbulência na traseira, com isso, aumentando a resistência do ar. Porém, mesmo assim, alguns veículos usaram esta conceituação na década de 30, como por exemplo o VW Sedam, obtendo sucesso apreciável.

2.7. Princípio de Kamm (Forma K)

Por volta de 1940 o professor Kamm apresentou sua concepção, que caracteriza-se por:

- A traseira do veículo cortada, apresentando uma superfície e não uma ponta ou aresta;

- A diminuição de seção para a traseira é lenta, seguindo a lei de formação de um fuso, de forma a não causar deslocamento da camada limite até o ponto do corte.

A idéia surge do fato de que pela perda de energia das partículas de ar da camada limite ocorre a sua separação, em um determinado ponto da carroceria, criando turbulência a partir daí. Após este ponto a forma do corpo não cumpre mais a missão de dirigir o fluxo de ar e de diminuir a resistência aerodinâmica total. Assim deixa de ter utilidade podendo simplesmente ser contada.

A solução apresenta uma resistência superior à forma J original, mas com comprimento do veículo bem menor. Para as duas formas com mesmo comprimento, a forma de Kamm possui menor coeficiente de resistência, pois a área de turbulência é sensivelmente menor. Com esta solução consegue-se valores C_x bastante favoráveis, comprimento razoáveis e, ainda, um melhor espaço interno do veículo. Conforme mostram as figuras 14 e 15.

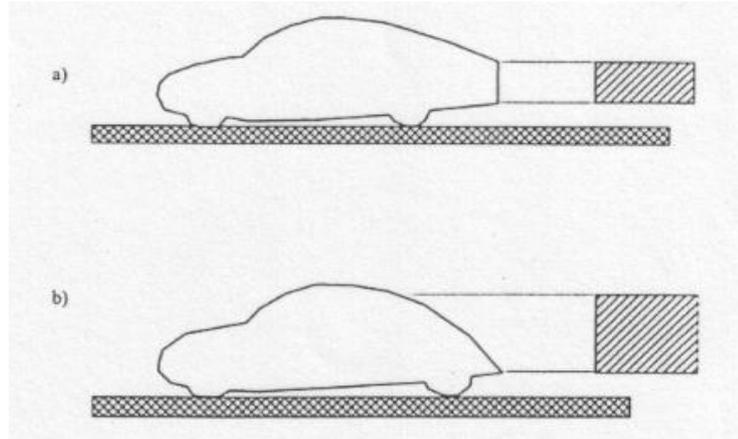


Figura 14. Área de turbulência para as formas de Kamm e Jaray encurtada (NICOLAZZI, 2001).

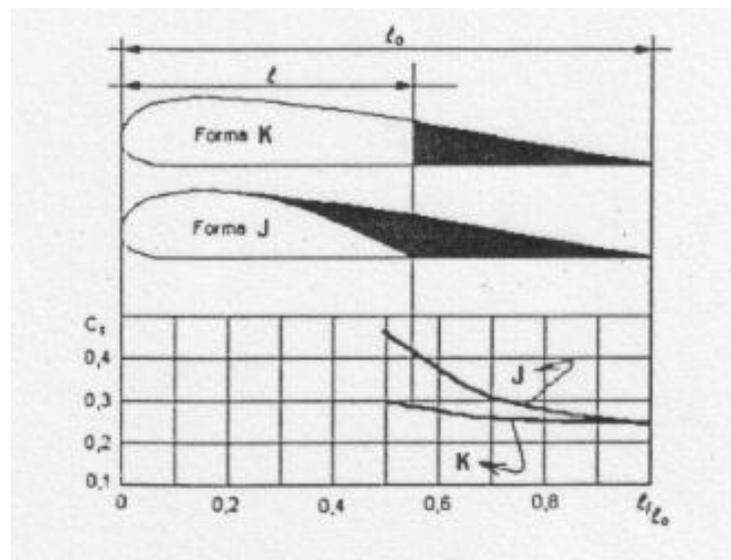


Figura 15. Comparação do C_x entre as formas J e K, para diferentes comprimentos (NICOLAZZI, 2001).

2.8. Estudos de Lay

Sendo uma série estudos realizados pelo professor W. E. Lay, da Universidade de Michigan, a fim de verificar a influência da parte traseira do veículo, bem como a parte dianteira, da resistência aerodinâmica. A pesquisa se desenvolveu, em 1933, usando um modelo desmontável onde se permitia variar e combinar, a forma da dianteira e traseira do veículo. Conforme explica figura 16.

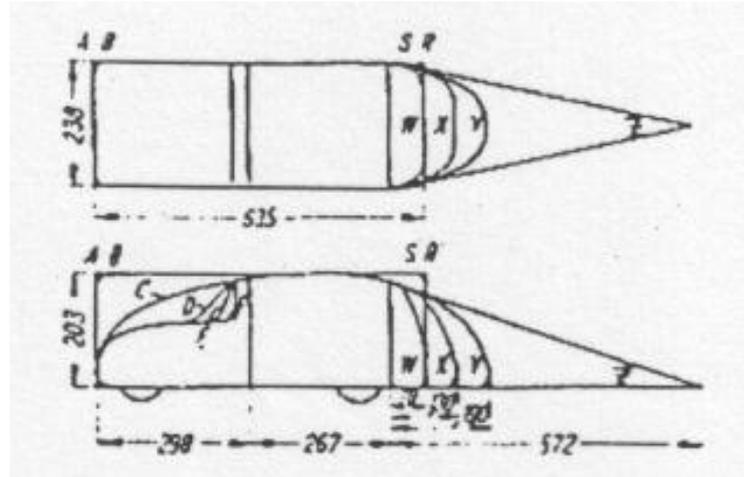


Figura 16. Modelo usado por Lay em seus estudos (NICOLAZZI, 2001).

Analisando a tabela 1, observa-se que a dianteira do tipo C não ajuda em nada a redução da resistência aerodinâmica comparada com a D (ângulo do parabrisa de 45°), o que é ótimo já que a C prejudica bastante a visibilidade.

Quanto à traseira a redução do C_x é sensível apenas para formas adequadas do parabrisa como pode-se ver, comparando o C_x , para as combinações F-Z e C-X da tabela 1.

Tabela 1. Estudo de Lay (NICOLAZZI, 2001).

		Traseira			
		W	X	Y	Z
Frente do modelo	F	0,35	0,35	0,32	0,24
	E	0,32	0,26	0,25	0,17
	D	0,30	0,23	0,21	0,12
	C	0,30	0,24	0,20	0,12

Através desta análise verificou a importância de combinar tanto a traseira como a dianteira, não bastando somente uma delas, ter forma favorável, para que se tenha uma forma com bom rendimento aerodinâmico.

2.8.1. Influência do arredondamento das arestas laterais

Segundo Carregari (2006), em análise realizada, observou-se que o escoamento ao redor de dois modelos de vans, sendo um deles com cantos vivos e o outro com cantos arredondados, seus coeficientes de arrasto apresentavam valores de 0,76 e 0,42, respectivamente. O valor correspondente ao modelo com cantos vivos propiciava o escoamento descolado na superfície lateral, gerando uma esteira turbulenta maior. O valor referente ao outro modelo proporcionava o escoamento colado ao longo da superfície lateral, gerando uma esteira menor.

2.9. Meios de diminuir a resistência do ar

2.9.1. Sucção da camada limite

Para Campbell (1969), em veículos com motor traseiro, onde o ar de refrigeração do motor é fornecido pelo ventilador, é interessante captar o ar em zonas de alta pressão dinâmica, ou seja, sugá-lo na zona onde a camada limite tende a separar-se. Consegue-se, com isso, a diminuição da resistência do ar, devido a não existência de zonas de alta pressão dinâmica.

2.9.2. Palhetas direcionais

O uso de palhetas direcionais, em locais de variação brusca de seção transversal da carroceria, garante um maior contato da camada limite com a superfície do veículo. As palhetas direcionais, colocadas em locais onde a camada-limite começa a descolar-se, impedem a propagação deste deslocamento para frente do veículo, garantindo assim uma menor área de turbulência na sua traseira, o que reduz a força de arraste. Conforme mostra a figura 17.

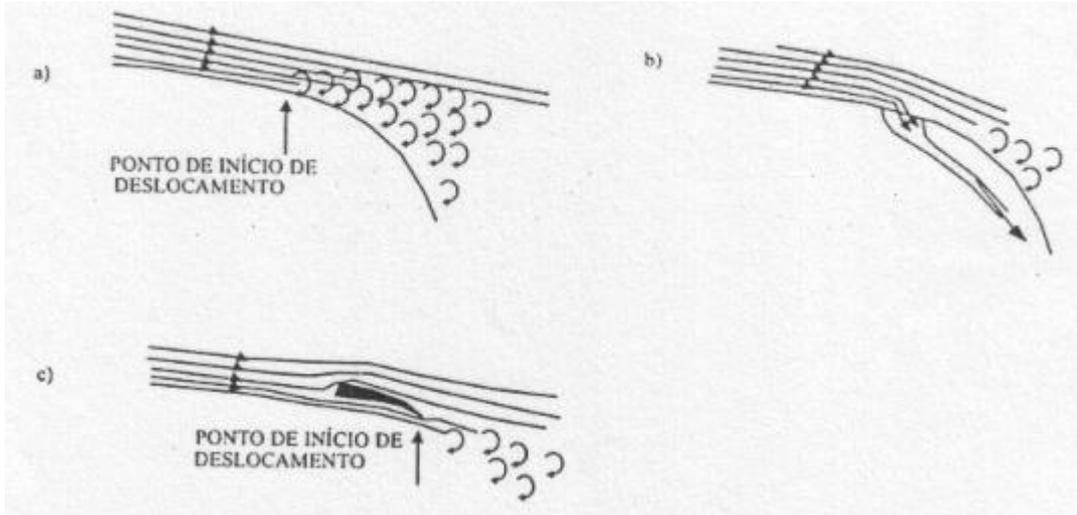


Figura 17. Meios de reduzir a resistência do ar (CAMPBELL, 1969).

Em carroceria com C_x baixo o emprego de palhetas direcionais para redução do C_x é duvidoso, já que a própria palheta possui uma resistência aerodinâmica. O efeito global, neste caso, é melhor analisado a partir de testes em túneis de vento, ou por análise numérica.

2.9.3. Cantos auxiliares

Conforme descrito na seção anterior, a separação da camada limite se dá devido a um gradiente adverso de pressão que vai freando o ar. Uma vez formada a turbulência, esta age como uma cunha podendo prolongar a zona de separação.

A utilização de cantos auxiliares, nas zonas críticas na forma de um prolongamento da parede externa sobre a superfície posterior impede, em parte, o fluxo contrário formador da cunha. Sua utilização pode causar uma diminuição apreciável da resistência do ar. Conforme figura 18.



Figura 18. Utilização de cantos auxiliares em locais de deslocamento da camada limite (CAMPBELL, 1969).

2.10. Distribuição de pressão

O Estudo de como se distribui a pressão, sobre e sob a carroceria de veículo, permite uma previsão do seu comportamento. O estudo desta distribuição é importante tanto em problemas de resistência ao avanço, como em problemas de estabilidade do veículo. A observação das curvas de distribuição de pressão permite ao projetista de ter idéias de como melhorar o desempenho do veículo.

O veículo pouco aerodinâmico apresenta distribuição de pressão bastante irregular, com picos acentuados. Essas irregularidades correspondem a flutuações bastante bruscas na velocidade do fluido e, conseqüente, formação de turbulência. Para um veículo com características mais aerodinâmicas a distribuição é mais suave. Conforme explicita a figura 19.

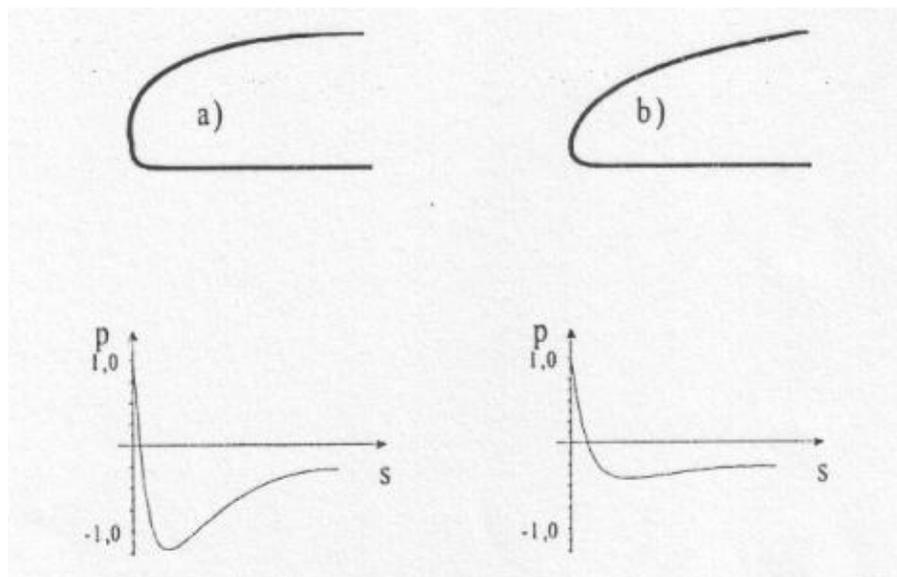


Figura 19. Comparação da distribuição de pressão em dois tipos de dianteira (CAMPBELL, 1969).

A variação da pressão de forma menos acentuada é conveniente, pois impede a formação de turbulência na parte anterior do veículo, reduzindo a resistência ao avanço. No caso de uma carroceria pouco aerodinâmica, como na Figura 19a, o grande aumento da velocidade na parte anterior do capô dianteiro origina uma depressão muito grande e, próximo ao pára-brisa, passa a positiva como condições propícias para formação de turbulência. Uma redução deste gradiente de pressão, com a utilização de uma forma mais adequada da frente como na Figura 19b, reduzirá a formação de turbulência e conseqüentemente melhorará a penetração aerodinâmica do veículo.

2.11. TEORIA DAS FORÇAS DE ARRASTO E SUSTENTAÇÃO

2.11.1. Forças de arrasto

Segundo Assy (2004), o arrasto é uma força aerodinâmica que opõe resistência ao movimento de um corpo para diante. É definida como a componente de força paralela a velocidade de aproximação que o fluido em movimento exerce sobre o corpo.

2.11.2. Forças de sustentação

Segundo Ahmed (1983), todo corpo imerso em um fluido sofre a ação de forças de sustentação. Esta ação é a força resultante da distribuição de pressão que o fluido exerce sobre o corpo, a qual pode ser decomposta em três componentes, uma na direção axial do veículo, outra na direção transversal e outra na vertical. A componente vertical é a que propicia a força de sustentação, como por exemplo, a necessária para um avião voar. O estudo de aerofólios aerodinâmicos propiciará um entendimento mais adequado do fenômeno, e a utilização dos conceitos básicos envolvidos poderão ser estendidos para carrocerias de automóveis.

Um aerofólio é definido basicamente por quatro fatores, dois da plataforma e dois da seção transversal. Conforme demonstra a figura 20.

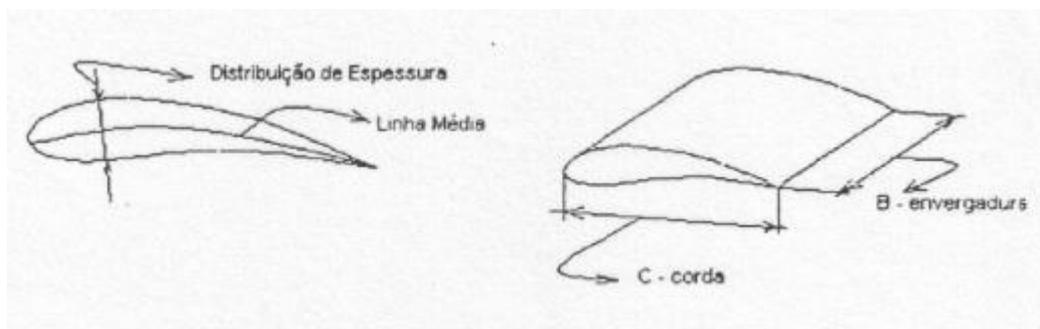


Figura 20. Características básicas de um aerofólio (NICOLAZZI, 2001).

Uma teoria aproximada para avaliar a intensidade da força de sustentação pode ser desenvolvida, usando a linha média como característica do aerofólio. Para o caso da linha média ser um arco de círculo, tem-se que o coeficiente de sustentação é dado por:

$$C_z = 2\pi \cdot \text{sen}(\alpha + \beta) \text{Sec}\beta \quad (\text{Eq. 8})$$

Esta equação é uma aproximação para pequenos ângulos de ataque, (o ângulo de ataque deve ser pequeno para não haver deslocamento da camada-limite). Assim, a força de sustentação, na direção vertical, é dada por:

$$F_z = C_z q A \quad (\text{Eq. 9})$$

onde:

F_z – força de sustentação vertical;

$A = bc$ – área da plataforma;

α – ângulo de ataque;

β – metade do ângulo compreendido entre a corda e a tangente à raiz do aerofólio;

C_z – coeficiente de sustentação aerodinâmica;

q – pressão dinâmica.

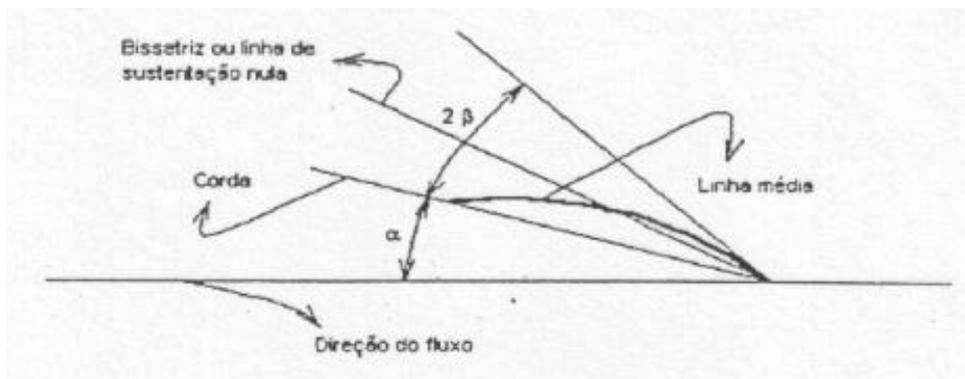


Figura 21. Geometria de um aerofólio de arco circular (NICOLAZZI, 2001).

O coeficiente de resistência do ar pode ser decomposto em duas parcelas, uma natural e outra induzida pelo efeito de sustentação.

$$C_x = C_{x0} + C_{xi} \quad (\text{Eq. 10})$$

onde:

C_{x0} – coeficiente de resistência natural, que depende apenas do perfil;

C_{xi} – coeficiente de resistência induzida.

Existe uma relação entre o coeficiente de resistência induzido e o coeficiente de sustentação.

$$C_{xi} = \frac{C_z^2}{\pi R} \quad (\text{Eq. 11})$$

onde:

R – relação de aspecto ($R = b/c$ para uma plataforma retangular).

A Eq. 8, para o coeficiente de sustentação C_z , pode ser reescrita como:

$$C_z = C \cdot \text{sen}(\alpha_e) \quad (\text{Eq. 12})$$

onde:

$\alpha_e = (\alpha + \beta)$ – ângulo de ataque efetivo;

$C = 2 \pi \text{ sec } \beta$ – constante.

Segundo Nicolazzi (2001, p. 105), com os conhecimentos, da teoria de sustentação de aerofólio, é possível chegar-se a algumas conclusões interessantes para o caso de carrocerias:

[...] a carroceria pode ser considerada como sendo um aerofólio, com relação de aspecto inferior à unidade porque a largura é menor do que o comprimento do veículo. Assim, a sustentação for zero, ou seja, $C_z = 0$. Com o C_z diferente de zero, seja da relação de aspectos, pode assumir uma porcentagem considerável do valor total do C_x .

Para obter-se uma estimativa do coeficiente de sustentação C_z é necessário determinar o ângulo de ataque efetivo, o qual é formado pela linha de velocidade do vento e a linha do perfil em que ocorre sustentação nula. Mostrado no gráfico da figura 22.

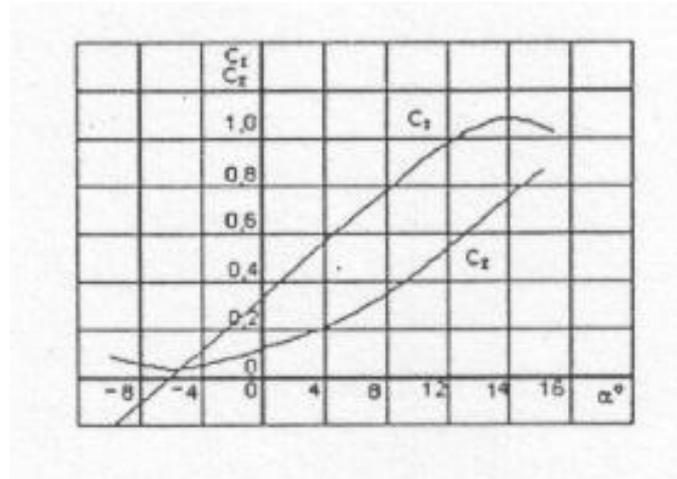


Figura 22. Variação de C_x com o C_z (NICOLAZZI, 2001).

Este ângulo é dado, aproximadamente, pela secante à linha média da carroceria na traseira do veículo. A secante é definida pela união do último ponto da linha média com o ponto localizado, sobre a linha média, a uma distância de cerca de 20 a 30% do comprimento da carroceria, medida a partir da traseira do veículo. Conforme figura 23.

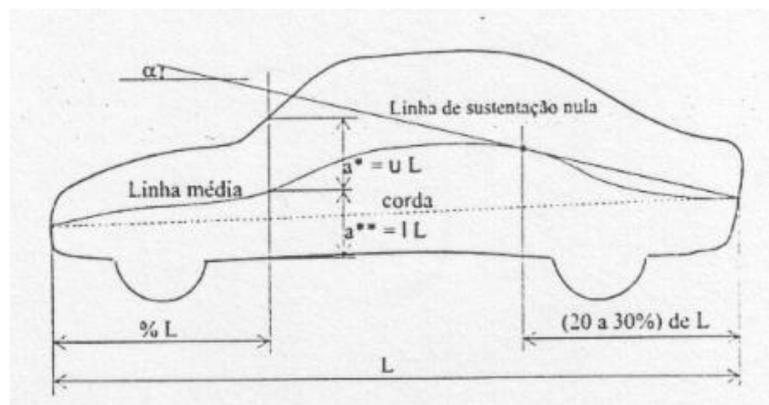


Figura 23. Linha média de um veículo convencional (NICOLAZZI, 2001).

$$\alpha_e = \sum a(u+1) \quad (\text{Eq. 13})$$

onde:

$u = \frac{a^*}{L} 100$ – ordenada superior da carroceria, a partir da corda, dada em %;

$l = \frac{a^*}{L} 100$ –ordenada inferior da carroceria, a partir da corda dada em %;

α_e – ângulo de sustentação;

α – constante.

O valor de “ α ” é obtido da tabela 2.

Tabela 2. Valores de “ α ”, para o calculo do ângulo de ataque (NICOLAZZI, 2001).

Abcissa	Constante "a"
0	1.45
0.025	2.11
0.05	1.56
0.1	2.41
0.2	2.94
0.3	2.88
0.4	3.13
0.5	3.67
0.6	4.69
0.7	6.72
0.8	11.75
0.9	21.72
0.95	99.85
1.0	-164.90

Pelos valores de “ α ” observa-se que a geometria dos últimos 20% da carroceria é que influi de forma sensível o valor de α_e .

Uma variação no ângulo de ataque pode ocorrer na aceleração ou na frenagem, assim como num carregamento excessivo do porta-malas, o que causa um aumento no arraste aerodinâmico.

O efeito da resistência induzida ajuda a explicar, também, porque a forma K de carroceria possui menor C_x em comparação com a forma J. Na forma K o ângulo de ataque é pequeno, dando assim um baixo valor de C_z e uma resistência induzida pequena. Já na forma J o ângulo de ataque é grande, com uma sustentação forte, causando uma resistência induzida maior. Nesta última forma de carroceria o ângulo de ataque é da ordem de 15° a 20° e, nestas condições, a resistência induzida pode contribuir em mais de 30% para a resistência aerodinâmica total do veículo. Como pode ser visto na figura 24.

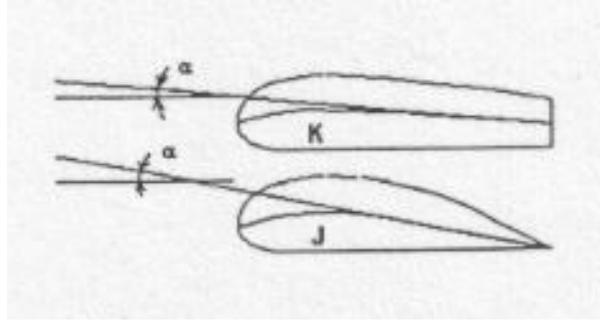


Figura 24. Ângulo de ataque efetivo para as formas de Jaray (J) e a Kamm (K) (NICOLAZZI, 2001).

Segundo Nicolazzi (2001), de forma a evitar forças de sustentação a parte final da carroceria ao menos, deve ter uma inclinação para cima, de modo que o ângulo de ataque efetivo fique próximo de zero ou então seja negativo. Esta forma de carroceria apresenta uma força de compressão na parte traseira e uma força de sustentação na dianteira. Deste modo, o efeito conjunto é de um momento que alivia perigosamente as rodas dianteiras, principalmente a altas velocidades. Uma maneira de corrigir um pouco este efeito é, sem alterar a forma da carroceria, introduzir spoilers na dianteira do veículo compensando a força de sustentação. Conforme figuras 25 e 26.

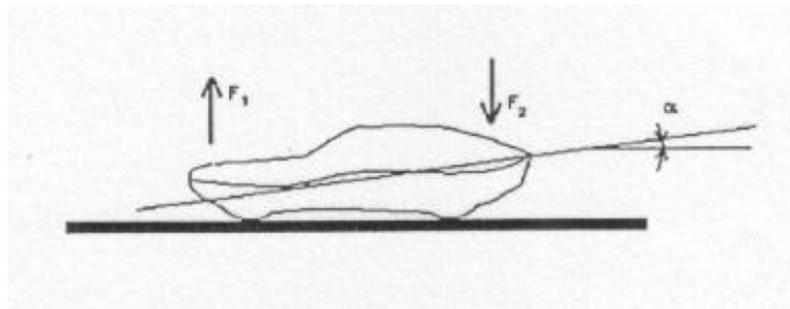


Figura 25. Uso de traseira alta para redução de forças de sustentação (NICOLAZZI, 2001).

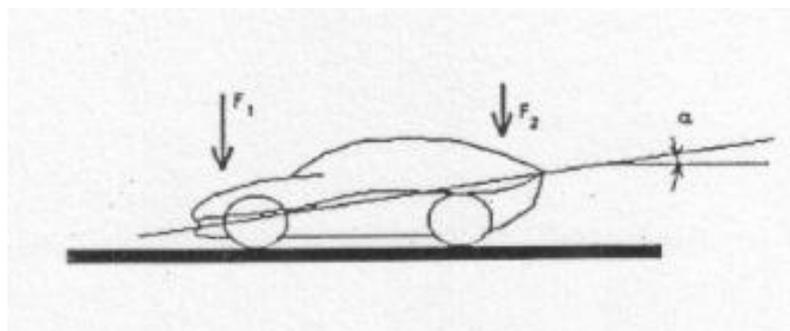


Figura 26. Uso de spoiler na dianteira do veículo para redução de forças de sustentação (NICOLAZZI, 2001).

O spoiler dianteiro, devido as suas características, produz uma força vertical orientada para baixo que devolve a aderência às rodas dianteiras. Este artifício é bastante usado em veículos de competição que empregam aerofólios na traseira. Outra possibilidade é alterar a forma da carroceria, na dianteira, para que produza também uma contra pressão. Assim, o conjunto torna-se mais eficiente já que a forma mais afilada na dianteira é, também, conveniente do ponto de vista da distribuição da pressão estática. A tendência atual é o uso desta forma afilada e rebaixada para a dianteira do veículo, conjuntamente com traseiras elevadas, como sendo mostrado na figura 27.

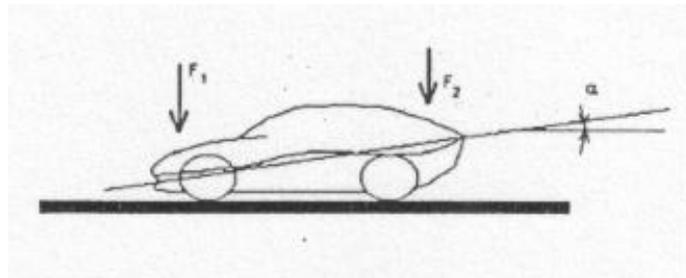


Figura 27 – Alteração da carroceria de forma a reduzir a força de sustentação na dianteira do veículo (NICOLAZZI, 2001).

Analisando o que foi às afirmações de Nicolazzi, pode-se arriscar uma estimativa de geometria de carroceria, de veículo que serão desenvolvidos em um futuro próximo, como sendo mostrada na figura 28.

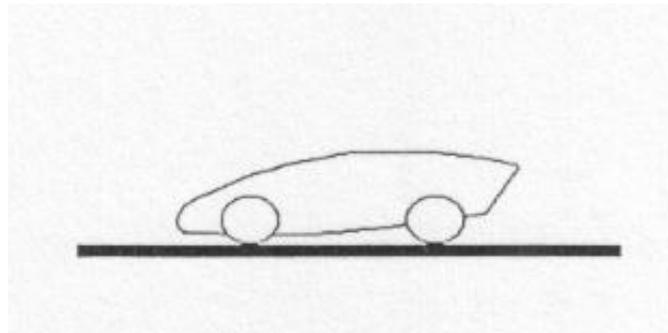


Figura 28. Forma geometria provável da carroceria do futuro (NICOLAZZI, 2001).

Convém salientar que o ângulo de ataque efetivo existente desta forma irá produzir uma resistência induzida apreciável, porém aumentará a capacidade do veículo em fazer curvas e absorver cargas transversais melhorando, sensivelmente, a dirigibilidade do veículo em altas velocidades. Também podem ser usadas carrocerias inteligentes, que mudam de forma de acordo com a velocidade de deslocamento, comandadas por computador. Pode-se

nestes casos, chegar ao extremo de que o veículo mude a sua geometria completamente, para satisfazer exigências de fluxo mais adequado para cada velocidade.

2.12. Tipos de túneis aerodinâmicos

Existem vários tipos de túneis aerodinâmicos e podem ser divididos quanto a seu circuito; quanto ao sentido do fluxo de ar; e quanto a sua geometria.

Quanto ao circuito:

- Túnel do tipo circuito fechado: o fluxo de ar, após passar pela última seção, ou seja, a seção de ensaio é novamente aproveitado iniciando o sistema. Como pode ser observado na figura 29.



Figura 29. Túnel aerodinâmico do tipo circuito fechado.

- Túnel do tipo circuito aberto: o fluxo de ar, após passar pela última seção do túnel, ou seja, a seção de ensaio é descartado. Como pode ser observado na figura 30.



Figura 30. Túnel aerodinâmico do tipo circuito aberto.

Quanto ao sentido do fluxo de ar:

- Túnel do tipo soprador: cujo fluxo de ar é empurrado, ou seja, soprado para fora por meio de um ventilador centrífugo. Como pode ser observado na figura 31.



Figura 31. Túnel aerodinâmico do tipo soprador com circuito aberto.

- Túnel do tipo exaustor: cujo fluxo de ar é sugado para dentro do túnel por meio de um exaustor. Como pode ser observado na figura 32.



Figura 32. Túnel aerodinâmico do tipo exaustor com circuito aberto.

Quanto à geometria:

- Túnel do tipo plano: cuja geometria é formada apenas por linhas retas sem difusor. Como mostrado na figura 33.



Figura 33. Túnel aerodinâmico do tipo plano.

- Túnel do tipo difusor, como mostra a figura 34, cuja sua geometria é constituída por um difusor, que serve para que o fluído quando passa por essa região tenha sua pressão diminuída e conseqüentemente tenha um aumento da velocidade do fluído.



Figura 34. Túnel aerodinâmico com difusor.

2.13. Considerações finais da fundamentação teórica

Tomando-se por base toda a fundamentação teórica citada neste trabalho, com relação à aerodinâmica de carroceria de veículos, considerou-se nesta dissertação que essa filosofia de pesquisa é capaz de gerar reflexos positivos, que podem tornar os veículos cada vez mais eficientes, econômicos e influenciar positivamente nos níveis de segurança e desempenho.

Apesar de haver inúmeras definições sobre os temas citados anteriormente, a percepção neste trabalho foi de que a aerodinâmica de carroceria de veículos envolve uma postura voltada a um comportamento positivo no desempenho, conforme considera Nicolazzi (2001). Vale destacar, também, que na presente pesquisa foi levada em conta, e aceita como válida, a opinião de autores que consideram que a aerodinâmica de veículos (dentro do

conceito visto) tem sido valorizada pela indústria automobilística, devido às exigências contínuas e crescentes demandas por desempenho.

Em suma, partindo-se desses fundamentos, procurou-se, na aplicação do estudo experimental, verificar os elementos vistos sob esses aspectos.

3. MATERIAIS E MÉTODO

Este capítulo contém a descrição dos materiais utilizados e os procedimentos experimentais adotados nos seguintes pontos: o projeto; construção do túnel aerodinâmico e dos modelos; equipamento de aquisição das pressões e o método utilizado para reproduzir o escoamento ao longo dos modelos.

3.1. Túnel Aerodinâmico

Para simular o efeito do ar passando sobre a superfície das carrocerias dos veículos, foi necessário a construção de um túnel aerodinâmico.

Dentre as várias configurações de túneis aerodinâmicos existentes, optou-se por construir um de circuito aberto, devido a menor complexidade para instalação e manuseio. Sendo do tipo soprador, para aproveitar uma maior eficiência do motor; e com difusor para que o fluído de ar ganhe velocidade antes de atingir a seção de ensaios.

O túnel possui as seguintes características: Comprimento total de 4,5m; seção de ensaio com dimensões de 0,50m X 0,50m, com área de 0,25m²; velocidade máxima de aproximadamente 9,7m/s, obtida usando um motor elétrico monofásico, com potência máxima de 5HP (3.7kW). Difusor com razão de contração de 2:1, ou seja, com seção maior de 1m X 1m, e seção menor 0,50m X 0,50m, que segundo Catalano (1998), faz com que o fluído ao passar por essa região tem um aumento da velocidade devido a diminuição da pressão. As figuras 35; 36; 37; 38; 39; 40; 41; 42; 43; 44; 45; 46; 47; 48; 49; 50; 51 e 52 detalham a construção e montagem do túnel.



Figura 35. Molde para o difusor.



Figura 36. Primeira peça construída.



Figura 37. Montagem da contração.



Figura 38. Difusor armado.



Figura 39. Construção da seção de ensaios.



Figura 40. Seção de ensaios construída.



Figura 41. Seção de com tela de uniformização.



Figura 42. Seção de uniformização.



Figura 43. Vista interna da peça de ângulo reto do difusor.



Figura 44. Peça de ângulo reto do difusor.



Figura 45. Contração do difusor.



Figura 46. Vista interna da contração do difusor.



Figura 47. Peças para montagem do túnel.



Figura 48. Motor elétrico.



Figura 49. Ventilador Centrífugo.



Figura 50. Coifa anti-vibrações.



Figura 51. Vista interna do túnel.



Figura 52. Túnel semi-montado.

Tabela 3. Dimensões do túnel aerodinâmico.

Especificações do Túnel Aerodinâmico	
Comprimento	4,5 m
Altura máxima	1 m
Largura máxima	1 m
Tipo do túnel	Soprador
Potência máxima do motor	5 HP (3,7 kW)
Área da seção de ensaio	0,25m ²
Velocidade máxima da seção de ensaio	9,7m/s

No túnel aerodinâmico utilizado, o ar é soprado por um ventilador centrífugo, movido por um motor elétrico de corrente alternada. O ar passa por um difusor no qual há em sua extremidade de saída a uma caixa do tipo colméia. Nesse momento, o ar sofre uma perda de pressão em decorrência da colméia e do atrito com as paredes. A função da colméia é diminuir as grandes perturbações (vórtices), proporcionando um escoamento mais uniforme (laminar) na saída do difusor.

A caixa de uniformização do tipo colméia foi construída com 625 tubos de PVC de 20mm de diâmetro cada um, com 200mm de comprimento. Para união dos tubos foi

utilizado cola de PVC, afim de garantir que os tubos não sofressem movimentação devido ao fluxo de ar. Conforme mostrado na Figura 53.

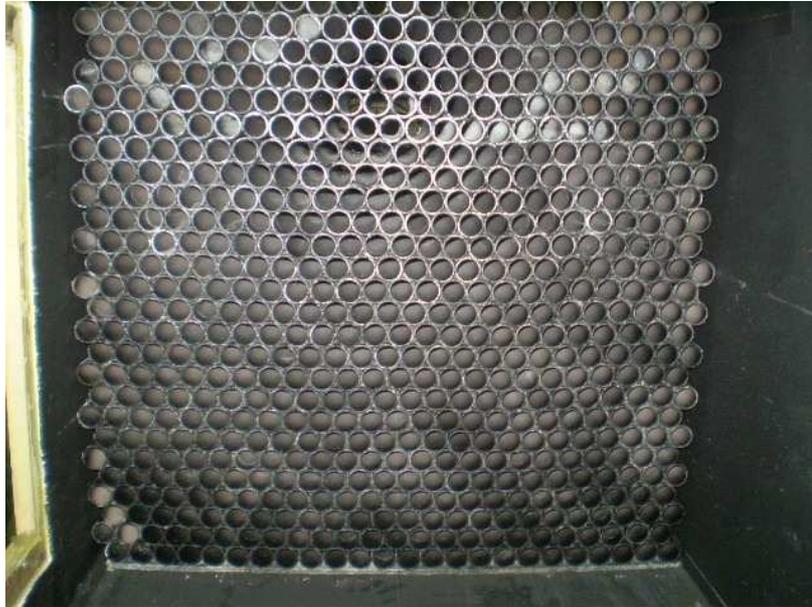


Figura 53. Caixa de uniformização do tipo colméia.

Após o difusor, o escoamento sofre uma aceleração, devido à presença de uma contração na qual o escoamento sofre uma perda de pressão, isto é, converte-se em energia cinética (velocidade) que se dirige à seção de ensaio. Toda a construção das estruturas do túnel (difusor, contração, seção de ensaio), foram realizadas mediante técnicas utilizadas por Catalano (1998). Partes como: A caixa de uniformização do escoamento; a coifa para reter as vibrações provenientes do motor e a hélice do motor para geração do vento, foram realizadas mediante técnicas utilizadas no Laboratório de Aerodinâmica de Carrocerias de Veículos da Universidade Luterana do Brasil – ULBRA. As figuras 54 e 55 mostram o modelo esquemático e o túnel aerodinâmico instalado.

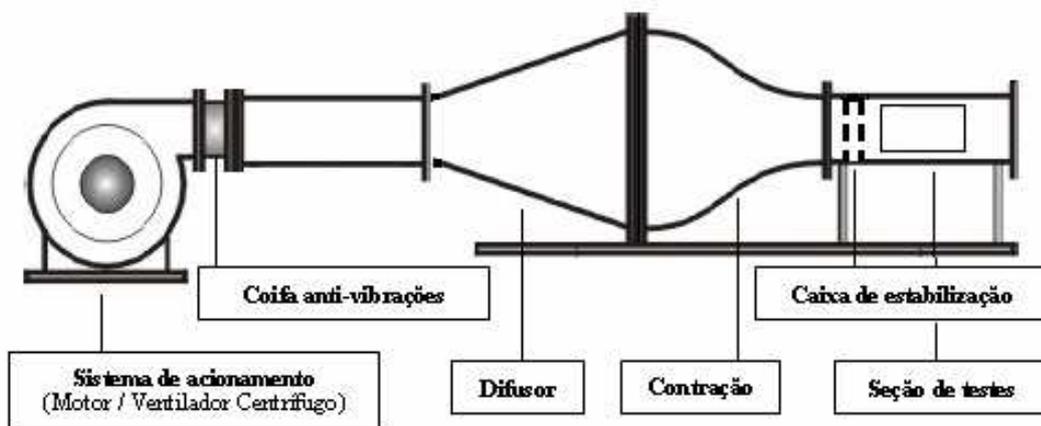


Figura 54. Modelo esquemático do túnel aerodinâmico.



Figura 55. Túnel Aerodinâmico instalado.

3.2. Projeto dos modelos experimentados

O experimento foi conduzido com dois modelos de diferentes tipos de carrocerias, sendo um deles com configuração de carro familiar (Utilitário), muito utilizado nas grandes cidades por grande parte da população e outro com configuração esportiva, voltado para o alto desempenho. Os modelos em questão são construídos em metal semelhantes ao utilizado pela indústria automobilística e possuem pintura automotiva, têm escala 1:18 e comercialmente vendidos para colecionadores, pois possuem as mesmas características que o veículo em escala real. Como pode visto nas figuras 56; 57; 58; 59; 60; 61; 62; 63 e 64 e nas tabelas 4 e 5.



Figura 56. Modelo familiar.



Figura 57. Vista dianteira do modelo familiar.



Figura 58. vista traseira do modelo familiar.



Figura 59. Modelo familiar em ensaio no túnel.



Figura 60. Modelo esportivo.



Figura 61. Vista dianteira do modelo esportivo.



Figura 62. Vista traseira do modelo esportivo.



Figura 63. Modelo esportivo em ensaio no túnel.



Figura 64. Modelos familiar e esportivo respectivamente.

Tabela 4. Dimensões do Modelo Familiar em escala 1:18.

Dimensões do Modelo Familiar (Utilitário)	
Comprimento	267 mm
Altura	96 mm
Largura	102 mm
Vão do solo	14 mm
Espessura dos pneus	15 mm

Tabela 5. Dimensões do Modelo Esportivo em escala 1:18.

Dimensões do Modelo Esportivo	
Comprimento	243 mm
Altura	67 mm
Largura	105 mm
Vão do solo	7 mm
Espessura dos pneus	15 mm

3.3. Distribuição de pressão nas superfícies dos modelos

No espaço interno do modelo foram instalados tubos plásticos que ficam perpendiculares com a superfície do modelo e que foram utilizados para as tomadas de pressão. Os procedimentos de construção foram os mesmos utilizados por Videira (2001).

Para as medidas de pressão foram utilizados 13 (treze) orifícios os quais estavam distribuídos ao longo da superfície de cada modelo, sendo 9 (nove) orifícios na superfície superior e 4 (quatro) na superfície inferior de cada modelo. Como mostra as figuras 65; 66; 67; 68; 69; 70; 71; 72; 73; 74; 75; 76; 77; 78; 79; 80; 81 e 82.

**Figura 65.** Tomadas de pressão da superfície superior do modelo familiar.



Figura 66. Vista das tomadas de pressão da superfície superior do modelo familiar.

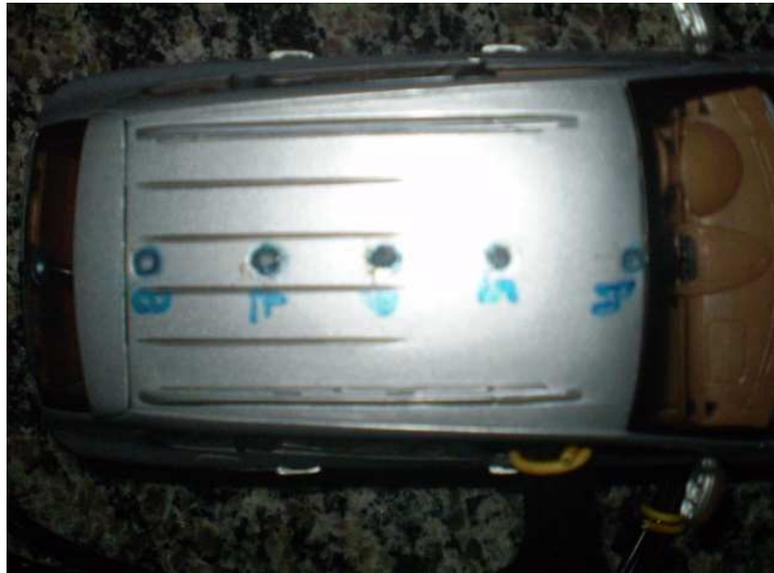


Figura 67. Detalhe das tomadas de pressão da superfície superior do modelo familiar.



Figura 68. Vista das tomadas de pressão da dianteira do modelo familiar.



Figura 69. Detalhe das tomadas de pressões da dianteira do modelo familiar.

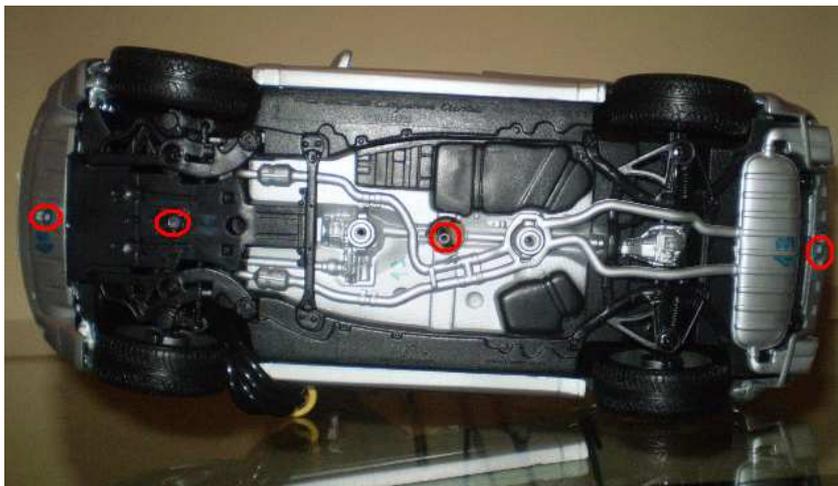


Figura 70. Tomadas de pressão da superfície inferior do modelo familiar.



Figura 71. Detalhe das tomadas de pressão da parte dianteira da superfície inferior do modelo familiar.



Figura 72. Detalhe das tomadas de pressão da parte traseira da superfície inferior do modelo familiar.

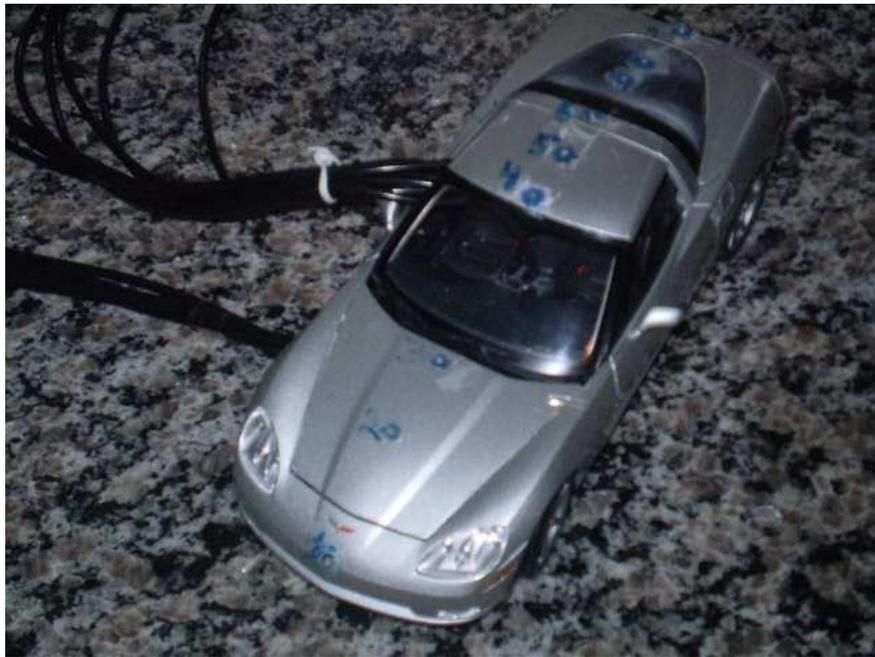


Figura 73. Tomadas de pressão da superfície superior do modelo esportivo.



Figura 74. Vista das tomadas de pressão da superfície superior do modelo esportivo.



Figura 75. Detalhe das tomadas de pressão da superfície superior do modelo esportivo.



Figura 76. Vista das tomadas de pressão da dianteira do modelo esportivo.



Figura 77. Detalhe das tomadas de pressões da dianteira do modelo esportivo.



Figura 78. Tomadas de pressão da superfície inferior do modelo esportivo.



Figura 79. Detalhe das tomadas de pressão da parte dianteira da superfície inferior do modelo esportivo.



Figura 80. Detalhe das tomadas de pressão da parte traseira da superfície inferior do modelo esportivo.



Figura 81. Modelo familiar em processo de ensaio.



Figura 82. Modelo esportivo em processo de ensaio.

As tomadas de pressão compreendiam tubos plásticos de 2,5 mm de diâmetro interno, posicionados perpendicularmente às superfícies. Esses tubos plásticos foram obtidos através da utilização de fio elétrico, no qual foi retirado o cobre, aproveitando apenas a proteção plástica dos mesmos. Como detalham as figuras 83; 84 e 85.



Figura 83. Retirada do cobre para utilização dos tubo plásticos.



Figura 84. Tubo plásticos utilizados nas tomadas de pressão no modelo esportivo.



Figura 85. Tubo plásticos utilizados nas tomadas de pressão no modelo familiar.

3.4. Configuração da mesa automobilística para simulação do movimento do piso

Para teste de veículos em túnel de vento, é necessário reproduzir as condições reais de uma estrada. Todo veículo se move através do ar parado. No entanto, não há formação de uma camada limite no solo. Ensaio aerodinâmico em túnel de vento, necessitam de simulação da presença do solo de forma realista.

Desde os primeiros ensaios de modelos de automóveis em túneis aerodinâmicos, discute-se a melhor forma para a simulação do efeito do solo, pois a camada limite, produzida pelo piso da câmara de ensaios do túnel, pode alterar o comportamento do fluxo na superfície inferior dos modelos a serem testados. Tais estudos foram realizados por pesquisadores no intuito de avaliar a influência do efeito solo nas forças aerodinâmicas que o fluxo exerce sobre o modelo.

Os testes realizados neste trabalho foram conduzidos com uma configuração de piso plano e fixo. A placa construída foi fixada em uma armação de madeira e posicionada na frente da seção transversal do túnel aerodinâmico, a uma altura de 10cm da parede inferior do túnel, para que segundo Anderson (2001) a camada-limite da parede inferior do túnel não influenciasse na superfície inferior dos modelos. Como mostram as figuras 86 e 87.



Figura 86. Mesa simuladora do piso.



Figura 87. Mesa simuladora do piso instalada no túnel.

3.5. Monitoramento e distribuição das pressões e velocidades

O monitoramento da pressão e velocidade do escoamento foi realizado através de um micromanômetro digital modelo 475-000 Mark III. Acoplado ao micromanômetro um tubo de “Pitot” modelo 160, o qual foi posicionado no meio da seção de ensaio a uma distância de 25 cm, das paredes da seção, região na qual está menos sujeita a interferências do atrito com as paredes internas da seção. Como mostram as figuras 88 e 89.



Figura 88. Micromanômetro digital usado no experimento.



Figura 89. Tubo de “Pitot” usado no experimento.

Para a realização da leitura da pressão, o micromanômetro foi conectado aos tubos plásticos que estavam em contato com a superfície dos modelos. Uma vez, com a pressão em cada um dos pontos dos modelos, foi possível calcular a velocidade do ar no instante em que o ar passava em cada ponto, pela equação dada no manual do micromanômetro:

$$V_{ar} = 1096,2 \sqrt{\frac{P_v}{D}} \quad (\text{Eq. 14})$$

onde:

V_{ar} – Velocidade do ar;

P_v – Pressão;

D – Densidade do ar.

$$D = 1325 \frac{P_a}{T} \quad (\text{Eq. 15})$$

onde:

P_a – Pressão Barométrica;

T – Temperatura absoluta.

Outra forma de obtenção da velocidade do ar é utilizando-se do gráfico do anexo 1.

3.6. Incertezas experimentais

Os resultados quantitativos obtidos em ensaios experimentais apresentam pequenas discrepâncias que são decorrentes da calibração dos instrumentos de medição. Segundo Vuolo (1996), além da incerteza na calibração do instrumento, deve ser observado que a calibração pode se alterar em função de diversos fatores, tais como temperatura, alteração das características dos materiais e componentes, desgaste de partes móveis e outros. No presente trabalho, foram realizadas medições utilizando duas variáveis (pressão e temperatura).

Para o cálculo dos intervalos de incerteza utilizou-se o método apresentado por Kline e McClintock (1953), que se baseia na escala dos instrumentos pela equação a seguir:

$$\Delta_v = \sqrt{\left(\frac{\partial R}{\partial v_1} * \Delta_{v1}\right)^2 + \left(\frac{\partial R}{\partial v_2} * \Delta_{v2}\right)^2 + \dots + \left(\frac{\partial R}{\partial v_n} * \Delta_{v_n}\right)^2} \quad (\text{Eq. 16})$$

onde, R uma função de variáveis independentes (V_1, V_2, \dots, V_n), isto é:

$$R = R(V_1, V_2, \dots, V_n) \quad (\text{Eq. 17})$$

No apêndice A estão apresentados todos os resultados e procedimentos para os cálculos de incertezas deste trabalho.

3.7. Condições dos ensaios

As condições de temperatura ambiente, pressão atmosférica e densidades do ar dos ensaios com o modelo familiar estão apresentadas a seguir.

Pressão atmosférica: 691 mmHg

Densidade do Ar: 1.075 Kg/m³

Tabela 6. Condições de ensaios do modelo familiar.

	Temp. ambiente (K)
Ensaio 1	298,65
Ensaio 2	298,15
Ensaio 3	298,15
Ensaio 4	298,55
Ensaio 5	298,15

As condições de temperatura ambiente, pressão atmosférica e densidades do ar dos ensaios com o modelo esportivo estão apresentadas a seguir.

Pressão atmosférica: 691 mmHg

Densidade do Ar: 1.075 Kg/m³

Tabela 7. Condições de ensaios do modelo familiar.

	Temp. ambiente (K)
Ensaio 1	298,65
Ensaio 2	298,15
Ensaio 3	298,15
Ensaio 4	298,55
Ensaio 5	298,15

4. RESULTADOS E DISCUSÃO

Neste capítulo apresenta-se às análises dos resultados obtidos no ensaio experimental. Em cada um dos pontos de tomada de pressão, foram realizadas sete medições, das quais foram aproveitadas cinco, sendo eliminado as medidas extremas. Os resultados estão registrados em tabelas e gráficos que contém os valores de pressão e velocidade do escoamento.

Os dados referentes a cada medição são expostos nas tabelas e gráficos a seguir, onde constam os respectivos valores de temperatura e pressão atmosférica relativa à condições ambientes para cada ensaio.

4.1. Resultados com o modelo familiar (Utilitário)

Medição 1

Tabela 8. Valores correspondentes a medição 1 da superfície superior do modelo familiar.

Superfície superior do modelo		
Pontos	Pressão (kPa)	Velocidade (m/s)
1	2,910	6,961
2	2,580	6,452
3	2,142	5,995
4	3,951	8,114
5	3,332	7,471
6	3,130	7,262
7	2,983	7,114
8	2,962	7,063
9	2,830	6,811

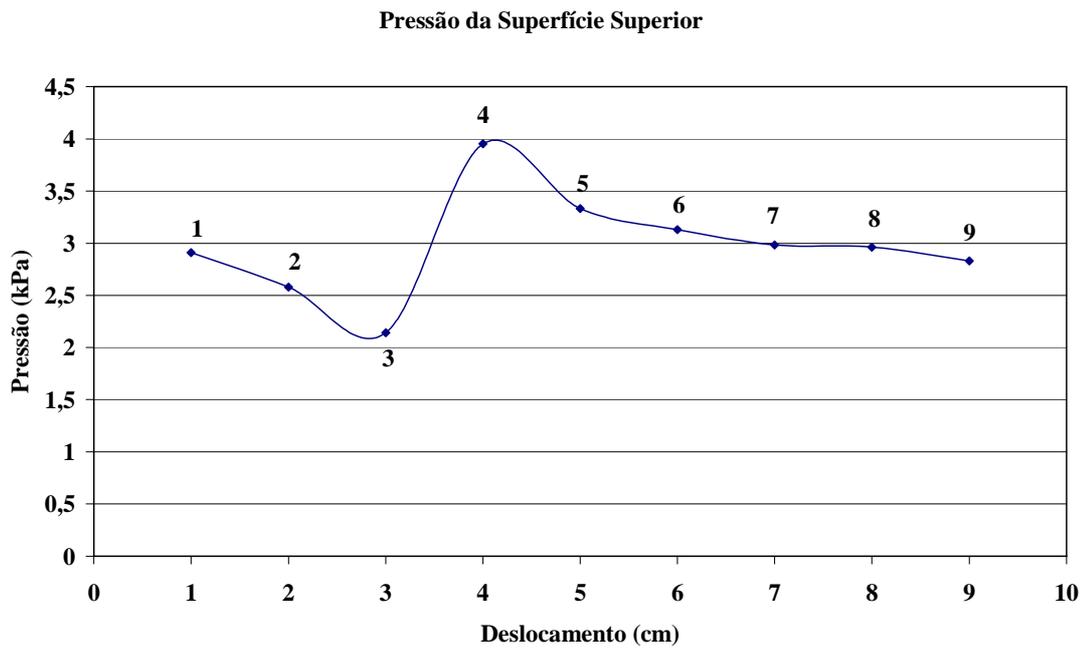


Figura 90. Curva da pressão ao longo da parte superior da carroceria do modelo familiar.

Tabela 9. Valores correspondentes a medição 1 da superfície inferior do modelo familiar.

Superfície inferior do modelo		
Pontos	Pressão (kPa)	Velocidade (m/s)
10	1,960	5,821
11	2,711	6,553
12	2,782	6,702
13	2,860	6,861

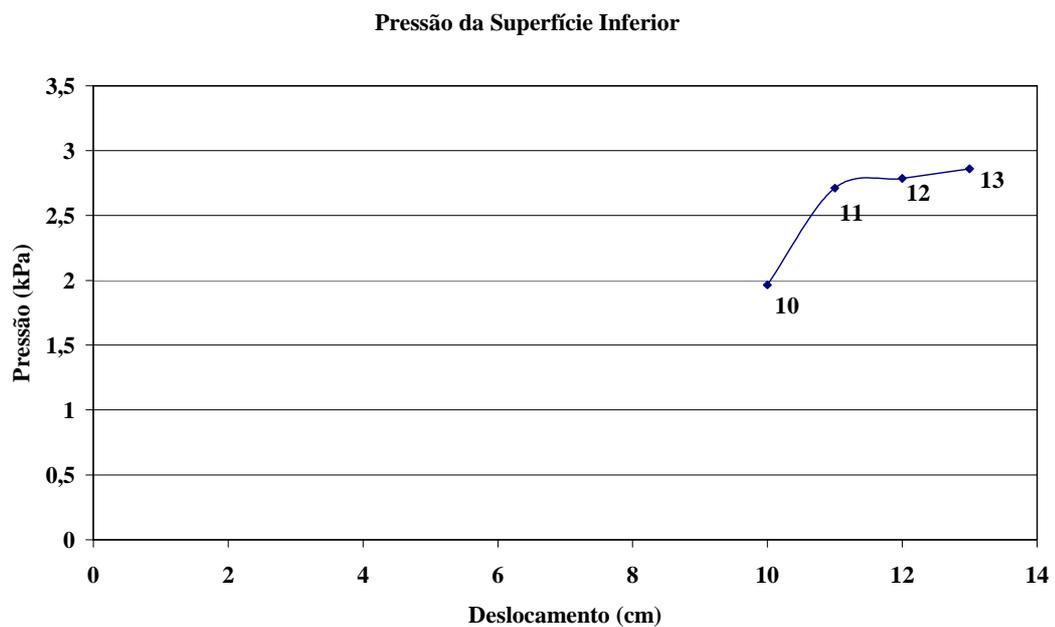


Figura 91. Curva da pressão ao longo da parte inferior da carroceria do modelo familiar.

Medição 2

Tabela 10. Valores correspondentes a medição 2 da superfície inferior do modelo familiar.

Superfície superior do modelo

Pontos	Pressão (kPa)	Velocidade (m/s)
1	2,862	6,858
2	2,541	6,350
3	2,243	6,096
4	4,081	8,280
5	3,312	7,447
6	3,081	7,214
7	2,964	7,087
8	2,981	7,112
9	2,862	6,858

Pressão da Superfície Superior

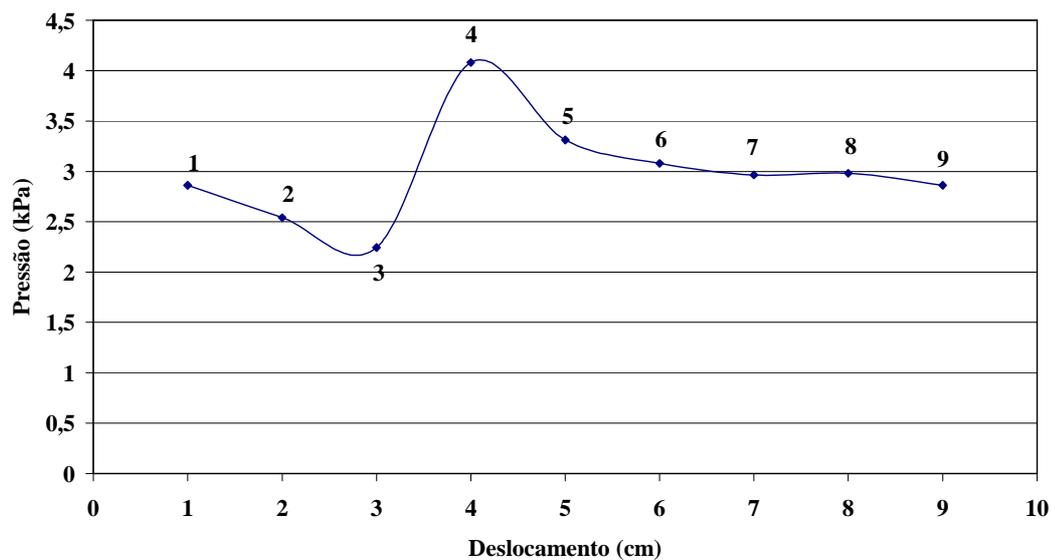


Figura 92. Curva da pressão ao longo da parte superior da carroceria do modelo familiar.

Tabela 11. Valores correspondentes a medição 2 da superfície inferior do modelo familiar.

Superfície inferior do modelo

Pontos	Pressão (kPa)	Velocidade (m/s)
10	1,891	5,578
11	2,513	6,324
12	2,741	6,604
13	2,811	6,731

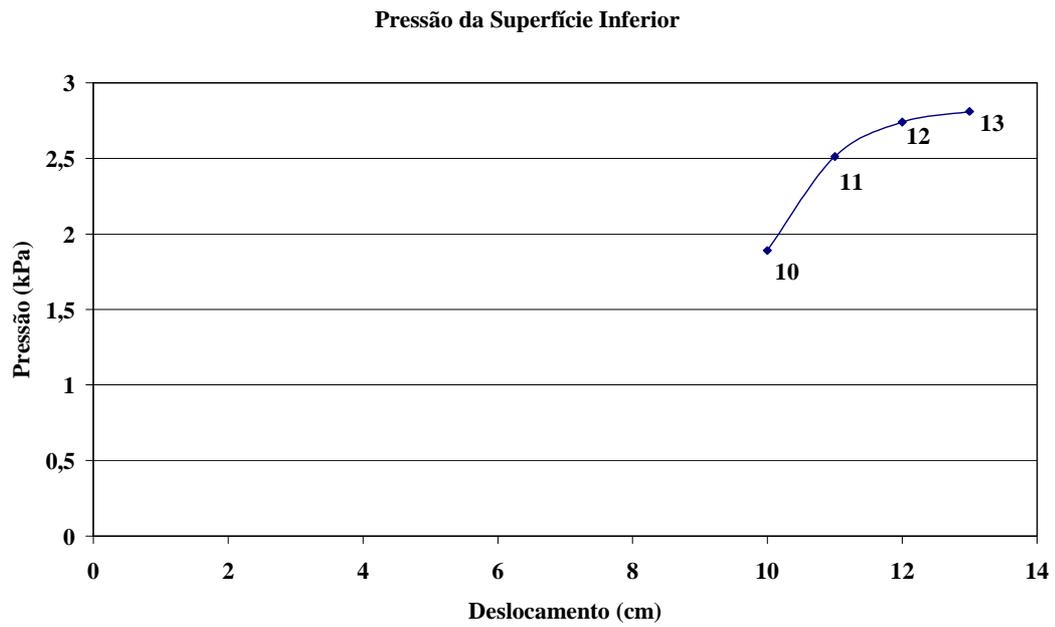


Figura 93. Curva da pressão ao longo da parte inferior da carroceria do modelo familiar.

Medição 3

Tabela 12. Valores correspondentes a medição 3 da superfície superior do modelo familiar.

Superfície superior do modelo		
Pontos	Pressão (kPa)	Velocidade (m/s)
1	2,841	6,756
2	2,592	6,350
3	2,341	6,248
4	4,150	8,550
5	3,283	7,427
6	3,261	7,422
7	2,932	7,061
8	2,990	7,112
9	2,811	6,731

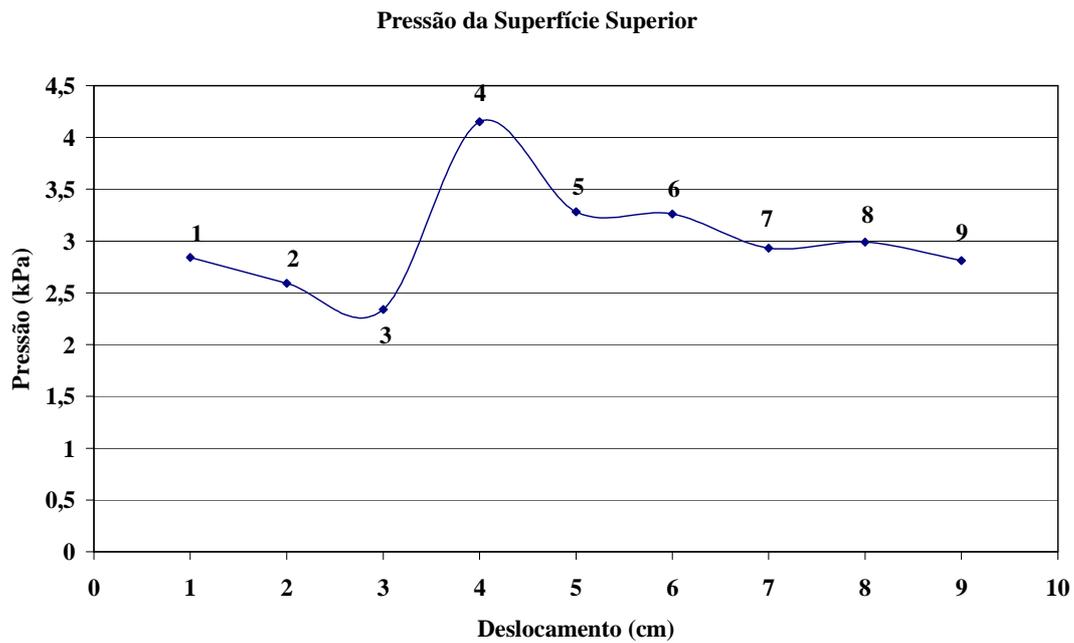


Figura 94. Curva da pressão ao longo da parte superior da carroceria do modelo familiar.

Tabela 13. Valores correspondentes a medição 3 da superfície inferior do modelo familiar.

Superfície inferior do modelo		
Pontos	Pressão (kPa)	Velocidade (m/s)
10	2,041	5,974
11	2,562	6,400
12	2,761	6,655
13	2,740	6,604

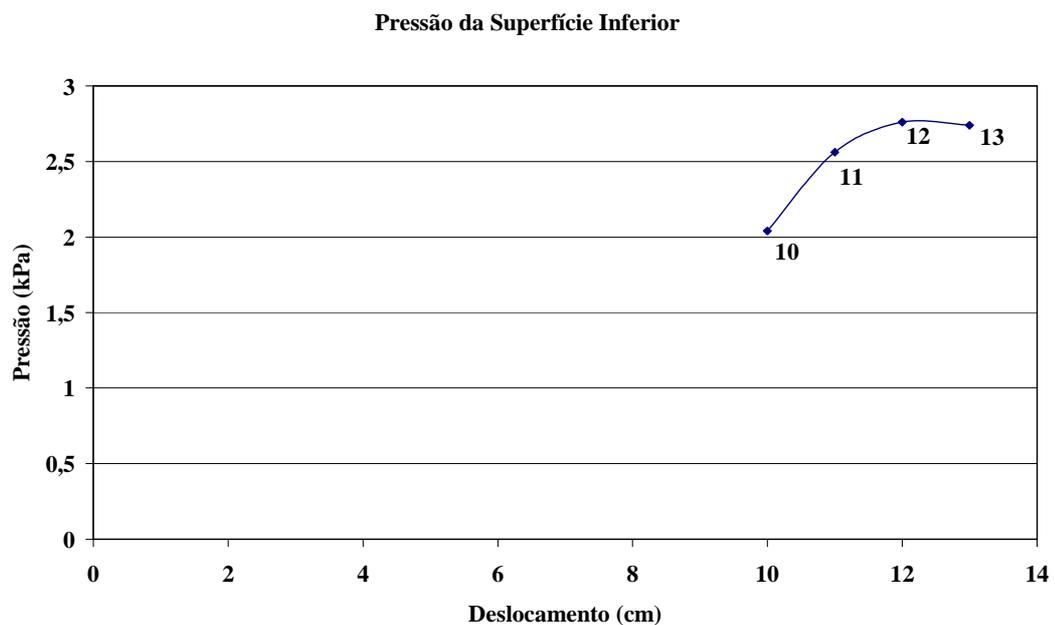


Figura 95. Curva da pressão ao longo da parte inferior da carroceria do modelo familiar.

Medição 4

Tabela 14. Valores correspondentes a medição 4 da superfície superior do modelo familiar.

Superfície superior do modelo		
Pontos	Pressão (kPa)	Velocidade (m/s)
1	2,991	7,112
2	2,512	6,324
3	2,041	5,974
4	3,882	8,077
5	3,260	7,391
6	3,111	7,264
7	2,912	6,959
8	3,031	7,163
9	2,842	6,807

Pressão da Superfície Superior

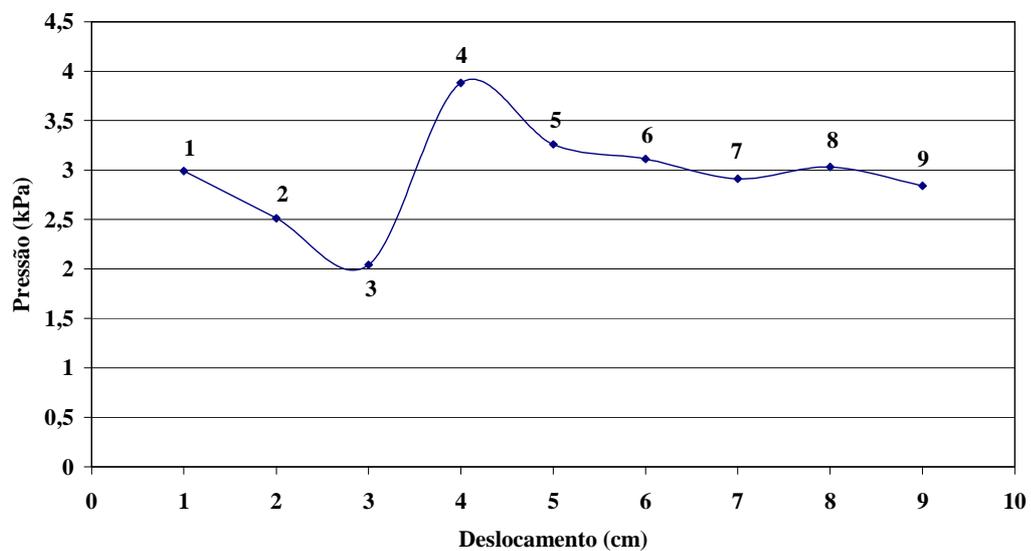


Figura 96. Curva da pressão ao longo da parte superior da carroceria do modelo familiar.

Tabela 15. Valores correspondentes a medição 4 da superfície inferior do modelo familiar.

Superfície inferior do modelo		
Pontos	Pressão (kPa)	Velocidade (m/s)
10	1,921	5,613
11	2,492	6,350
12	2,811	6,731
13	2,790	6,705

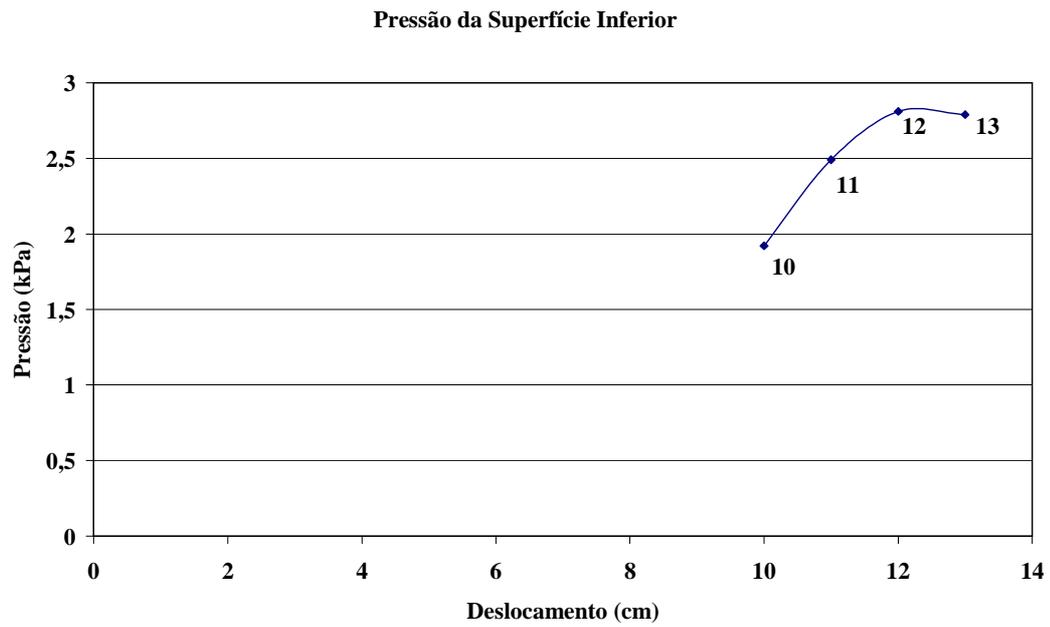


Figura 97. Curva da pressão ao longo da parte inferior da carroceria do modelo familiar.

Medição 5

Tabela 16. Valores correspondentes a medição 5 da superfície superior do modelo familiar.

Superfície superior do modelo		
Pontos	Pressão (kPa)	Velocidade (m/s)
1	3,211	7,467
2	2,662	6,502
3	2,112	6,019
4	3,853	8,052
5	3,431	7,620
6	3,112	7,264
7	2,983	7,112
8	2,983	7,112
9	2,811	6,731

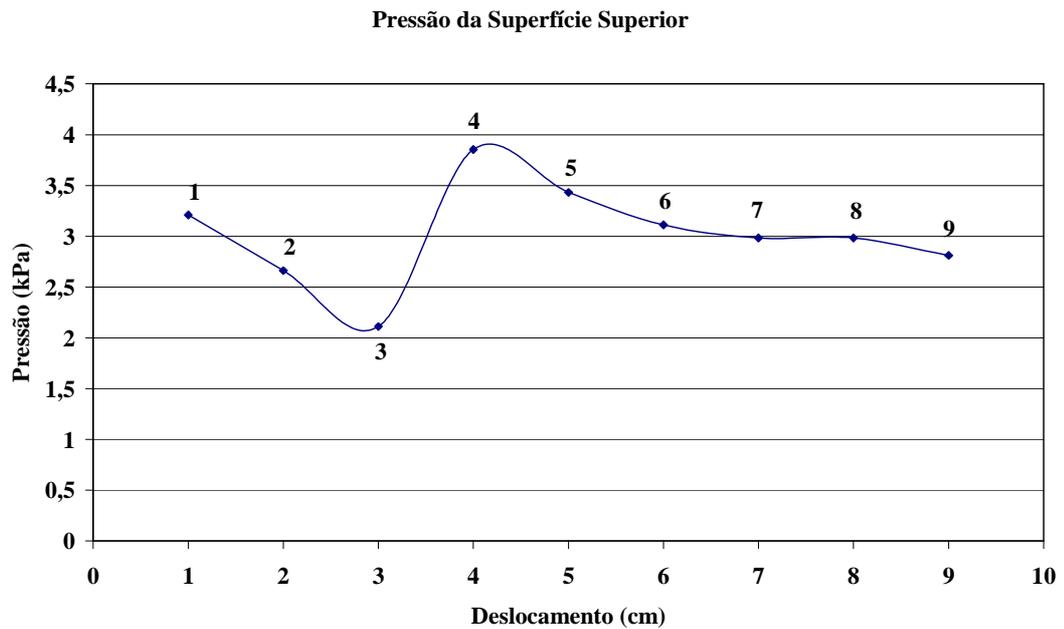


Figura 98. Curva da pressão ao longo da parte superior da carroceria do modelo familiar.

Tabela 17 – Valores correspondentes a medição 5 da superfície inferior do modelo familiar.

Superfície inferior do modelo		
Pontos	Pressão (kPa)	Velocidade (m/s)
10	2,061	5,989
11	2,442	6,340
12	2,711	6,553
13	2,940	7,027

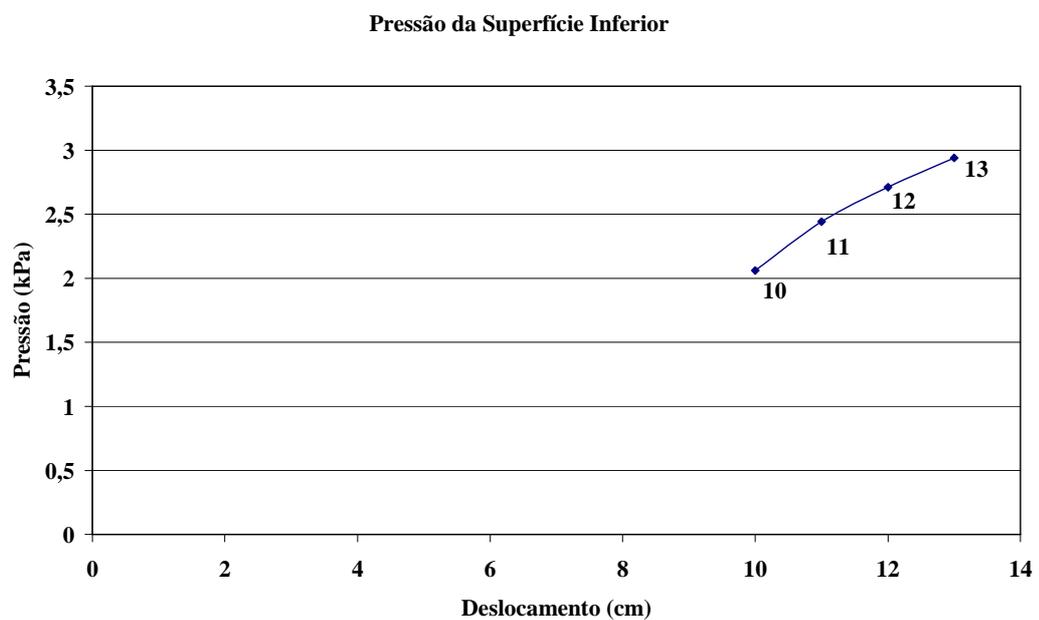


Figura 99. Curva da pressão ao longo da parte inferior da carroceria do modelo familiar.

4.2. Resultados com o modelo esportivo

Medição 1

Tabela 18. Valores correspondentes a medição 1 da superfície superior do modelo esportivo.

Superfície superior do modelo		
Pontos	Pressão (kPa)	Velocidade (m/s)
1	2,341	6,248
2	3,082	7,214
3	2,291	6,238
4	4,332	8,534
5	3,361	7,518
6	3,602	7,721
7	2,693	6,502
8	2,693	6,502
9	2,711	6,553

Pressão da Superfície Superior

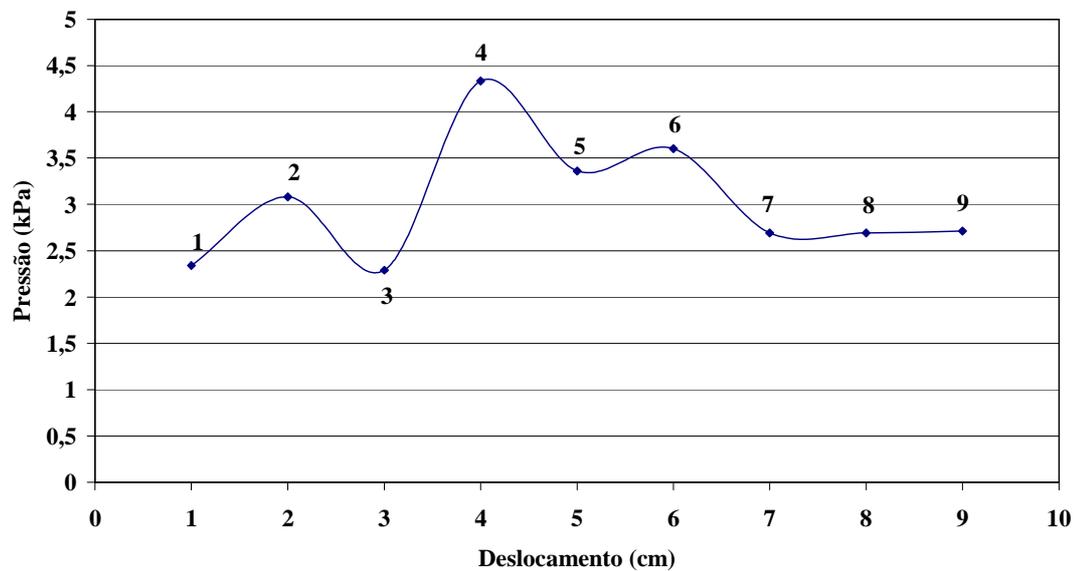
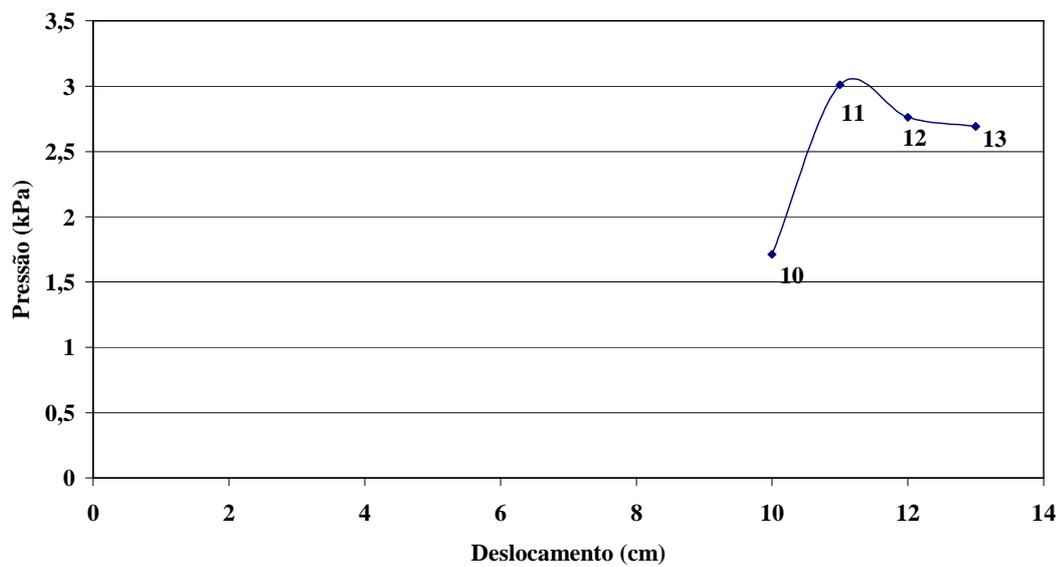


Figura 100. Curva da pressão ao longo da parte superior da carroceria do modelo esportivo.

Tabela 19. Valores correspondentes a medição 1 da superfície inferior do modelo esportivo.

Superfície inferior do modelo		
Pontos	Pressão (kPa)	Velocidade (m/s)
10	1,712	6,330
11	3,011	7,137
12	2,762	6,655
13	2,692	6,528

Pressão da Superfície Inferior**Figura 101.** Curva da pressão ao longo da parte inferior da carroceria do modelo esportivo.

Medição 2

Tabela 20. Valores correspondentes a medição 2 da superfície superior do modelo esportivo.

Superfície superior do modelo		
Pontos	Pressão (kPa)	Velocidade (m/s)
1	2,290	6,197
2	2,910	6,959
3	2,341	6,248
4	4,501	8,255
5	3,332	7,467
6	3,461	7,610
7	2,743	6,299
8	2,691	6,502
9	2,542	6,350

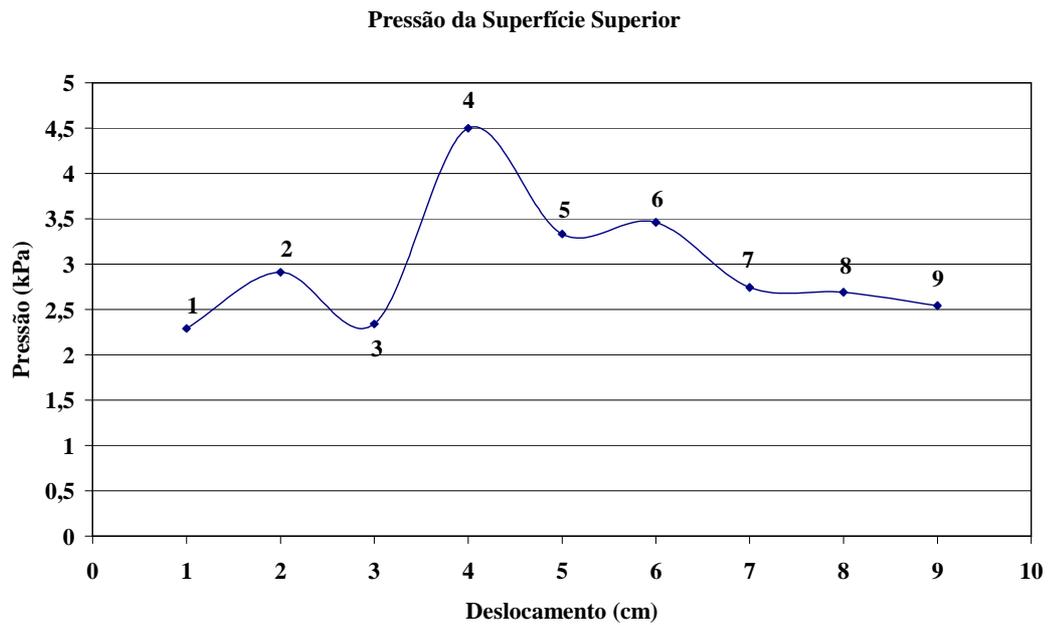


Figura 102. Curva da pressão ao longo da parte superior da carroceria do modelo esportivo.

Tabela 21. Valores correspondentes a medição 2 da superfície inferior do modelo esportivo.

Superfície inferior do modelo		
Pontos	Pressão (kPa)	Velocidade (m/s)
10	1,421	4,861
11	3,032	7,163
12	2,712	6,553
13	2,761	6,654

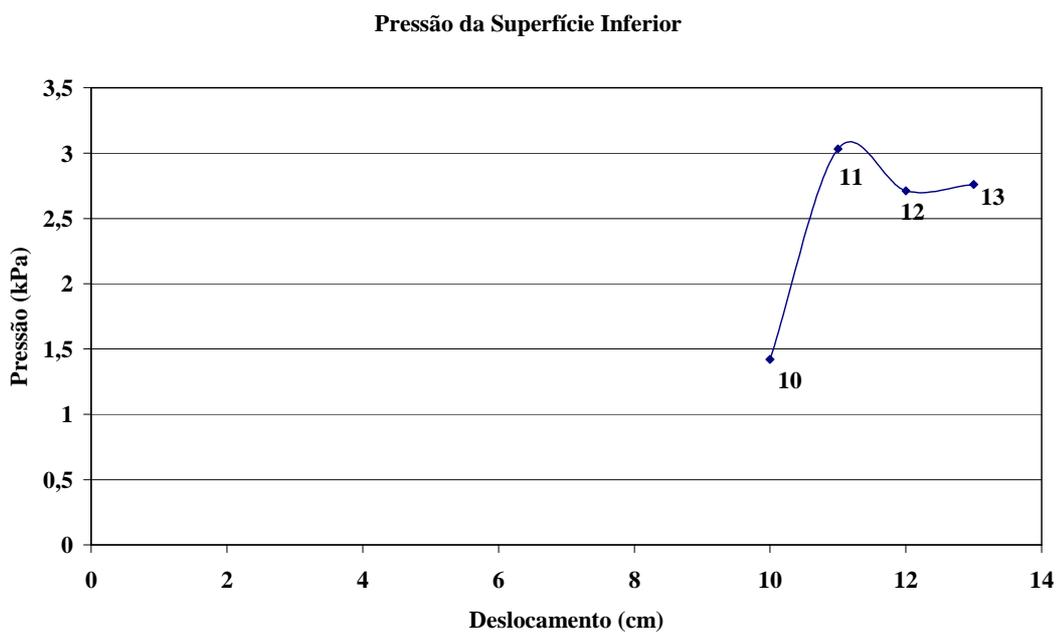


Figura 103. Curva da pressão ao longo da parte inferior da carroceria do modelo esportivo.

Medição 3

Tabela 22. Valores correspondentes a medição 3 da superfície superior do modelo esportivo.

Superfície superior do modelo		
Pontos	Pressão (kPa)	Velocidade (m/s)
1	2,291	6,197
2	2,792	6,705
3	2,221	6,025
4	4,301	8,585
5	3,232	7,417
6	3,712	7,864
7	2,961	7,086
8	2,563	6,401
9	2,712	6,553

Pressão da Superfície Superior

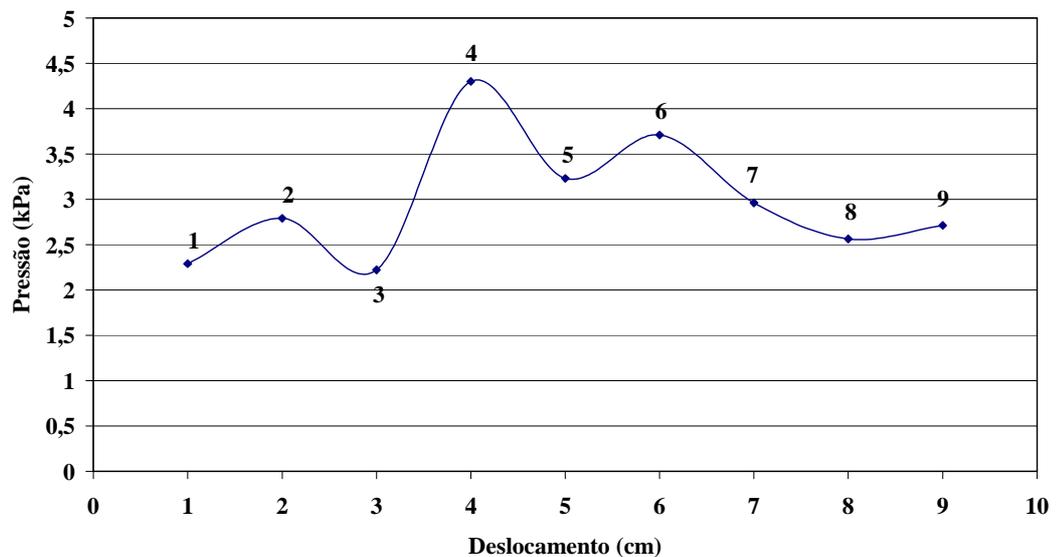


Figura 104. Curva da pressão ao longo da parte superior da carroceria do modelo esportivo.

Tabela 23. Valores correspondentes a medição 3 da superfície inferior do modelo esportivo.

Superfície inferior do modelo		
Pontos	Pressão (kPa)	Velocidade (m/s)
10	1,441	4,866
11	3,112	7,264
12	2,691	6,502
13	2,691	6,502

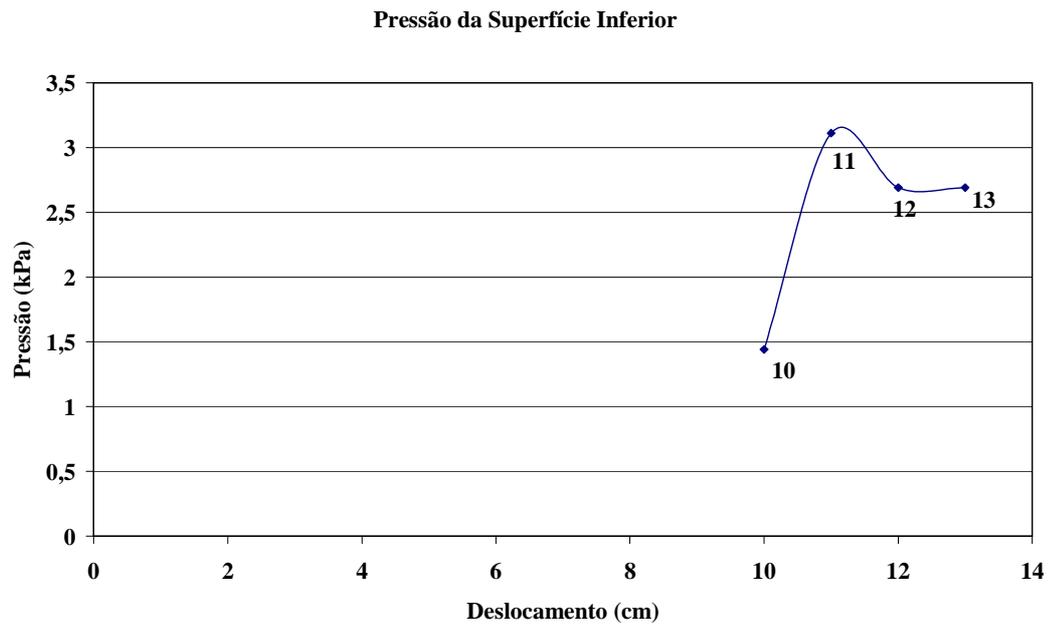


Figura 105. Curva da pressão ao longo da parte inferior da carroceria do modelo esportivo.

Medição 4

Tabela 24. Valores correspondentes a medição 4 da superfície superior do modelo.

Superfície superior do modelo		
Pontos	Pressão (kPa)	Velocidade (m/s)
1	2,561	6,401
2	2,861	6,858
3	2,192	6,086
4	4,152	8,546
5	3,411	7,518
6	3,511	7,671
7	2,882	6,909
8	2,863	6,858
9	2,691	6,502

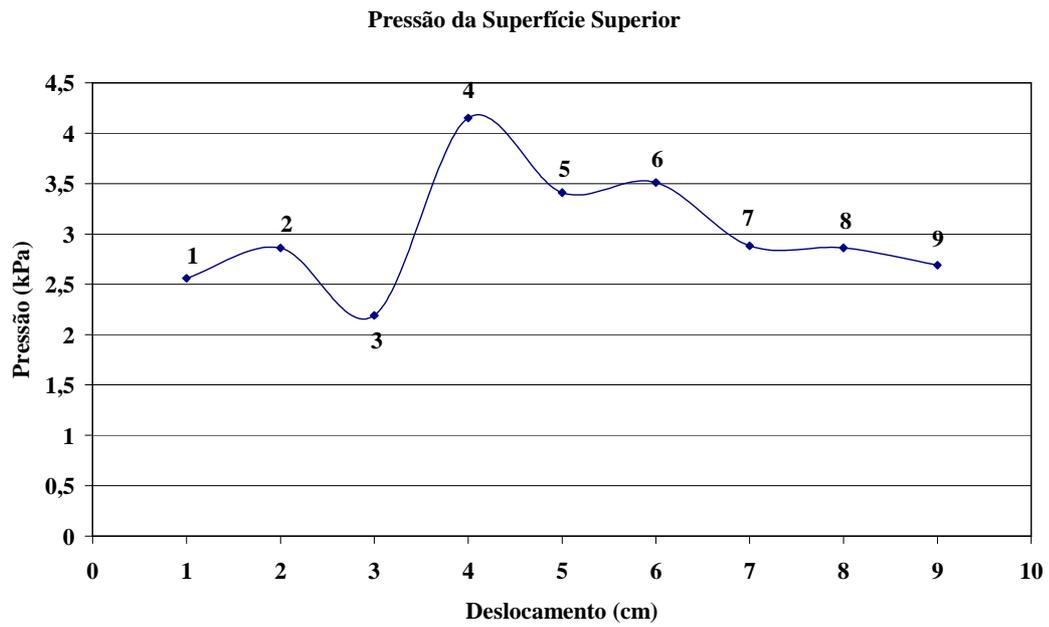


Figura 106. Curva da pressão ao longo da parte superior da carroceria do modelo esportivo.

Tabela 25. Valores correspondentes a medição 4 da superfície inferior do modelo.

Superfície inferior do modelo		
Pontos	Pressão (kPa)	Velocidade (m/s)
10	1,521	4,993
11	3,062	7,137
12	2,692	6,502
13	2,711	6,553

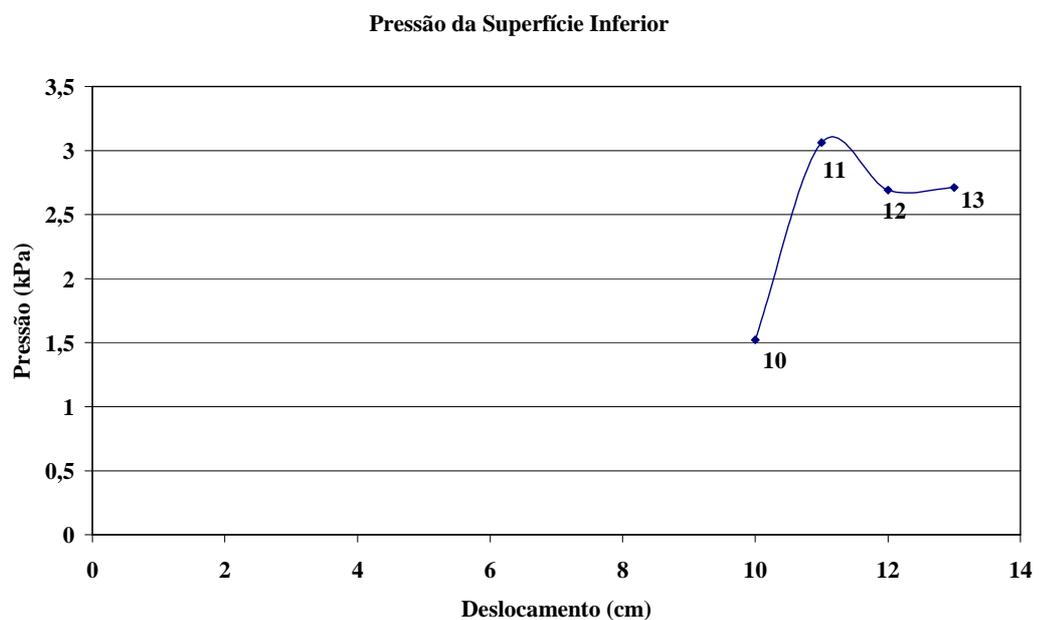


Figura 107. Curva da pressão ao longo da parte inferior da carroceria do modelo esportivo.

Medição 5

Tabela 26. Valores correspondentes a medição 5 da superfície superior do modelo esportivo.

Superfície superior do modelo		
Pontos	Pressão (kPa)	Velocidade (m/s)
1	2,361	6,350
2	2,792	6,705
3	2,343	6,299
4	4,251	8,433
5	3,361	7,518
6	3,552	7,645
7	2,712	6,553
8	2,741	6,604
9	2,663	6,502

Pressão da Superfície Superior

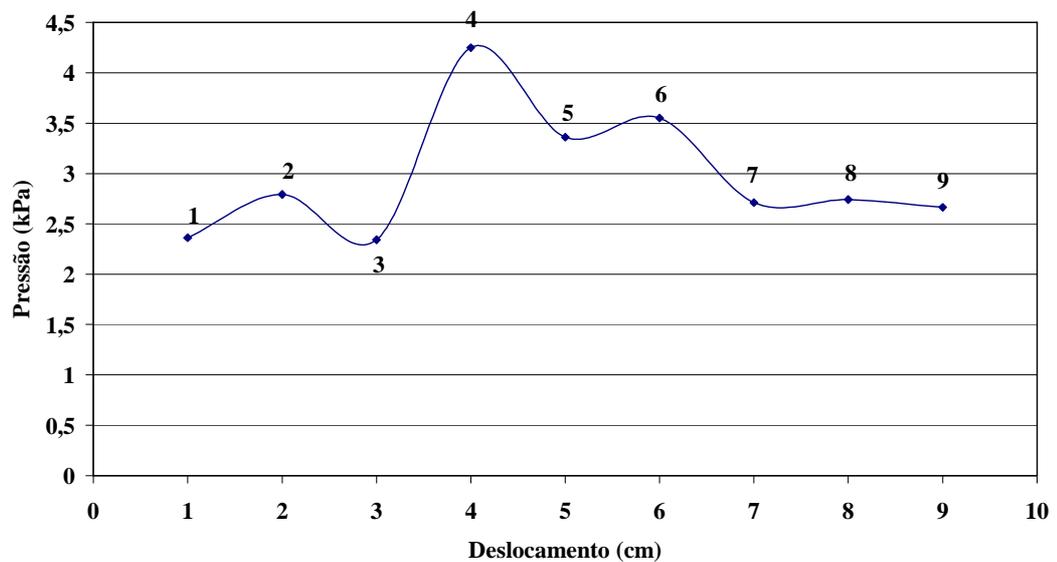


Figura 108. Curva da pressão ao longo da parte superior da carroceria do modelo esportivo.

Tabela 27. Valores correspondentes a medição 5 da superfície inferior do modelo esportivo.

Superfície inferior do modelo		
Pontos	Pressão (kPa)	Velocidade (m/s)
10	1,521	5,080
11	3,162	7,340
12	2,741	6,604
13	2,492	6,350

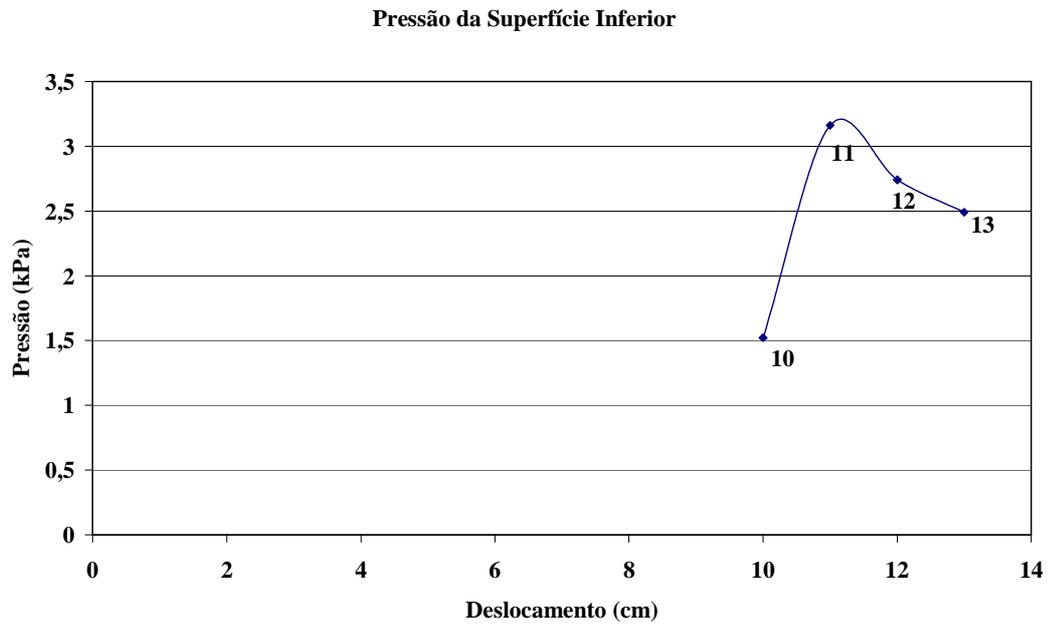


Figura 109. Curva da pressão ao longo da parte inferior da carroceria do modelo esportivo.

4.3. Comparativo dos resultados de cada modelo separadamente

Os dados referentes às médias e comparativo das medições são expostos nas tabelas e gráficos a seguir.

4.3.1. Comparativo do modelo familiar (Utilitário)

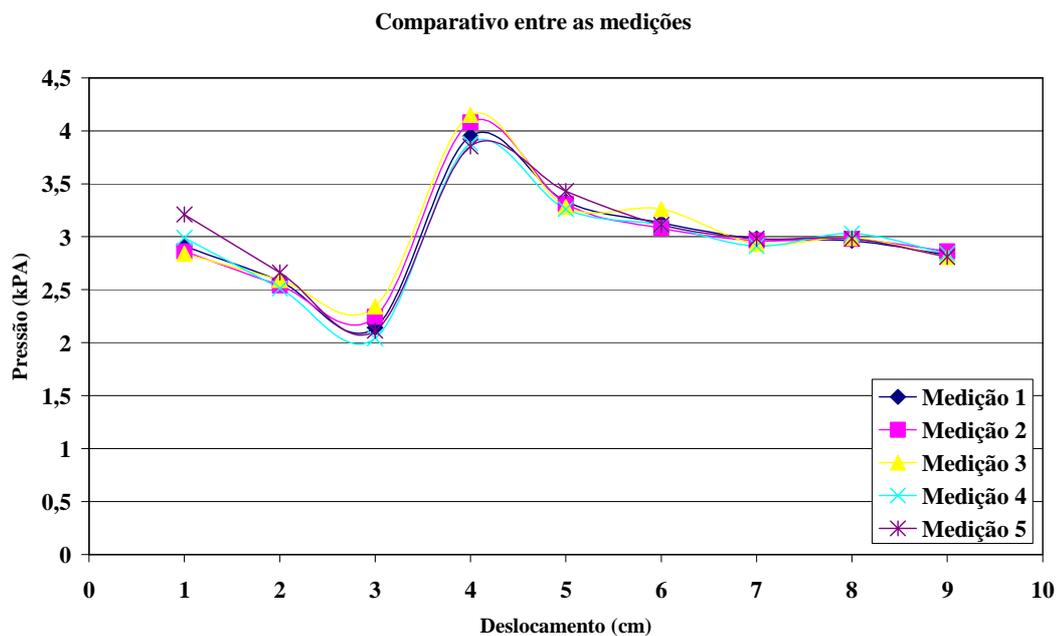


Figura 110. Curvas das pressões ao longo da parte superior da carroceria do modelo familiar.

Tabela 28. Média dos valores correspondentes à superfície superior do modelo familiar.

Pressão média da superfície superior do modelo		
Pontos	Pressão (kPa)	Velocidade (m/s)
1	2,963	7,086
2	2,577	6,400
3	2,176	6,020
4	3,983	8,128
5	3,324	7,447
6	3,139	7,264
7	2,955	7,061
8	2,989	7,112
9	2,831	6,807

Pressão Média da Superfície Superior do Modelo Familiar

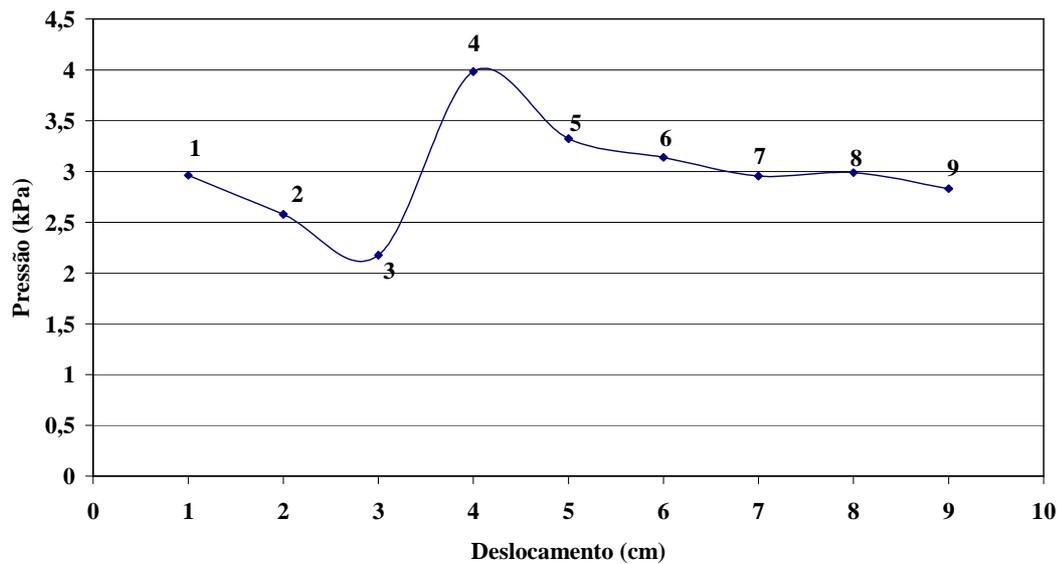


Figura 111. Curva média da pressão ao longo da parte superior da carroceria do modelo familiar.

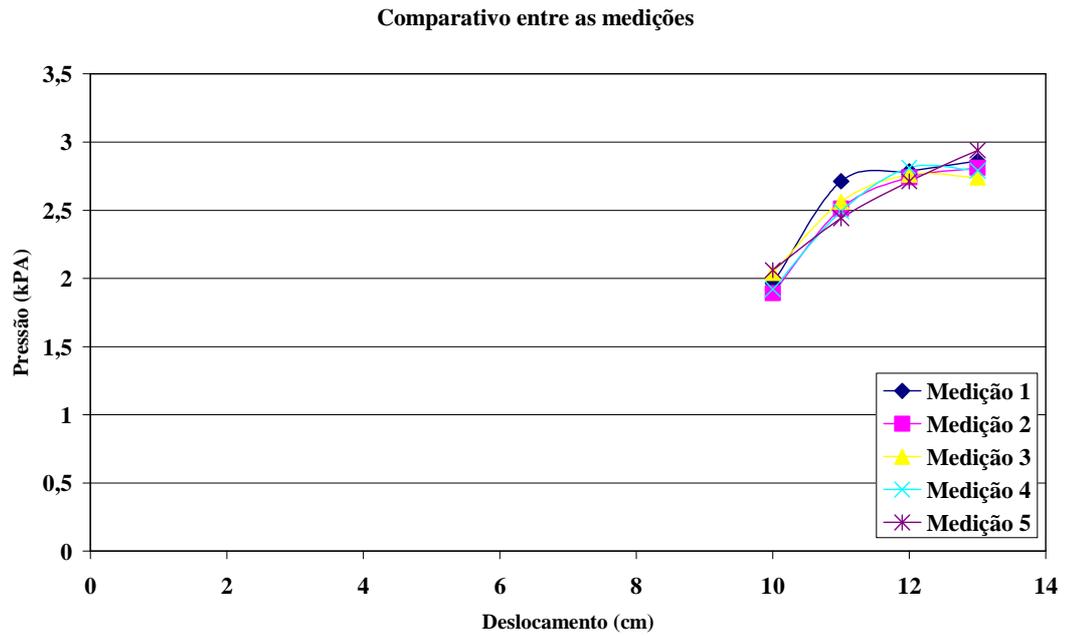


Figura 112. Curvas das pressões ao longo da parte inferior da carroceria do modelo familiar.

Tabela 29. Média dos valores correspondentes à superfície inferior do modelo familiar.

Pressão média da superfície inferior do modelo		
Pontos	Pressão (kPa)	Velocidade (m/s)
10	1,976	5,821
11	2,544	6,350
12	2,762	6,654
13	2,828	6,731

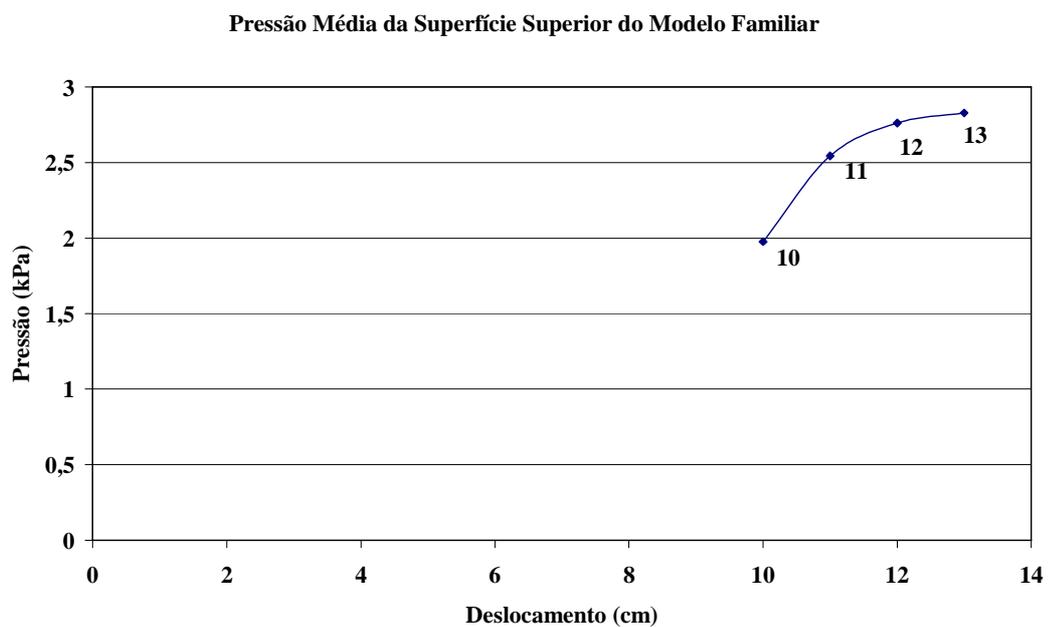


Figura 113. Curva média da pressão ao longo da parte inferior da carroceria do modelo familiar.

4.3.2. Comparativo do modelo esportivo

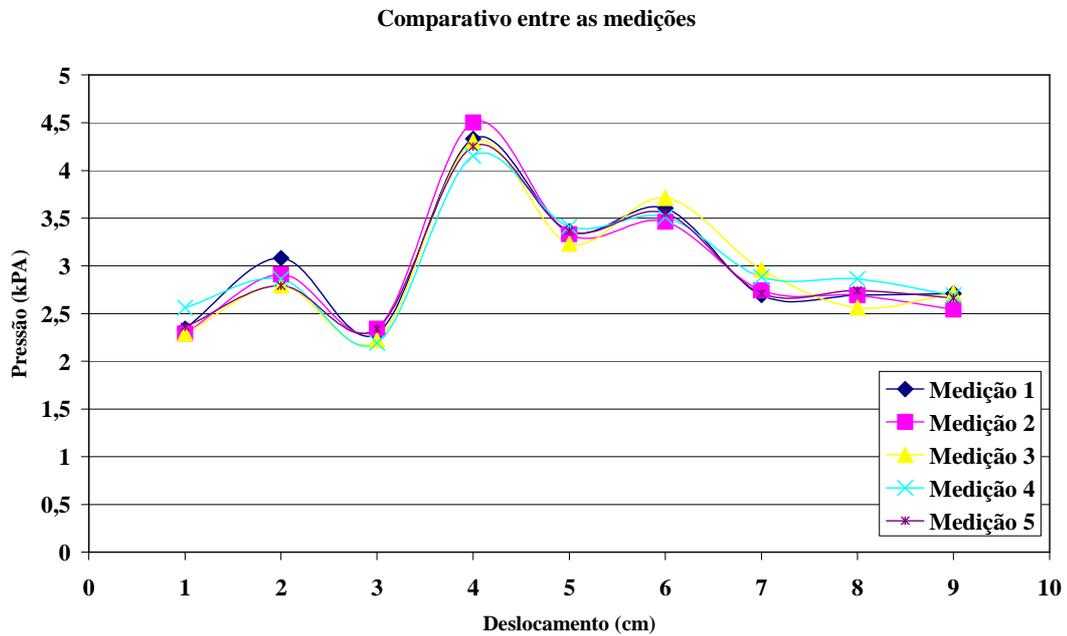


Figura 114. Curvas das pressões ao longo da parte superior da carroceria do modelo esportivo.

Tabela 30. Média dos valores correspondentes à superfície superior do modelo esportivo.

Pressão média da superfície superior do modelo		
Pontos	Pressão (kPa)	Velocidade (m/s)
1	2,368	6,273
2	2,887	8,128
3	2,277	6,228
4	4,307	8,559
5	3,339	7,467
6	3,567	7,645
7	2,798	6,705
8	2,710	6,553
9	2,663	6,502

Pressão Média da Superfície Superior do Modelo Familiar

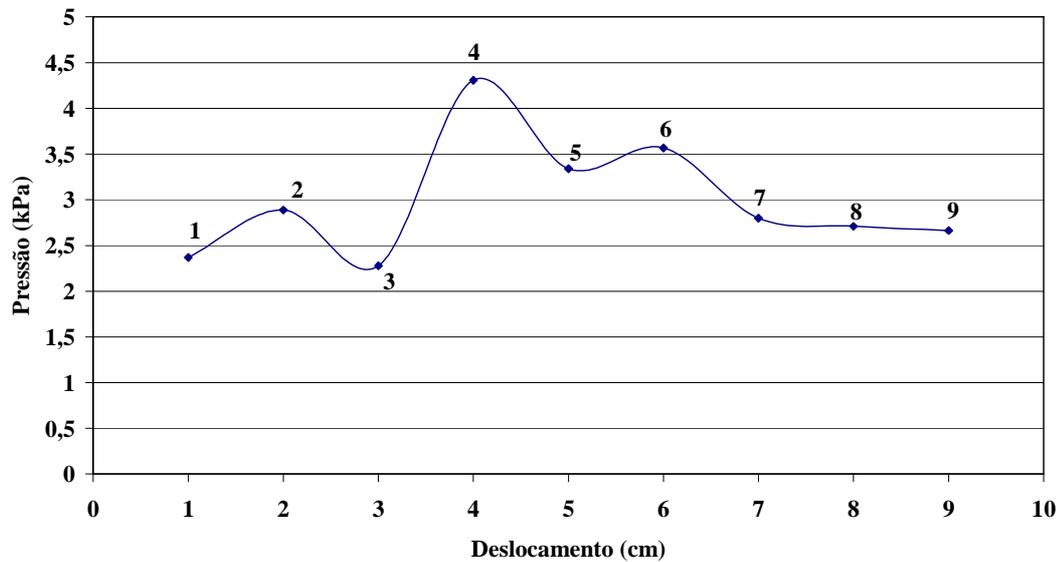


Figura 115. Curva média da pressão ao longo da parte superior da carroceria do modelo esportivo.

Comparativo entre as medições

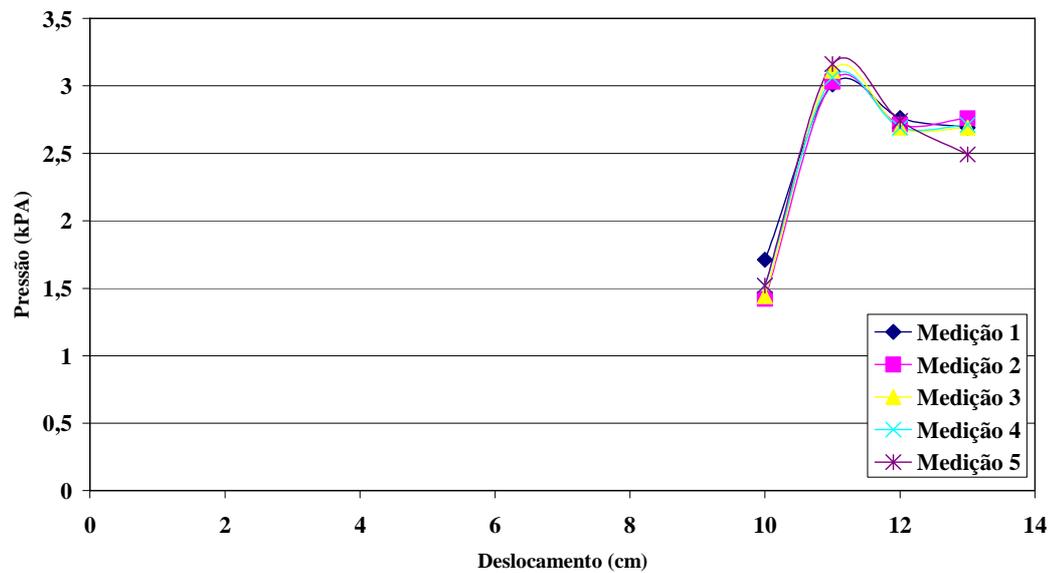


Figura 116. Curvas das pressões ao longo da parte inferior da carroceria do modelo esportivo.

Tabela 31. Média dos valores correspondentes à superfície inferior do modelo esportivo.

Pressão média da superfície inferior do modelo		
Pontos	Pressão (kPa)	Velocidade (m/s)
10	1,523	5,080
11	3,076	7,188
12	2,720	6,553
13	2,669	6,502

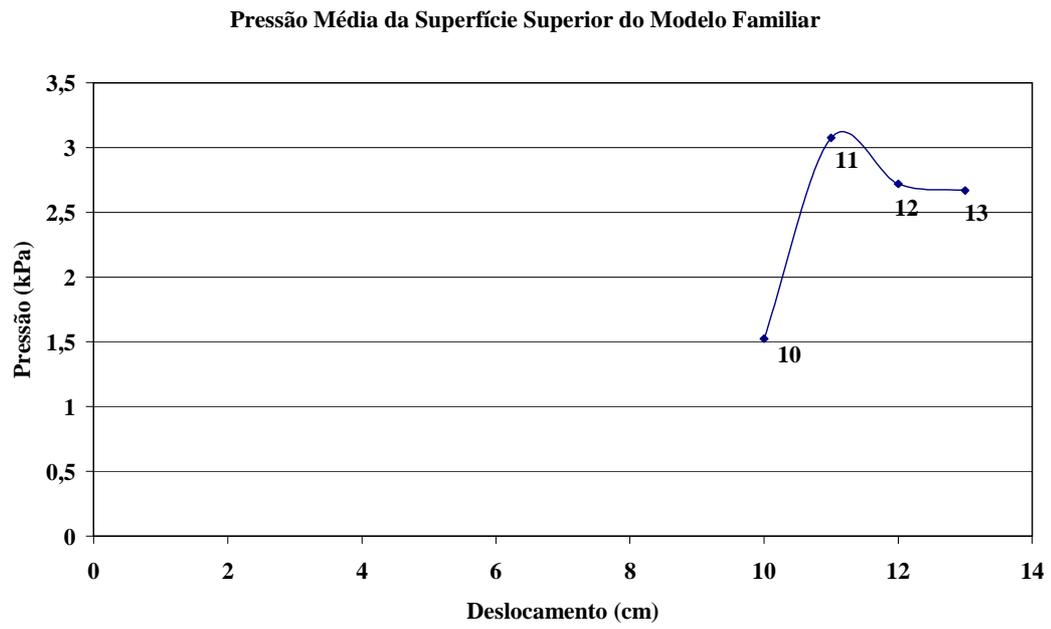


Figura 117. Curva média da pressão ao longo da parte inferior da carroceria do modelo esportivo.

4.4. Comparativo do modelo familiar X modelo esportivo

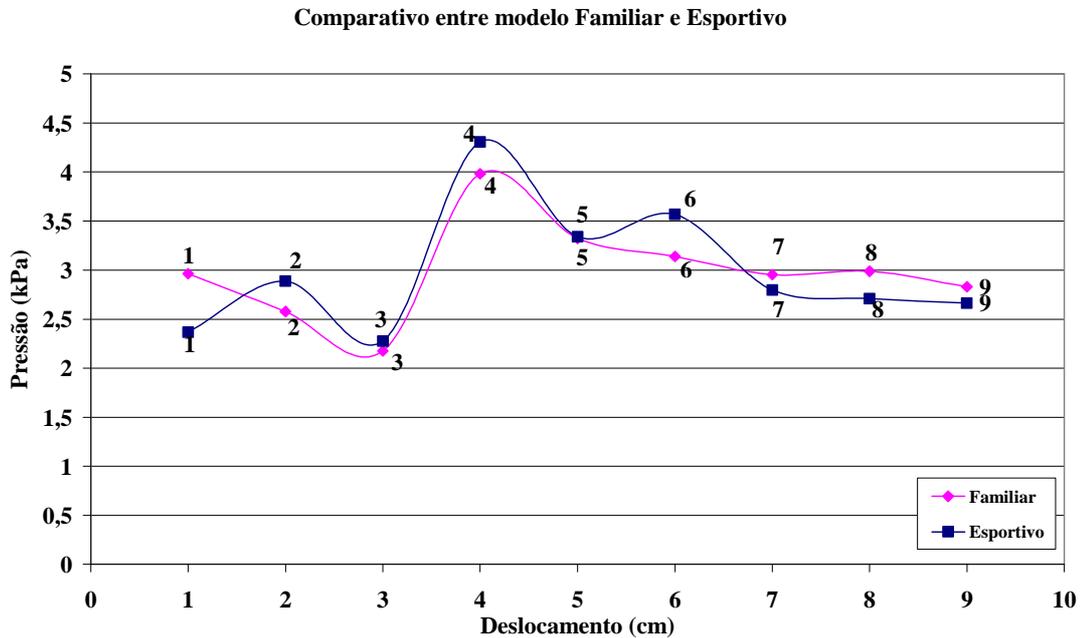


Figura 118. Comparativo das curvas médias da pressão ao longo da parte superior da carroceria dos modelos familiar x esportivo.

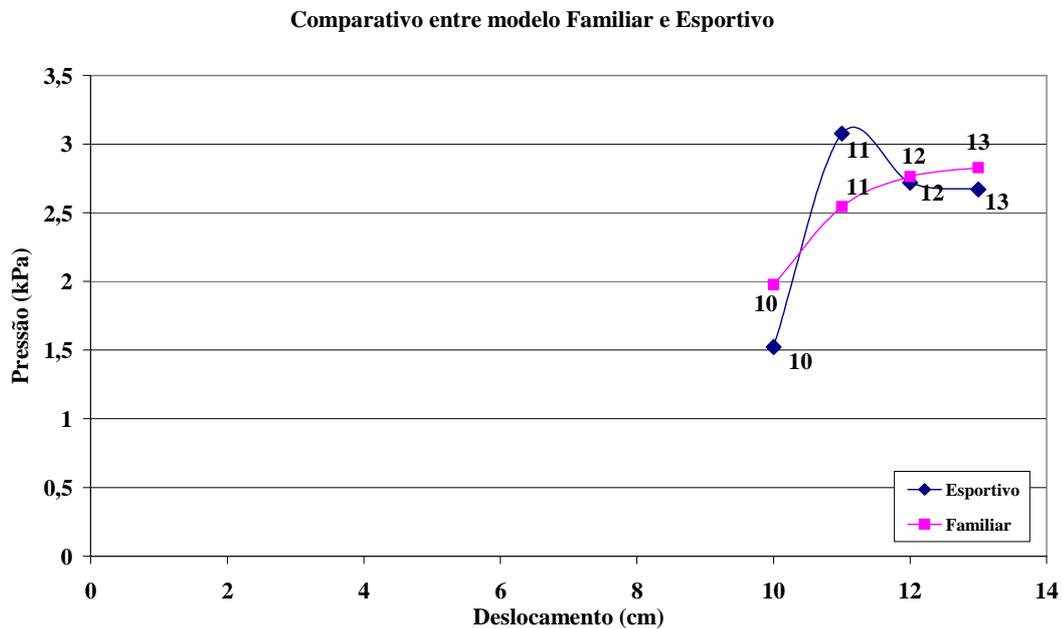


Figura 119. Comparativo das curvas médias da pressão ao longo da parte inferior da carroceria dos modelos familiar x esportivo.

No presente trabalho, o objetivo foi de comparar os resultados do comportamento aerodinâmico que incide sobre os 2 (dois) diferentes tipos de carrocerias veiculares, analisado parâmetros que estão relacionados ao seu desempenho. Nos modelos utilizados foram analisados o deslocamento da camada-limite e a variação de pressão ao longo

das carrocerias. Diante das curvas apresentadas na figura 118 que analisa o escoamento sobre a superfície superior dos modelos, pôde ser constatado que:

No ponto 1, o fluido exerceu menor pressão no modelo esportivo do que no modelo familiar, devido a borda de ataque do modelo esportivo ter um perfil mais baixo, ocasionando um arrasto menor que o modelo familiar, que possui uma borda de ataque mais alta. Como pode ser observado nas figuras 120; 121; 122; 123 e 124.

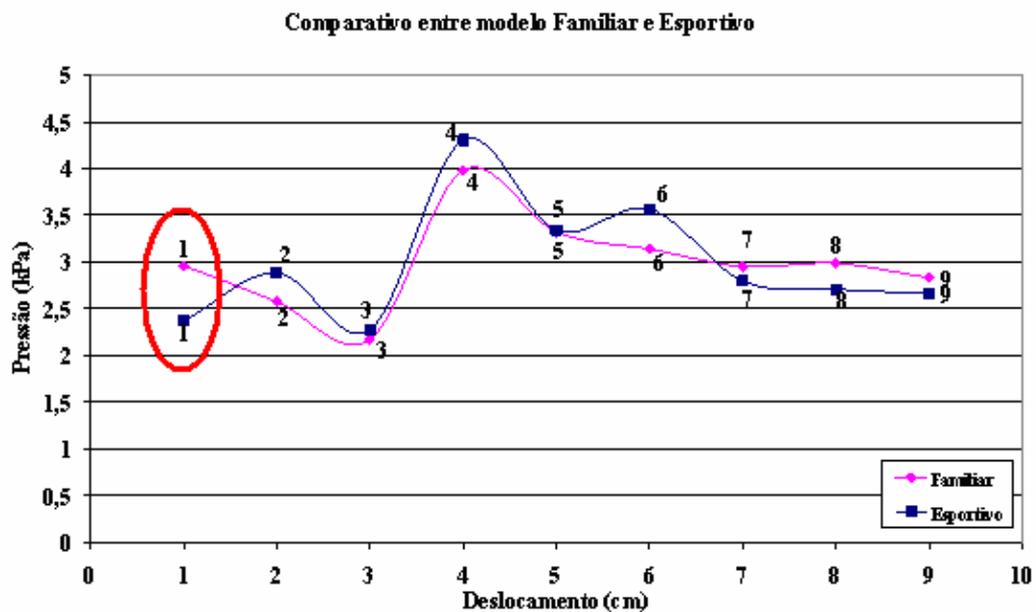


Figura 120. Comparativo entre o ponto 1 dos modelos familiar x esportivo.



Figura 121. Borda de ataque no modelo esportivo.



Figura 122. Perfil do modelo esportivo.

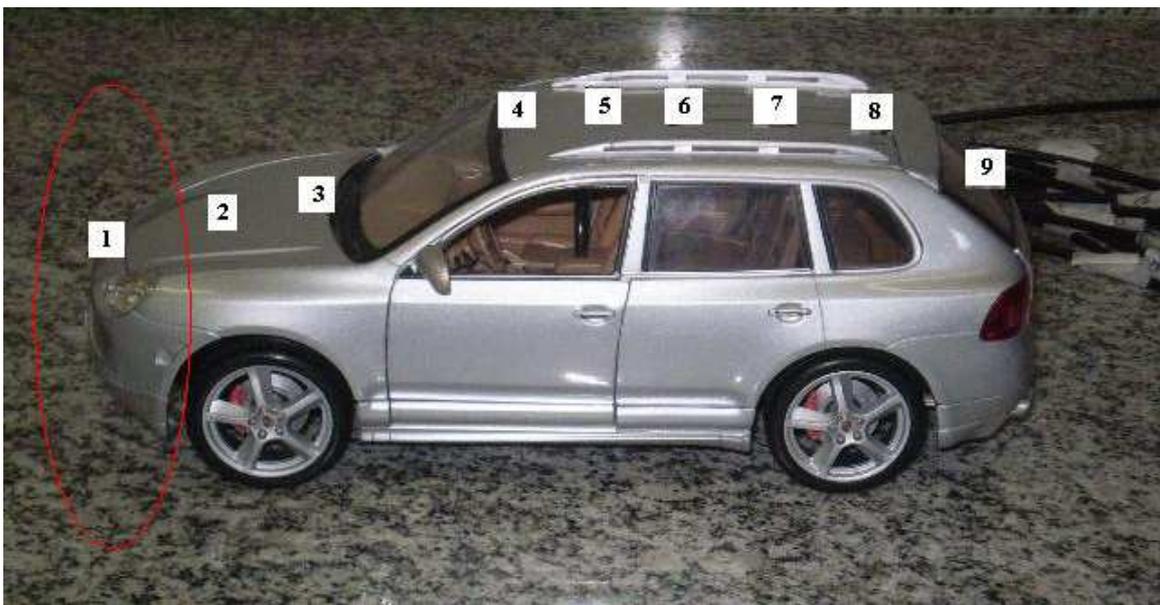


Figura 123. Borda de ataque do modelo familiar.



Figura 124. Perfil do modelo familiar.

No ponto 2, por sua vez pôde ser constatado que no modelo familiar ocorre uma queda da pressão devido a proximidade de uma quebra de seção (região do pára-brisas), já no modelo esportivo devido ao seu baixo coeficiente de penetração aerodinâmico (C_x) apenas a partir deste ponto é que o fluido começa a exercer de fato pressão sobre a carroceria. Como pode ser observado nas figuras 125; 126; 127 e 128.

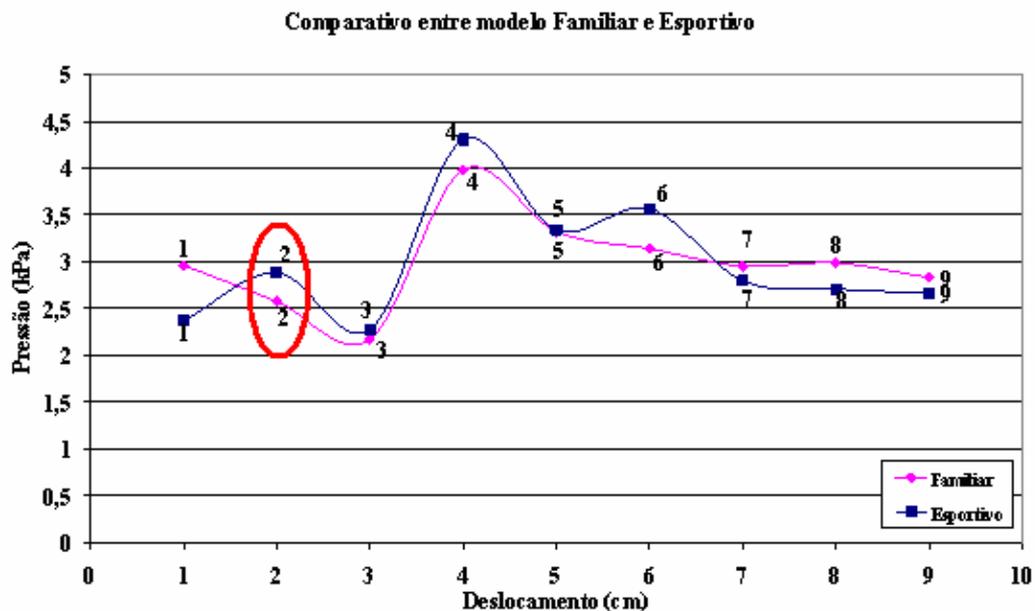


Figura 125. Comparativo entre o ponto 2 dos modelos familiar x esportivo.

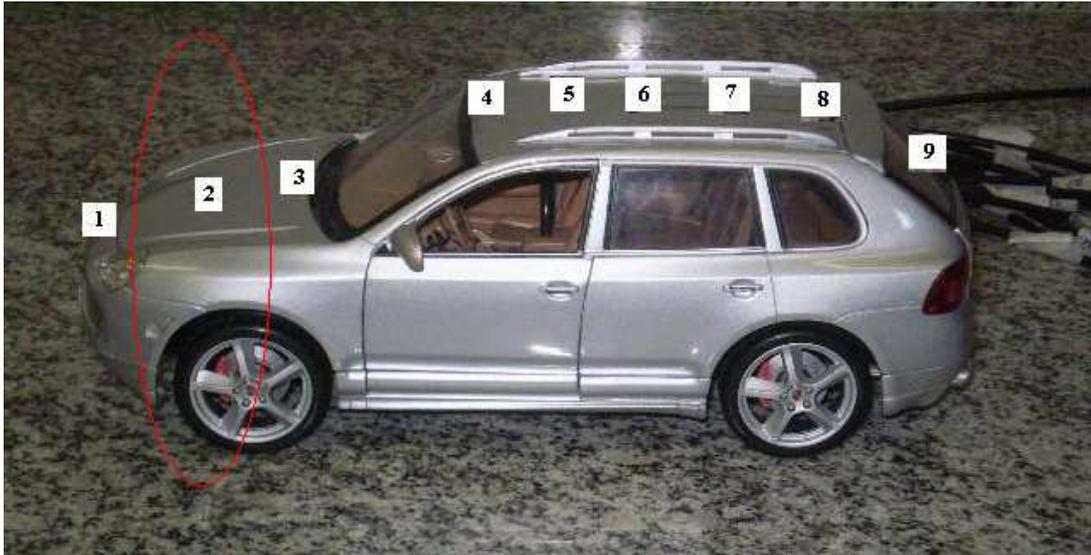


Figura 126. Ponto 2 do modelo familiar.

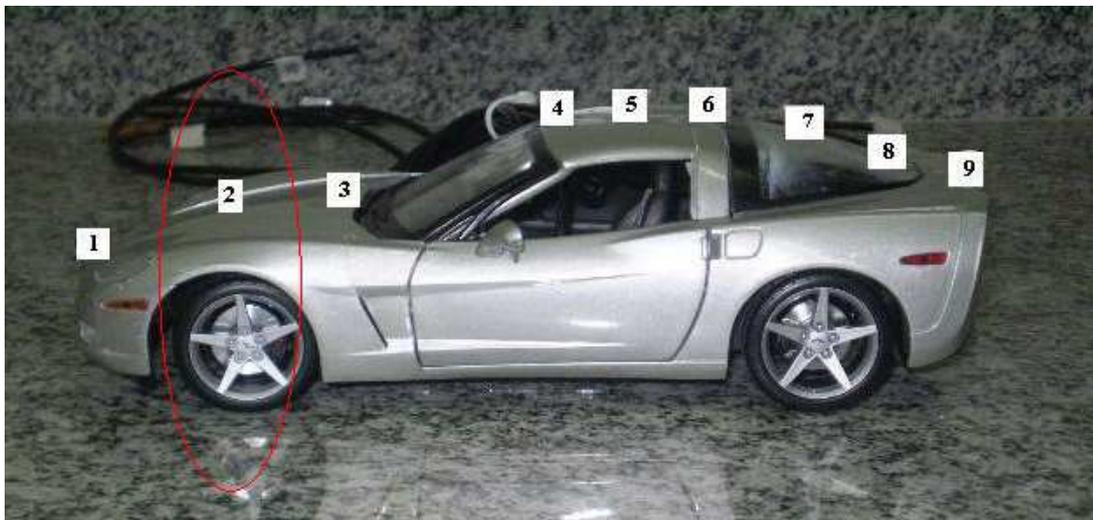


Figura 127. Ponto 2 do modelo esportivo.

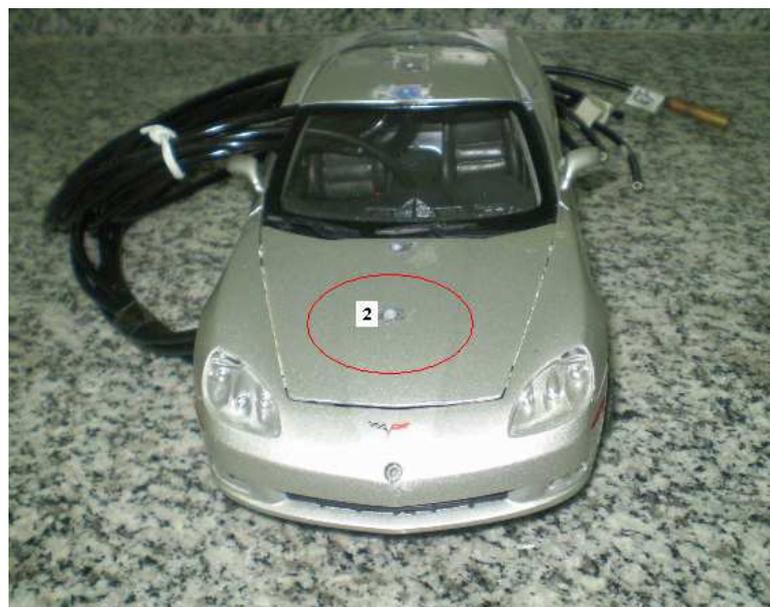


Figura 128. Região de pressão do ponto 2 do modelo esportivo.

No ponto 3, ambos os modelos tiveram queda acentuada da pressão, devido a quebra da seção causada pelo pára-brisas, ocorrendo o aumento da velocidade do fluido na região. Como pode ser observado nas figuras 129; 130 e 131.

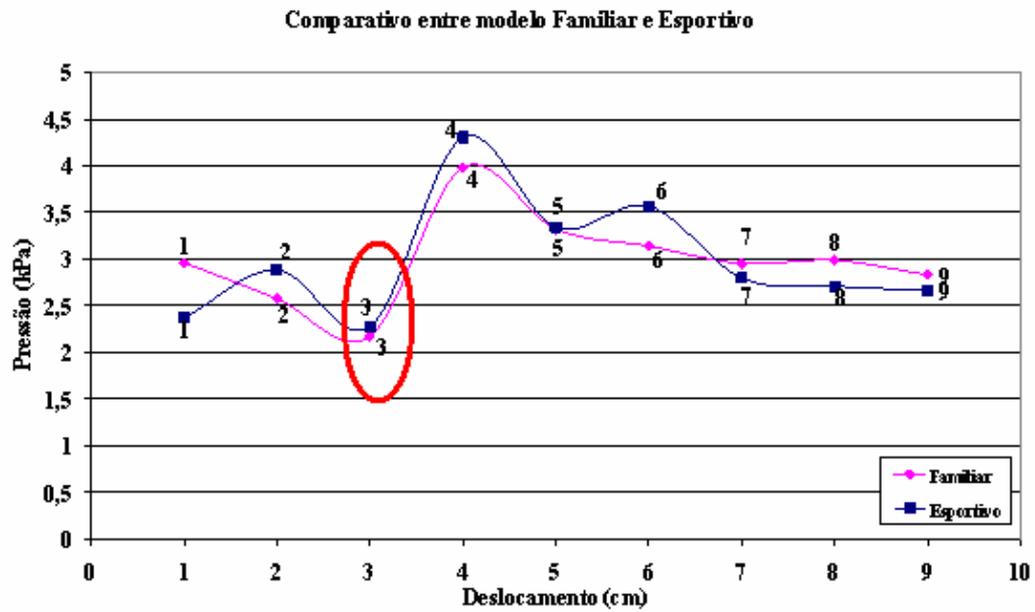


Figura 129. Comparativo entre o ponto 3 dos modelos familiar x esportivo.

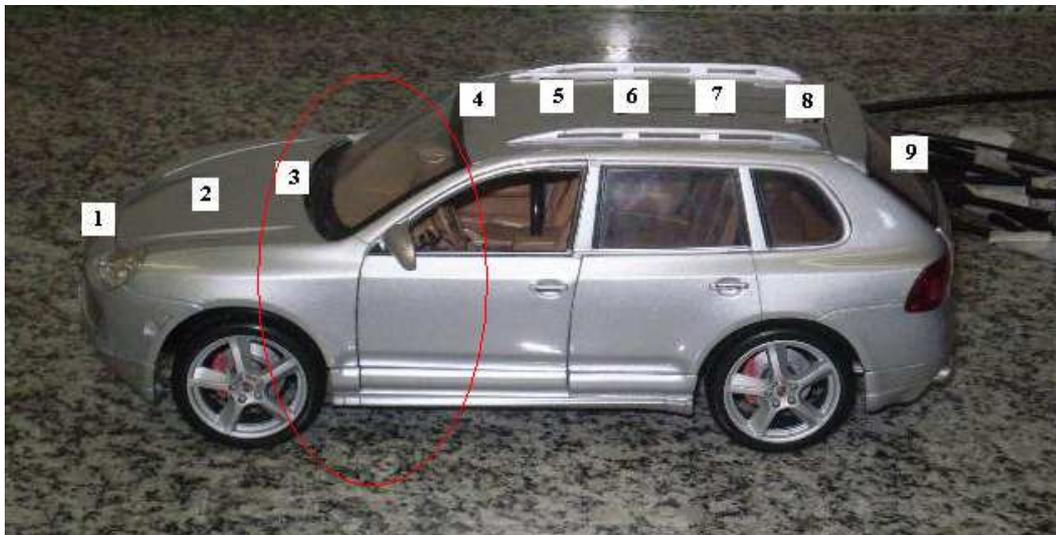


Figura 130. Ponto 3 do modelo familiar e região do pára-brisas.

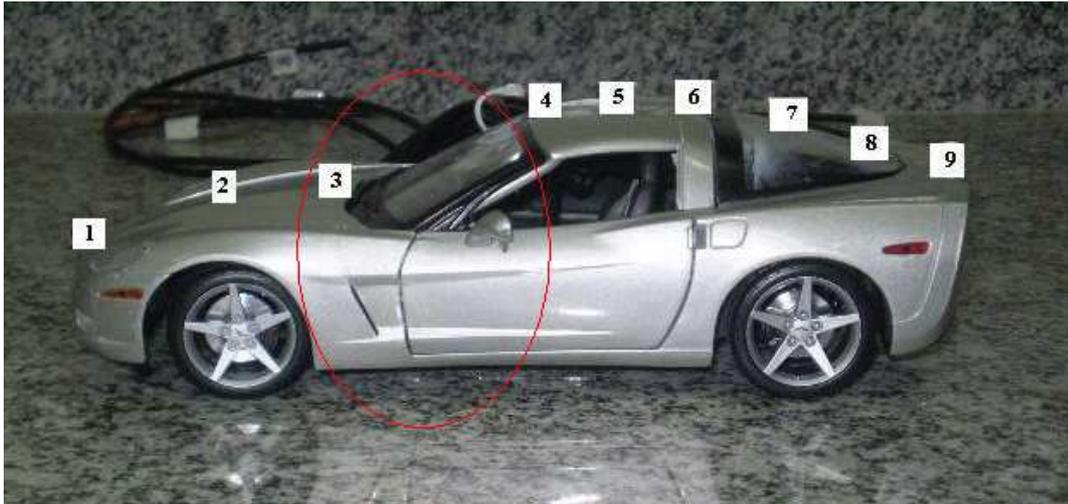


Figura 131. Ponto 3 do modelo esportivo e região do pára-brisas.

No ponto 4, ambos os modelos tem um acentuado aumento da pressão, atingido nesse ponto a pressão máxima. Como pode ser observado nas figuras 132; 133 e 134.

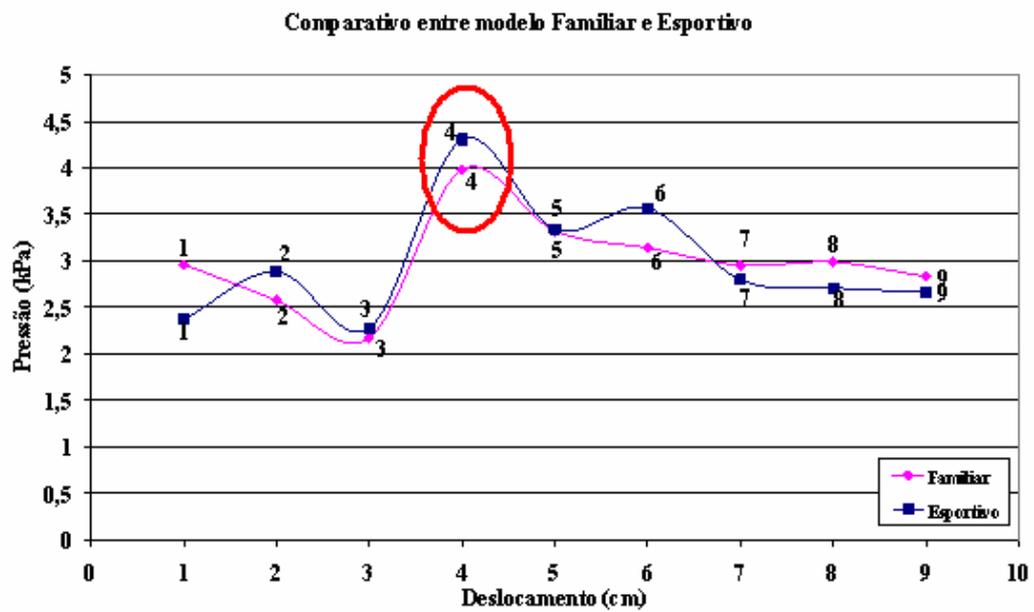


Figura 132. Comparativo entre o ponto 4 dos modelos familiar x esportivo.

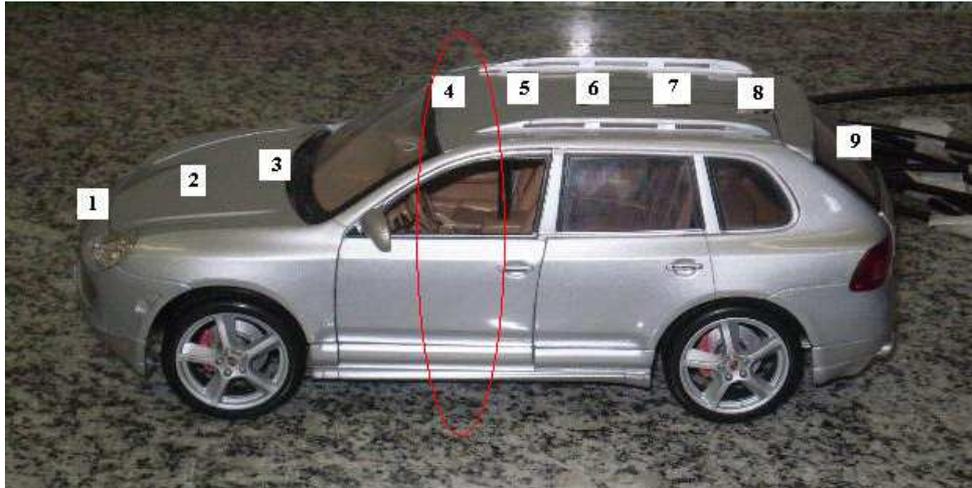


Figura 133. Ponto 4 do modelo familiar, região de pressão máxima.



Figura 134. Ponto 4 do modelo esportivo região de pressão máxima.

No ponto 5, ambos veículos mantêm o comportamento semelhante tendo suas pressões diminuídas em relação ao ponto anterior. Como pode ser observado nas figuras 135; 136 e 137.

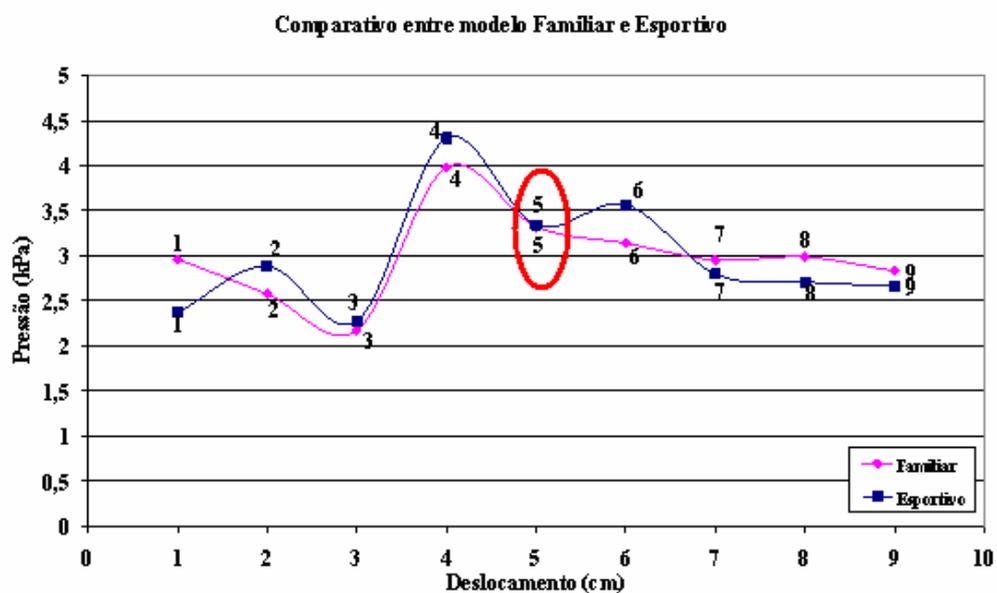


Figura 135. Comparativo entre o ponto 5 dos modelos familiar x esportivo.

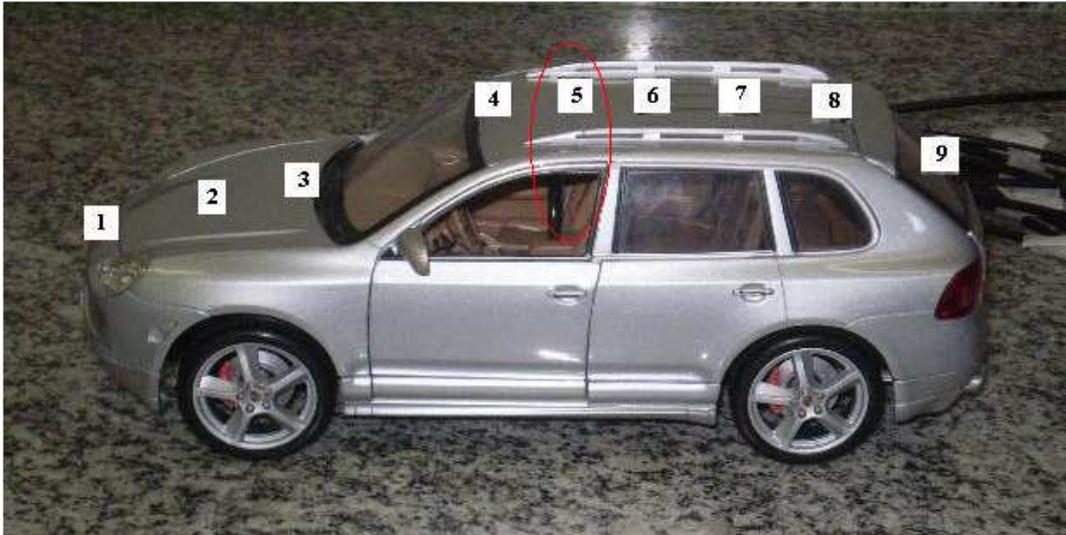


Figura 136. Ponto 5 do modelo familiar.



Figura 137. Ponto 5 do modelo esportivo.

No ponto 6, o modelo familiar manteve a queda gradativa da pressão devido a uniformidade da carroceria ocasionando assim o início do descolamento da camada-limite que se estende pelos pontos 7, 8 e 9. Já no modelo esportivo a pressão volta a subir devido ao início da quebra de seção ocasionada pelo vidro traseiro do modelo, fazendo com que o início do descolamento da camada-limite se retarde. Como pode ser observado nas figuras 138; 139 e 140.

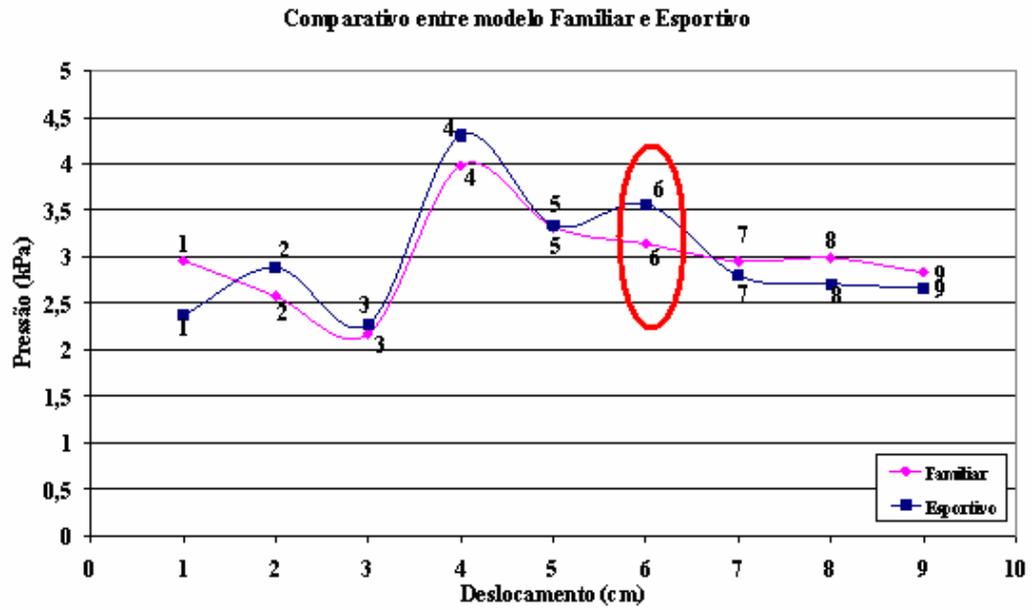


Figura 138. Comparativo entre o ponto 6 dos modelos familiar x esportivo.

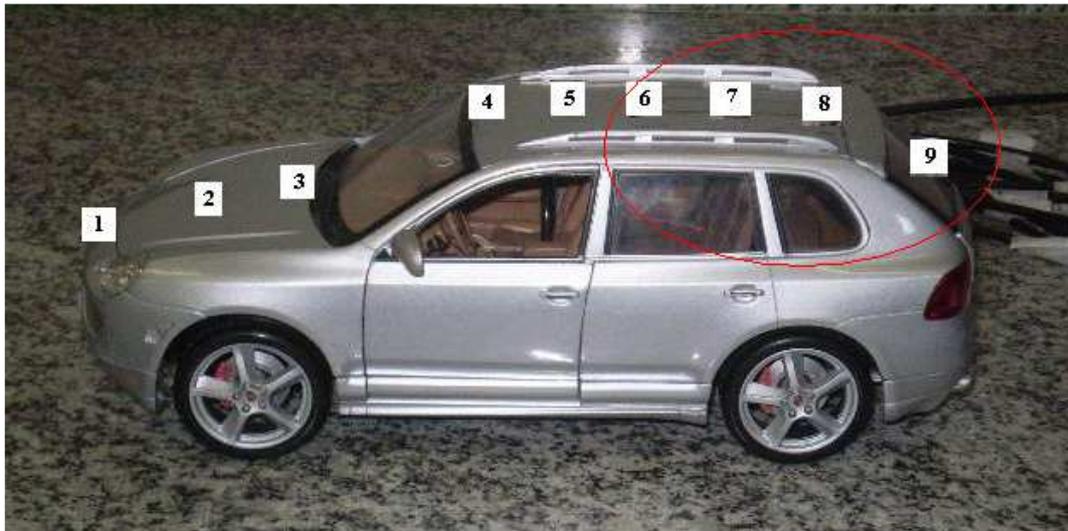


Figura 139. Pontos 6, 7, 8 e 9 do modelo familiar, uniformização da carroceria.

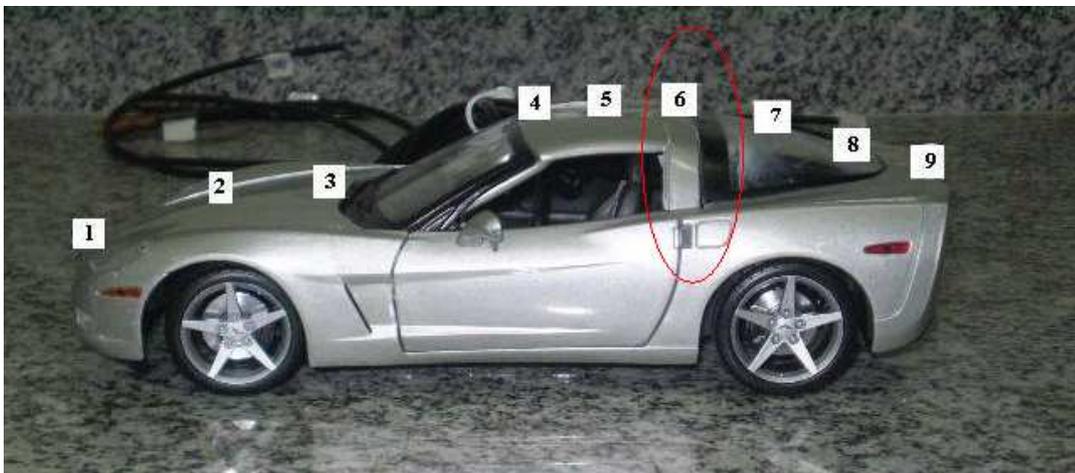


Figura 140. Ponto 6 do modelo esportivo, com início de quebra de seção pela região do vidro traseiro.

No ponto 7, o modelo esportivo inicia uma queda gradativa da pressão devido a uniformização da carroceria ocasionando assim o início do descolamento da camada-limite, estendendo-se pelos pontos 8 e 9. Como pode ser observado nas figuras 141 e 142.

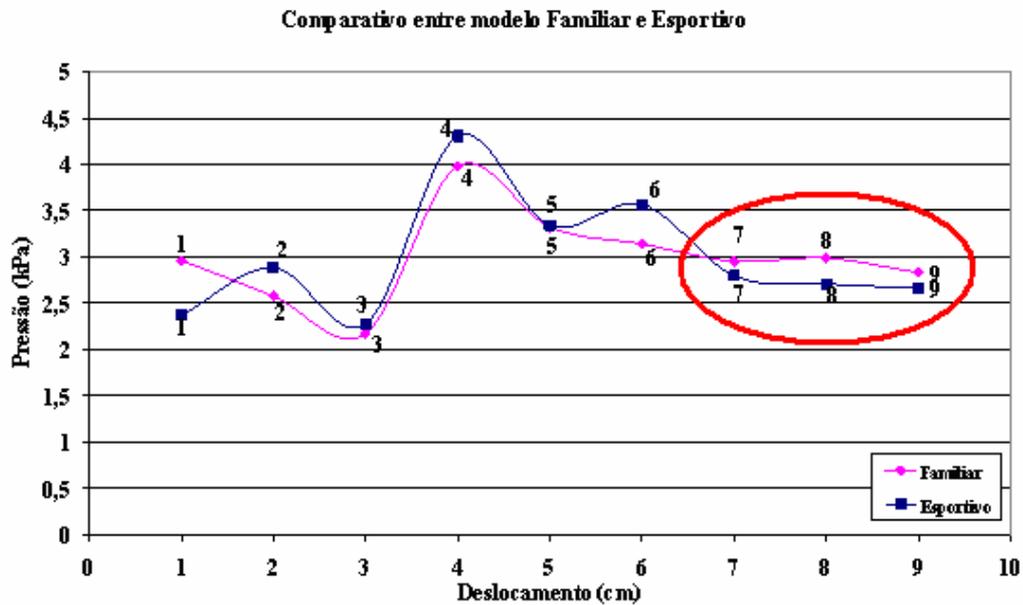


Figura 141. Comparativo entre os pontos 7, 8 e 9 dos modelos familiar x esportivo.

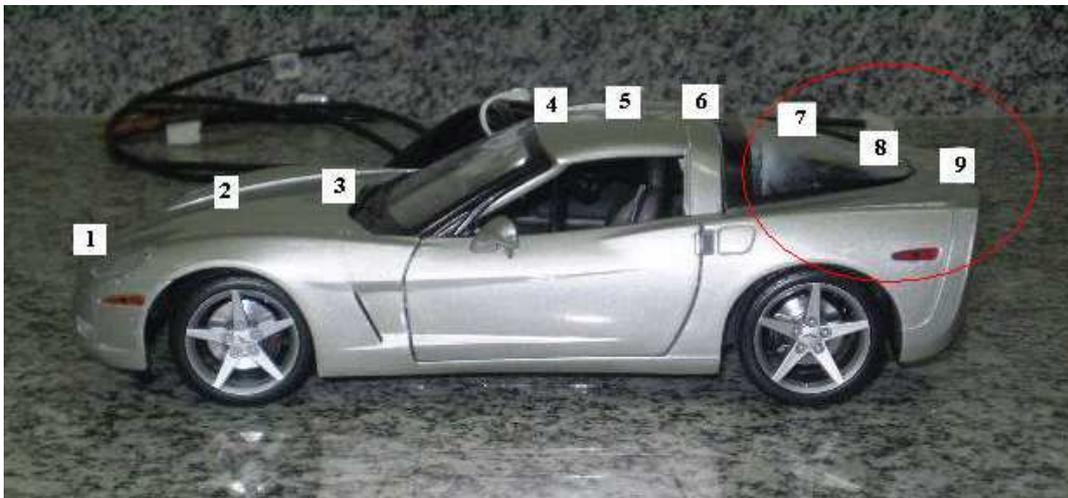


Figura 142. Pontos 7, 8 e 9 do modelo esportivo, uniformização da carroceria e início do descolamento da camada-limite.

Diante das curvas apresentadas na figura 119 que analisa o escoamento na superfície inferior dos modelos, pôde ser constatado que:

No ponto 10, o fluido exerceu baixa pressão sobre o modelo esportivo, devido à pequena distância entre o modelo e o solo (vão-livre). Já no modelo familiar a pressão foi um 29,74% maior devido a sua distância do solo ser mais acentuada, ocasionando assim, uma leve força de sustentação. Como pode ser observado nas figuras 143; 144 ; 145; 146 e 147.

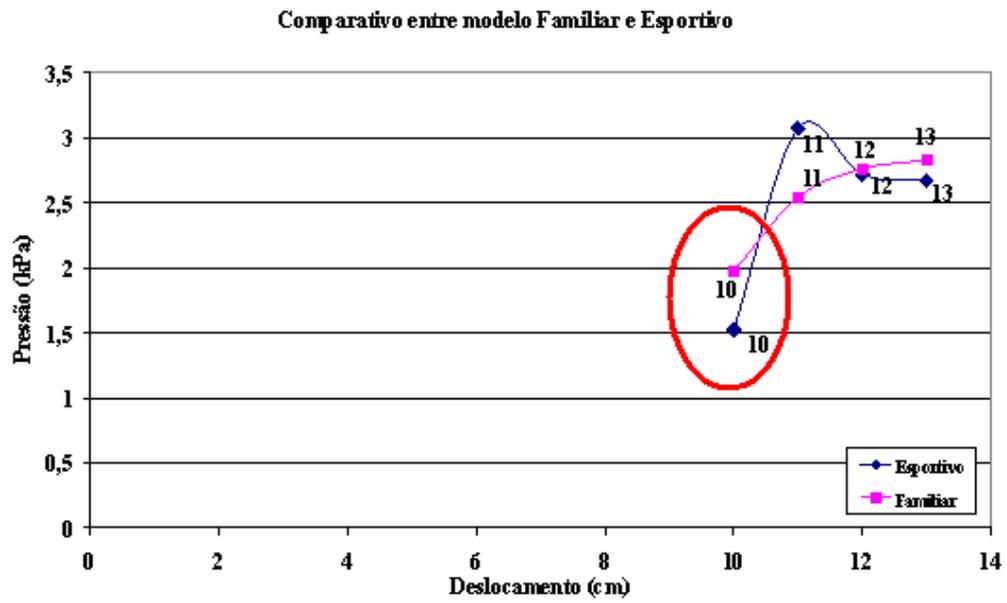


Figura 143. Comparativo entre o ponto 10 dos modelos familiar x esportivo.



Figura 144. Ponto 10 do modelo esportivo.



Figura 145. Ponto 10 do modelo esportivo, visualização do “vão-livre”.



Figura 146. Ponto 10 do modelo familiar.



Figura 147. Ponto 10 do modelo familiar, visualização do “vão-livre”.

No ponto 11, a pressão no modelo familiar se comportou com uma pequena e uniforme elevação. Já no modelo esportivo, ocorreu um grande aumento da pressão, ocasionando principalmente forças de sustentação, que são maléficas ao desempenho do veículo, principalmente neste ponto que fica na região da suspensão dianteira. Como pode ser observado nas figuras 148; 149 e 150.

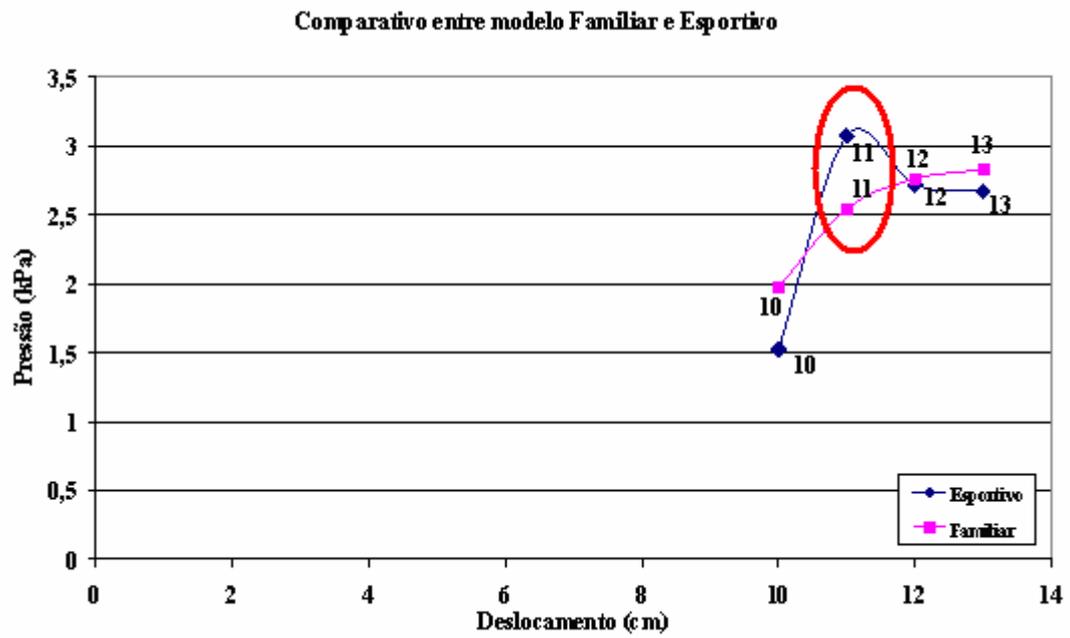


Figura 148. Comparativo entre o ponto 11 dos modelos familiar x esportivo.



Figura 149. Ponto 11 do modelo familiar.



Figura 150. Ponto 11 do modelo esportivo.

No ponto 12, ambos os modelos tiveram pressões semelhantes, mas com comportamentos opostos, pois no modelo esportivo ocorreu uma leve tendência de queda da pressão até o ponto 13, enquanto que no modelo familiar ocorreu uma leve tendência de alta da pressão até o ponto 13, isso pode ser explicado devido ao modelo esportivo ter um ângulo de saída menor que o modelo familiar. Como pode ser observado nas figuras 151; 152 e 153.

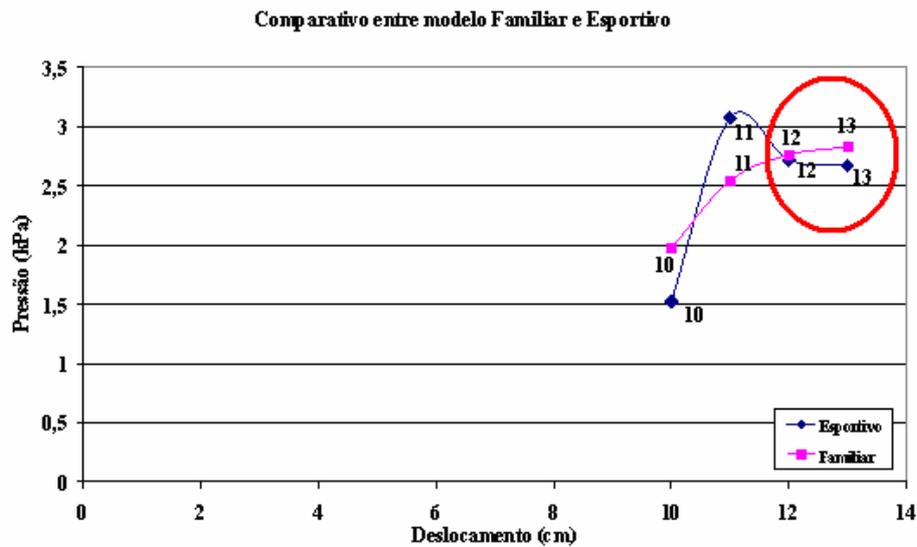


Figura 151. Comparativo entre os pontos 12 e 13 dos modelos familiar x esportivo.

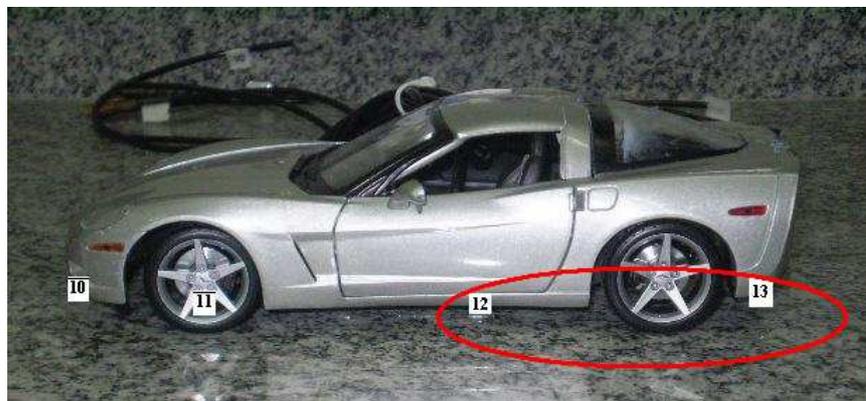


Figura 152. Pontos 12 e 13 do modelo esportivo.



Figura 153. Pontos 12 e 13 do modelo familiar.



Figura 154. Ângulo de saída do modelo esportivo.

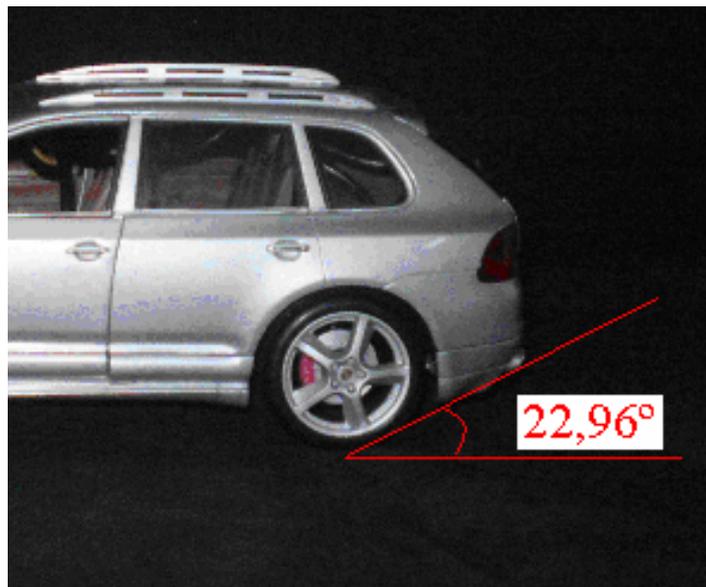


Figura 155. Ângulo de saída do modelo familiar.

4.5. DESEMPENHO DO TÚNEL AERODINÂMICO

Diante dos ensaios realizados no decorrer desta pesquisa, o túnel aerodinâmico se comportou de forma satisfatória, tendo atingido o objetivo pelo qual foi construído.

Como pontos positivos podem-se destacar:

- Facilidade para transporta-lo, pelo fato de ser desmontável;
- Simples manuseio;
- Vazão adequada para os ensaios;
- Escoamento com pouca turbulência;
- Baixo índice de vibração, devido a utilização de coifa anti-vibrações.

Como pontos negativos destacam-se:

- Grande índice de ruído oriundo do funcionamento do motor/ventilador;
- Falta de um inversor de frequência, para possibilitar a variação da velocidade do ar.

4.6. CUSTOS PARA CONSTRUÇÃO DO TÚNEL AERODINÂMICO

Tabela 32. custos de construção do túnel aerodinâmico.

Custos para construção do túnel			
Elementos	Quantidade	Custo Unitário (R\$)	Custo Total (R\$)
Compensado de madeira 4mm	3 und.	30,00	90,00
Compensado de madeira 6mm	2 und	35,00	70,00
Compensado de madeira 15mm	1 und.	70,00	70,00
Madeira (Ripas)	22 m	1,80	39,60
Caibro	5 m	2,80	14,00
Motor	1 und.	1300,00	1300,00
Lona (coifa)	1 m	30,00	30,00
Acionamento motor	1 und.	4,00	4,00
Fio elétrico	4 m	1,20	4,80
Hélice	1 und.	40,00	40,00
Guarnição da Hélice	1 und.	140,00	140,00

Elementos	Quantidade	Custo Unitário (R\$)	Custo Total (R\$)
Tomadas elétricas	3 und.	1,30	3,90
Tela de metal	1 und.	15,00	15,00
Canos PVC de 20mm (Colméia)	21 tubos	7,80	163,80
Cola PVC	5 und.	6,50	32,50
Vidro (seção de ensaio)	1 und.	10,00	10,00
Parafusos/porcas/arruelas			100,00
Mão-de-obra (mecânico)			60,00
Mão-de-obra (eletricista)			20,00
Mão-de-obra (marceneiro)			700,00
TOTAL			R\$ 2907,60 *US\$1710,35

* US\$ 1,00 – R\$ 1,70 (15/03/2008)

5. CONCLUSÕES

O estudo do deslocamento da camada-limite, devido à variação geométrica é de suma importância na análise das características aerodinâmicas que influem tanto na estabilidade quanto no desempenho do veículo. Neste trabalho, foi constatado que a variação do modelo quanto à forma gera diferenças quantitativas relevantes nos resultados aerodinâmicos.

A seguir pode-se observar os principais pontos positivos e negativos de cada um dos modelos em suas superfícies superiores.

Pontos positivos do modelo esportivo:

- **Ponto 1 (borda de ataque):** o modelo esportivo obteve menor arrasto, ou seja melhor C_x que o modelo familiar. Esse resultado demonstrou que a geometria é fator preponderante no valor do C_x (Coeficiente aerodinâmico), pois geometrias pontiagudas induzem menor C_x e geometrias rombudas, maior C_x .

- **Pontos 2; 3; 4; 5 e 6:** nesses pontos o modelo esportivo obteve índices maiores de pressão em sua superfície, ocasionando maior força empurrando o veículo contra o solo, ou seja, gerando maior estabilidade ao veículo. Com isso, ficou confirmado que menor C_x induz maior pressão estática, ocasionando maior estabilidade.

Pontos negativos do modelo esportivo e possíveis soluções:

- **Pontos 7; 8 e 9:** os índices de pressão do modelo esportivo foram inferiores aos do modelo familiar, caracterizando o início do descolamento da camada-limite de maneira rápida, fazendo com que o veículo tenha sua estabilidade diminuída nesses pontos.

Uma forma de evitar o rápido descolamento da camada-limite e utilizando-se de zonas de sucção ou palhetas direcionais (como visto na seção 2.9 deste trabalho), para captar o ar em zonas de alta pressão (neste modelo no ponto 6), impedindo a propagação do descolamento.

Pontos positivos do modelo familiar:

- **Pontos 7; 8 e 9:** os índices de pressão do modelo familiar foram maiores que no modelo esportivo, caracterizando o início do descolamento da camada-limite de maneira mais lenta. Dessa forma o modelo familiar obteve maior estabilidade na região traseira se comparado com o modelo esportivo.

Pontos negativos do modelo familiar e possíveis soluções:

- **Ponto 1 (borda de ataque):** o modelo familiar obteve um arrasto maior, devido ao seu C_x ser maior que o modelo esportivo por possuir uma geometria dianteira rombuda e perfil mais alto.

- **Pontos 2; 3; 4; 5 e 6:** o modelo familiar obteve índices menores de pressão em sua superfície, ocasionando menor estabilidade ao veículo. Confirmado que perfiz com pouca aerodinâmica induzem deslocamento da camada-limite à montante.

Uma forma de diminuir o arrasto, sem descaracterizar a utilização do modelo, ou seja reduzir a altura do perfil, é utilizando-se de geometria dianteira pontiaguda.

A seguir pode-se observar os principais pontos positivos e negativos de cada um dos modelos em suas superfícies inferiores.

Pontos positivos do modelo esportivo:

- **Ponto 10:** o modelo esportivo obteve menor pressão que o modelo familiar, ou seja, menor força de sustentação, este resultado foi devido à pequena distância entre a carroceria e o solo (vão-livre) do modelo, onde ficou evidenciado que a menor distância entre o solo e a superfície do veículo ocasiona menor sustentação do mesmo.

- **Pontos 12 e 13:** o modelo esportivo também obteve menor pressão que o modelo familiar, gerando menores forças de sustentação.

Pontos negativos do modelo esportivo:

- **Ponto 11:** o modelo esportivo obteve maior pressão que o modelo familiar, ou seja gerou maior força de sustentação. Este fato pode ser explicado pela combinação de dois fatores: pelo fato de o veículo ter a distância entre a carroceria e o solo (vão-livre) pequena, e nessa região o fluxo de ar ficar impossibilitado de sair da superfície inferior do veículo pelas laterais, devido à presença das rodas, fazendo com que o fluído passe pela região de forma comprimida.

Uma forma de diminuir a pressão nessa região e a utilização palhetas direcionais na superfície inferior com veículo, afim de redirecionar parte do fluxo de ar para as laterais do modelo antes de atingir essa região.

Pontos positivos do modelo familiar:

- **Ponto 11:** o modelo familiar obteve menor pressão que o modelo esportivo, portanto gerou menor força de sustentação nessa região, devido a sua altura do solo possibilitar menor compressão do fluído.

Pontos negativos do modelo familiar:

- **Pontos 10, 12 e 13:** o modelo familiar obteve maior pressão que o modelo esportivo, ou seja, maior força de sustentação, este resultado foi devido à grande distância entre a carroceria e o solo (vão-livre) do modelo. Entretanto, alterar a distância entre a superfície inferior e o solo do modelo é inviável, pois descaracterizaria o principio de utilização do modelo.

Enfim, pôde-se constatar que dificilmente haja algum modelo de carroceria que obtenha os melhores resultados em todos os pontos. Ficou evidenciado que cada modelo possui suas particularidades, com pontos positivos e negativos.

O modelo esportivo obteve melhor desempenho na maioria dos pontos analisados, pois a concepção de sua carroceria tem como prioridade e principal atrativo a performance e velocidade, características essas que fazem da aerodinâmica um importante fator para se atingir os objetivos do modelo.

Entretanto o modelo familiar que possui como principais atrativos o espaço interno e a acomodação confortável dos seus ocupantes obteve bons resultados, até superando o modelo esportivo em alguns pontos.

No geral, ficou constatado que a geometria é fator de suma importância quando se trata de comportamento aerodinâmico, isso pode ser exemplificado comparando-se o comportamento das duas superfícies (superior e inferior), onde notou-se uma grande diferença entre as superfícies superiores dos dois modelos, devido a geometria ser muito diferente uma da outra, e um comportamento semelhante para as superfícies inferiores devido a geometria de ambas serem praticamente iguais.

Quanto ao túnel aerodinâmico construído, o mesmo se mostrou adequado para realização dos ensaios, principalmente pelo baixo nível de vibrações e pela vazão adequada possibilitando analisar a variação da pressão ao longo dos modelos.

Em trabalhos futuros com esta mesma configuração, pode-se comparar se os tipos de acabamento superficial e materiais utilizados na pintura dos modelos têm influência ou não sobre comportamento aerodinâmico.

REFERÊNCIAS

_____. **Aerodynamics of road vehicles: from fluid mechanics to vehicle engineering / Syed R. Ahmed.**; edited by Wolf-Heinrich Hucho. Warrendale: SAE, 1998.

AHMED, S. R. **Influence of base slant on the wake structure and drag of road vehicles.** Journal of Fluids Engineering, Vol. 105, Dec. 1983.

ANDERSON, J. D. **Fundamentals of Aerodynamics.** 3 ed., McGraw-Hill, 2001.

ARILDOMÁ, L. PEIXOTO, J. **Estudo do Escoamento em Torno de um Perfil Naca 0012,** Nova Friburgo, 2004

ASSY, T. **Mecânica dos Fluidos - Fundamentos e Aplicações.** Editora LTC. 2ª Ed. Rio de Janeiro, 2004.

CÂMARA, E. F. **Estudo aerodinâmico do escoamento sobre modelo de ônibus.** ITA: São José dos Campos, 1993.

CAMPBELL, C. **The sports car. Its design and performance.** UK: Chapman and Hall Ltda. 1969.

CANALE, A. **Automobilística: Dinâmica e Desempenho**. Ed. Érika: São Paulo, 1989.

CARMO, A; ARIENZO JÚNIOR, V. **Balança aerodinâmica didática para medição de forças de arrasto, sustentação e momento de arfagem**. USP. São Paulo, 2004.

CATALANO, F. M. **Projeto, construção e calibração em túnel aerodinâmico de circuito aberto tipo N.P.L. de seção transversal hexagonal**. USP: São Carlos, 1988.

CARREGARI, A. L. **Estudo do escoamento de ar sobre a carroceria de um ônibus usando programa de CFD e comparação com dados experimentais**. USP: São Carlos, 2006.

FOX, R.W. **Introdução à mecânica dos fluidos**. McDonald, LTC: Rio de Janeiro, 2001.

HUCHO, W. H. **Aerodynamics of Road Vehicles**. Butterworth, 1987.

KLINE, S. J.; McCLINTOCK, F.A. **Describing Uncertainties in single-sample experiments**. Mechanical Engineering, Jan. 1953.

LARANJA, R. A. C. **Mecânica dos fluidos**. Ed. ULBRA: Canoas, 2005. 87p.

MELLO, H. C. **Uma avaliação experimental da influência de ventos laterais nas forças aerodinâmicas em veículos de passageiros**. USP: São Carlos, 1999.

MUNSON, B. YOUNG, O. **Fundamentos da Mecânica dos Fluidos**. Editora Edgard Blucher, 4ª Ed. São Paulo, 2004.

NICOLAZZI, L. C; ROSA, E. **Introdução à modelagem de veículos automotores.** GRANTE-UFSC: Florianópolis, 2001.

SARAN, D; JARDIM, M. F; MANSUR, S. **Construção de um túnel aerodinâmico do tipo soprador em material acrílico.** In: Anais do X CREEM. Santos, 2003.

VIDEIRA, L. C. P. Estudo **Experimental de um modelo de ônibus com ênfase no escoamento da esteira.** ITA: São José dos Campos, 2001.

VUOLO, J. H. **Fundamentos da teoria de erros.** 2 ed., Edgard Blucher, 1996.

WHITE, F. M. **Mecânica dos fluídos.** 4 ed., McGraw-Hill, 2002.

APÊNDICE A
CÁLCULO DAS INCERTEZAS

Neste Apêndice, são mostrados os cálculos dos valores das incertezas presentes na medição da distribuição de pressão.

A.1 – Incerteza para a distribuição de pressão

O valor da incerteza para os resultados da média da distribuição de pressão estão relacionados à precisão do instrumento utilizado para medição. Segundo o equipamento utilizado a incerteza é: $\pm 1,61\%$ F.S. Como demonstra o certificado de calibração que se encontra no ANEXO 2. Sendo o F.S. 1.000 InW (2490 kPa).

Considerando: 1000 InW $\rightarrow \pm 16,1$ InW e aplicando a EQUAÇÃO 16.

$$\Delta_v = \sqrt{\left(\frac{\partial R}{\partial v_1} * \Delta_{v1}\right)^2 + \left(\frac{\partial R}{\partial v_2} * \Delta_{v2}\right)^2 + \dots + \left(\frac{\partial R}{\partial v_n} * \Delta_{vn}\right)^2}$$

$$\Delta_v = \sqrt{\left(\frac{\partial R}{\partial v_1} * \Delta_{v1}\right)^2}$$

Onde:

Δ_v – Incerteza;

∂R – Valor da pressão medido no ensaio;

∂_{v1} – Valor de fundo de escala do equipamento;

Δ_{v1} – Incerteza do equipamento para o fundo de escala.

$$\Delta_v = \sqrt{\left(\frac{\partial R}{1000} * 16,1\right)^2}$$

Tabela A1 – Cálculo da incerteza dos valores correspondentes à superfície superior do modelo familiar.**Cálculo da incerteza da pressão da superfície superior do modelo familiar**

Pontos	Pressão (kPa) “∂R”	Incerteza
1	2,963	± 0,0477
2	2,577	± 0,0414
3	2,176	± 0,0350
4	3,983	± 0,0641
5	3,324	± 0,0535
6	3,139	± 0,0505
7	2,955	± 0,0475
8	2,989	± 0,0481
9	2,831	± 0,0455

Tabela A2 – cálculo da incerteza dos valores correspondentes à superfície inferior do modelo familiar.**Cálculo da incerteza da pressão da superfície inferior do modelo familiar**

Pontos	Pressão (kPa) “∂R”	Incerteza
10	1,976	± 0,0318
11	2,544	± 0,0409
12	2,762	± 0,0444
13	2,828	± 0,0455

Tabela A3 – Cálculo da incerteza dos valores correspondentes à superfície superior do modelo esportivo.**Cálculo da incerteza da pressão da superfície superior do modelo esportivo**

Pontos	Pressão (kPa) “∂R”	Incerteza
1	2,368	± 0,0381
2	2,887	± 0,0464
3	2,277	± 0,0366
4	4,307	± 0,0693
5	3,339	± 0,0537
6	3,567	± 0,0574
7	2,798	± 0,0450
8	2,710	± 0,0436
9	2,663	± 0,0428

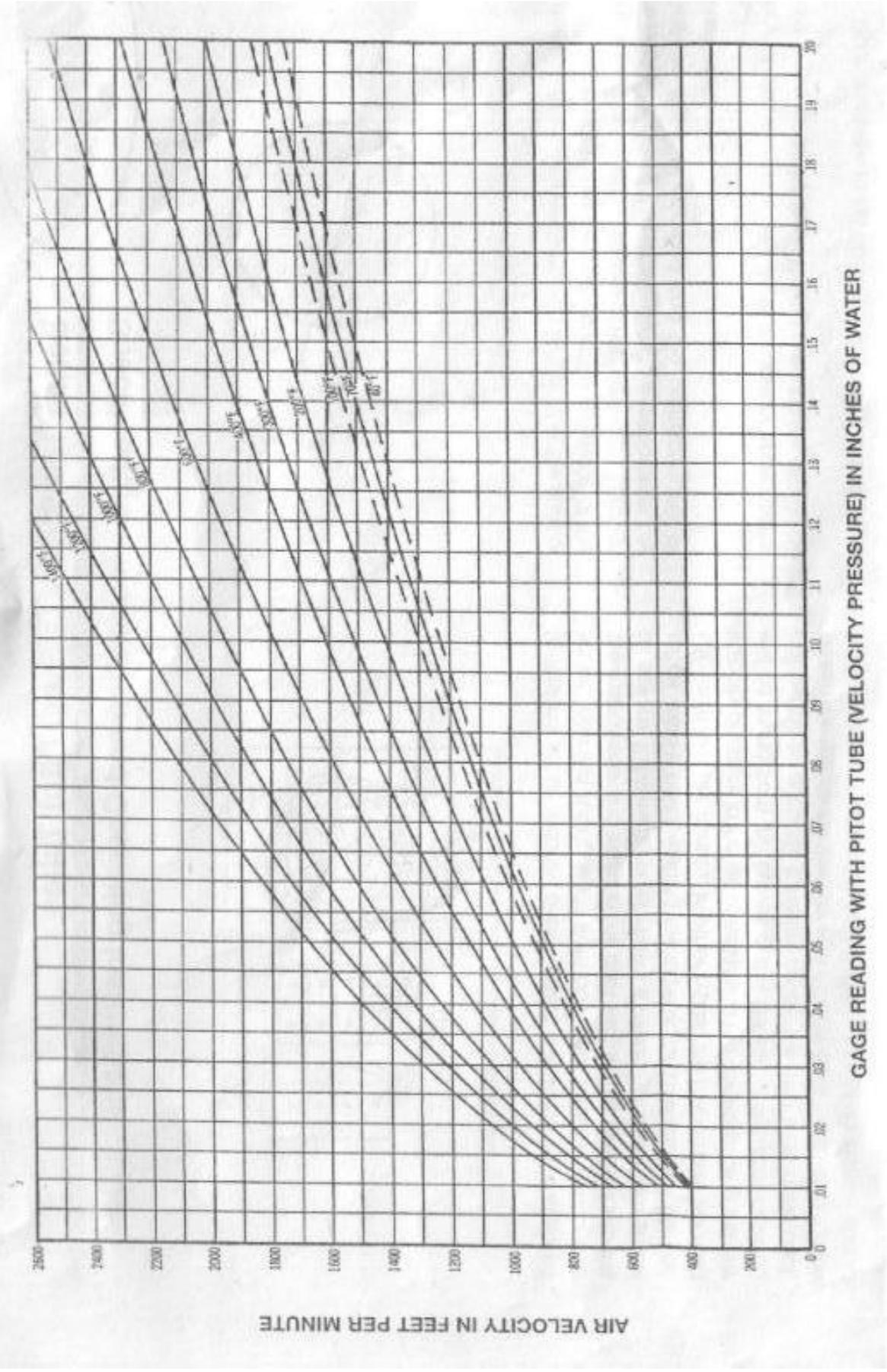
Tabela A4 – cálculo da incerteza dos valores correspondentes à superfície inferior do modelo esportivo.

Cálculo da incerteza da pressão da superfície inferior do modelo esportivo

Pontos	Pressão (kPa) “∂R”	Incerteza
10	1,523	$\pm 0,0245$
11	3,076	$\pm 0,0495$
12	2,720	$\pm 0,0437$
13	2,669	$\pm 0,0429$

ANEXO 1

GRÁFICO DA PRESSÃO X DESLOCAMENTO



ANEXO 2

**CERTIFICADO DE CALIBRAÇÃO DO EQUIPAMENTO UTILIZADO PARA MEDIR A
DISTRIBUIÇÃO DE PRESSÃO**

**SKILLTECH****CERTIFICADO DE CALIBRAÇÃO Nº SKH607100169**

Pág. (1/2)

1. **CLIENTE:** Universidade Federal do Rio Grande do Norte.
 2. **ENDEREÇO:** Avenida Senador Salgado Filho, 3000 - CEP 59078-970 - Natal - RN.
 3. **INSTRUMENTO CALIBRADO:** Manômetro Digital
FABRICANTE/MARCA: Owyer Instruments, Inc.
MODELO: 475-000-PM
TIPO: Portátil
Nº SÉRIE: MARK III **TAB / IDENT. Nº:** Não consta **PATREM. Nº:** Não consta
FAIXA DE MEDIÇÃO: 0 - 1,0 PaCA
RESOLUÇÃO DO INSTRUMENTO: 0,001 PaCA
 4. **DATA DE ENTRADA NO LABORATÓRIO:** 27/9/2007 **5. DATA DA CALIBRAÇÃO:** 1/10/2007
 6. **EQUIPAMENTO E PADRÕES UTILIZADOS:**

CÓDIGO	DESCRIÇÃO	N.º CERTIFICADO	EMITENTE	VALIDADE	RASTREABILIDADE
HS-09	Conj. Man. Incl/Vert.	SKHS 07040043	SKILLTECH	Abril/2008	UKAS
HS-12	Fluido Manométrico	DMCT 2218/2005	INMETRO	Dez/2008	RBC
HS-14	Termômetro p/ Temp. Fluido	LV 4358/07	VISOMES	Março/2009	RBC
HS-08	Barômetro Aneróide	48298/07	ABST	Junho/2009	RBC
TV-15	Termo-Higrômetro	LV 4679/07	VISOMES	Março/2009	RBC

7. **CLASSE DE EXATIDÃO DO PADRÃO DE TRABALHO:** 0,25%8. **RESULTADOS OBTIDOS NA CALIBRAÇÃO.**

Faixa	Faixa de Calibração	V _{mn}		V _{vc}	
		(Valor médio das medições)		(Valor verdadeiro convencional)	
		Local	CNTP	Local	CNTP
PaCA	Pa	PaCA	PaCA	PaCA	PaCA
0 - 1	0 - 125	0,100	0,100	0,101	0,102
0 - 1	0 - 125	0,200	0,200	0,203	0,204
0 - 1	0 - 125	0,300	0,301	0,306	0,309
0 - 1	0 - 125	0,400	0,401	0,398	0,403
0 - 1	0 - 250	0,500	0,502	0,503	0,508

9. **VALORES DAS INCERTEZAS EM RELAÇÃO A AMPLITUDE DA FAIXA DE MEDIÇÃO [%]:**

REPETITIVIDADE	0,40 %
HISTERESE	0,40 %
INCERTEZA EXPANDIDA:	1,61 %

10. A calibração foi realizada por comparação em nosso Laboratório de Pressão, com um Manômetro de Coluna Líquida Padrão, Inclinado / Vertical, Modelo Type IV código HS-09, conforme IT -5.4.P.1 Rev.4.

11. Os resultados dos valores calibrados, foram obtidos pela média aritmética após dois ciclos completos (CARREGO / DESCARREGO) nos pontos evidenciados na tabela acima.

12. Os valores obtidos foram convertidos para CNTP (Condições Normais de Temperatura e Pressão), através da Fórmula Matemática abaixo:

$$P_n = \frac{\rho_1 \cdot g \cdot h_1 \cdot P_1}{\rho_2 \cdot g_1 \cdot h_2}$$

$$P_n = \frac{T_1}{T_2} \cdot \frac{P_1}{P_2}$$

13. Os valores relatados neste certificado são somente para amostra ensaiada e não se estende a lotes.

14. A incerteza expandida relatada é baseada em uma incerteza padronizada combinada, multiplicada por um fator de abrangência k=2, para um nível de confiança de aproximadamente 95%.

15. **CONDIÇÕES AMBIENTAIS DE TRABALHO DO LABORATÓRIO**

Temperatura Ambiente:	19,57 °C	Umidade Relativa do Ar:	57,60 %
Pressão Barométrica:	925 hPa	Temperatura indicada no instrumento:	---- °C
Aceleração da gravidade:	9,80665 m/s ²		
Aceleração da gravidade local:	9,78631 m/s ²		

16. A reprodução ou divulgação, deste certificado de calibração, só é permitida na sua íntegra, se parcial, somente com autorização por escrito do laboratório emissor.

São Paulo, 03 de Outubro de 2007.


 Thiago Luiz Borges da Silva
 Técnico Metrologista


 Mateus Yoshio Yamamoto
 Gerente Técnico

Arquivo CRSKH60169

Livros Grátis

(<http://www.livrosgratis.com.br>)

Milhares de Livros para Download:

[Baixar livros de Administração](#)

[Baixar livros de Agronomia](#)

[Baixar livros de Arquitetura](#)

[Baixar livros de Artes](#)

[Baixar livros de Astronomia](#)

[Baixar livros de Biologia Geral](#)

[Baixar livros de Ciência da Computação](#)

[Baixar livros de Ciência da Informação](#)

[Baixar livros de Ciência Política](#)

[Baixar livros de Ciências da Saúde](#)

[Baixar livros de Comunicação](#)

[Baixar livros do Conselho Nacional de Educação - CNE](#)

[Baixar livros de Defesa civil](#)

[Baixar livros de Direito](#)

[Baixar livros de Direitos humanos](#)

[Baixar livros de Economia](#)

[Baixar livros de Economia Doméstica](#)

[Baixar livros de Educação](#)

[Baixar livros de Educação - Trânsito](#)

[Baixar livros de Educação Física](#)

[Baixar livros de Engenharia Aeroespacial](#)

[Baixar livros de Farmácia](#)

[Baixar livros de Filosofia](#)

[Baixar livros de Física](#)

[Baixar livros de Geociências](#)

[Baixar livros de Geografia](#)

[Baixar livros de História](#)

[Baixar livros de Línguas](#)

[Baixar livros de Literatura](#)
[Baixar livros de Literatura de Cordel](#)
[Baixar livros de Literatura Infantil](#)
[Baixar livros de Matemática](#)
[Baixar livros de Medicina](#)
[Baixar livros de Medicina Veterinária](#)
[Baixar livros de Meio Ambiente](#)
[Baixar livros de Meteorologia](#)
[Baixar Monografias e TCC](#)
[Baixar livros Multidisciplinar](#)
[Baixar livros de Música](#)
[Baixar livros de Psicologia](#)
[Baixar livros de Química](#)
[Baixar livros de Saúde Coletiva](#)
[Baixar livros de Serviço Social](#)
[Baixar livros de Sociologia](#)
[Baixar livros de Teologia](#)
[Baixar livros de Trabalho](#)
[Baixar livros de Turismo](#)