



Ministério da Educação  
Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri – UFVJM  
Minas Gerais – Brasil  
Revista Vozes dos Vales: Publicações Acadêmicas  
Reg.: 120.2.095–2011 – UFVJM  
ISSN: 2238-6424  
Nº. 03 – Ano II – 05/2013  
<http://www.ufvjm.edu.br/vozes>

## Análise da aerodinâmica de carros populares

Prof. MSc. Bruno Silva de Sousa  
Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri - UFVJM - Diamantina -  
Minas Gerais - Brasil

<http://lattes.cnpq.br/2410171317656703>

E-mail: [bruno.sousa@ufvjm.edu.br](mailto:bruno.sousa@ufvjm.edu.br)

Hugo Henrique Azevedo Gonçalves  
Bacharel em Ciência e Tecnologia pela Universidade Federal dos Vales do  
Jequitinhonha e Mucuri - UFVJM - Diamantina - Minas Gerais - Brasil

<http://lattes.cnpq.br/2064489528699774>

E-mail: [hugofarnezi@yahoo.com.br](mailto:hugofarnezi@yahoo.com.br)

**Resumo:** Este trabalho traz, primeiramente, um histórico sobre o setor automotivo no Brasil, depois faz uma revisão sobre a aerodinâmica, trazendo definições e explicações relativas a esta. Fala-se sobre aerodinâmica veicular trazendo definições de forças, como o arrasto e as características que influenciam no formato aerodinâmico do carro. Faz-se então uma análise da aerodinâmica, através de ilustrações e do coeficiente de penetração aerodinâmica, de algumas gerações de carros populares fabricados pelas principais montadoras do país, chegando a conclusões de interesse para os compradores desses modelos.

**Palavras-chave:** Carros Populares. Aerodinâmica. Coeficiente de Penetração Aerodinâmica.

## INTRODUÇÃO

Hoje em dia o Brasil é um país com uma economia aquecida e com um poder de compra relativamente alto, devido a esse momento, vários setores industriais vêm sofrendo grandes mudanças, recebendo altos investimentos. Um desses setores é o automotivo que, de acordo com a publicação da revista Quatro Rodas de 2011, investirá no Brasil 26 bilhões de reais nos próximos seis anos.

Este setor existe no Brasil há muito tempo, tendo início no ano de 1919 com a Ford e mais tarde a General Motors (GM), em 1925.<sup>1</sup> Mas, nessa época, praticamente tudo relacionado a carros era importado. Essa indústria só começou a ganhar força no Brasil em meados da década de 50, quando o governo lançou programas que dificultavam as importações, fazendo com que as empresas utilizassem peças fabricadas em nosso país.

A produção nacionalizada de automóveis começou em 1957. Em novembro desse ano foi fabricada a perua DKW, considerada a primeira desse país. Os primeiros carros nada mais eram que cópias dos carros fabricados no exterior, mas com o passar do tempo os modelos brasileiros começaram a ganhar características de projeto próprias, tendo nas décadas de 60 e 70 alguns lançamentos que revolucionaram o setor, como o Corcel e o Chevette.<sup>1</sup>

Com a evolução dos veículos, os compradores ficaram mais exigentes, o que contribuiu para investimentos das montadoras, que não podiam deixar de vender em um mercado tão lucrativo quanto o brasileiro. Mas, como desde o início, esse é um setor que está muito relacionado com a economia, de forma que na década de 1980, ficou estagnado devido a problemas enfrentados pelo Brasil. No ano de 1990, com uma economia ainda fechada, esse mercado estava praticamente parado. Mas nos anos seguintes a situação foi melhorando, ganhou fôlego com o sucesso do Plano Real em 1994, e com políticas direcionadas para o setor. Porém, esse crescimento foi novamente interrompido com a crise asiática de 1997, e a crise na Rússia em 1998, fazendo com que as empresas do setor sofressem com fortes prejuízos, pois as crises vieram bem no momento em que os investimentos estavam sendo concretizados (CASOTTI & GOLDENSTEIN, 2008).

---

<sup>1</sup>Disponível em:< [www.carroantigo.com/portugues/conteudo/curio\\_historia\\_em\\_fotos\\_1.htm](http://www.carroantigo.com/portugues/conteudo/curio_historia_em_fotos_1.htm)> Acesso em: 21/09/2011.

A partir de 2004, porém, a situação voltou a mudar. Novamente, a exportação aumentou e a economia brasileira melhorou. Desde então o setor automobilístico não para de evoluir, juntamente com a nossa economia, fazendo com que as vendas cresçam a cada ano.

Os carros mais vendidos nos dias atuais são os chamados carros populares, os quais foram criados para atender a uma faixa de consumidores que privilegiavam um veículo de custo acessível, tanto de aquisição quanto de manutenção, com dimensões reduzidas, aliado a um baixo consumo de combustível. E também associado a essas características principais, apresentavam um conforto razoável e um bom valor de revenda.

Todas as principais montadoras hoje fabricam e têm como ponto forte de venda seus carros populares. Dentre eles, podemos destacar o Gol da Volkswagen, carro mais vendido até outubro deste ano, como divulgado pela revista Quatro Rodas.<sup>2</sup> Destacamos também os Fiat Uno e Palio, o Corsa e o Celta da Chevrolet e os Ford Ka e Fiesta. Todos eles estão entre os 15 mais vendidos segundo o ranking divulgado pela revista.

Com um mercado tão competitivo como o brasileiro, as montadoras têm investido muito no desenvolvimento desses carros, através de estudos para melhorar o desempenho, conforto, economia, entre outros.

Uma área que tem recebido muita atenção é a de desenvolvimento aerodinâmico desses veículos. A aerodinâmica tem uma influência muito grande no carro, pois tem relação com o consumo, desempenho, estabilidade e beleza.

Ao se moverem, os veículos têm que passar por uma “parede” de ar, que provoca em sua superfície uma força de resistência, em sentido contrário ao movimento do mesmo. Essa força, que será explicada com mais detalhes no próximo capítulo, recebe o nome de arrasto, e tem relação fundamental com todo o desempenho do automóvel. Outras forças relacionadas à aerodinâmica de veículos também serão estudadas mais adiante.

Um carro com formato aerodinâmico é aquele que vence a resistência do ar com uma maior facilidade. Como exemplo, carros de corrida são altamente aerodinâmicos, pois precisam chegar a altas velocidades sem perder a estabilidade,

---

<sup>2</sup> Disponível em:< <http://quatrorodas.abril.com.br/QR2/autoservico/top50/2011.shtml>> Acesso em: 30/09/2011

sendo assim, possível se chegar a um bom desempenho tanto nas retas quanto nas curvas.

## **1.OBJETIVO**

O objetivo desse trabalho é fazer uma análise da aerodinâmica dos carros populares das principais montadoras do país, fazendo uma comparação entre eles e mostrando a evolução da aerodinâmica em diferentes gerações desses veículos. Sendo escolhido um veículo de cada empresa: Corsa da GM, Gol da Volkswagen, Ka da Ford e Palio da Fiat.

### **1.1-JUSTIFICATIVA**

Hoje no Brasil, devido ao crescimento econômico, uma grande parcela da população está melhorando o seu poder aquisitivo, o que provoca um aumento na procura por automóveis econômicos, seguros e com certo conforto.

Este trabalho é relevante, pois mostrará aos compradores que a aerodinâmica é um fator a se considerar ao adquirir seu carro, e que influencia diretamente na redução do consumo de combustível, na estabilidade e nas dimensões do carro.

## **DESENVOLVIMENTO**

### **2- AERODINÂMICA**

#### **2.1-DEFINIÇÃO**

Escoamento sobre corpos imersos é uma área da mecânica dos fluidos que estuda a passagem de um fluido envolvendo um objeto sólido. Essa área estuda, por exemplo, a passagem da água em torno de submarinos e peixes. Quando o fluido é o ar, a análise desse escoamento recebe o nome de aerodinâmica.

Portanto, aerodinâmica é a área da mecânica dos fluidos que estuda a passagem de ar envolvendo a superfície de um objeto e os efeitos provocados por ela.

A forma do corpo imerso influencia muito no escoamento do ar. “Os corpos aerodinâmicos (como aerofólios e carros de corrida) provocam poucos efeitos no escoamento se comparados com aqueles provocados pelos corpos rombudos (como pára-quedas e edifícios)” (MUNSON et al., 2004, p.483).

Existem casos em que o objeto é que se move em direção ao fluido, como os aviões e carros. Em outros casos, como a passagem de uma rajada de vento ao redor de um edifício, quem se move é o fluido. Para estudos, podemos considerar que em ambos os casos, o objeto está parado e quem se move é o ar.

Qualquer objeto que se movimenta na atmosfera sofre a ação de forças que atuam em sua superfície de contato com o ar. “Essas forças podem ser escritas em função da tensão de cisalhamento,  $\tau_p$ , na parede, provocada por efeitos viscosos, e da tensão normal que é devida à pressão  $p$ ” (MUNSON et al., 2004, p.483).

A força resultante gera o arrasto,  $D$  (componente na direção do escoamento), e a sustentação,  $L$  (atua na direção normal ao escoamento). “O arrasto e a sustentação podem ser obtidas pela integração das tensões de cisalhamento e normais ao corpo que está sendo considerado.” (MUNSON et al., 2004, p.483).

Analisando a Ilustração 1, temos:

$$dF_x = (pdA) \cos \theta + (\tau_p dA) \sin \theta \quad (1)$$

$$dF_y = -(pdA) \sin \theta + (\tau_p dA) \cos \theta \quad (2)$$

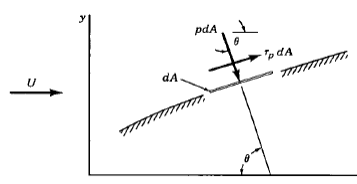


Ilustração 1- Forças de pressão e cisalhamento num elemento de área infinitesimal localizado na superfície de um corpo imerso. Fonte: Ilustração retirada de Munson et al.(2004).

Como dito anteriormente, a integral da força resultante na direção x gera o arrasto e a integral da força resultante na direção y gera a sustentação. Então:

(3)

$$\begin{aligned}
 D &= \int dF_x = \int p \cos \theta dA + \int \tau_p \sin \theta dA \\
 L &= \int dF_y = - \int p \sin \theta dA + \int \tau_p \cos \theta dA
 \end{aligned}
 \tag{4}$$

Mas para calcular essas integrais, é preciso conhecer o formato do corpo e conseqüentemente as distribuições de  $\tau_p$  e  $p$  ao longo de sua superfície, o que, normalmente, é muito difícil de ser feito quando se trata de geometrias complexas.

A alternativa encontrada para essa dificuldade é a utilização dos coeficientes de arrasto  $C_D$ , e de sustentação  $C_L$ , que são definidos por:

$$C_D = \frac{D}{0,5 \rho v^2 A} \tag{5}$$

$$C_L = \frac{L}{0,5 \rho v^2 A} \tag{6}$$

Onde: D- força de arrasto; L- força que provoca a sustentação;  $\rho$ - densidade do ar;  $v$ - velocidade do objeto; A- Área de projeção do objeto.

Geralmente o  $C_D$  é obtido com a utilização de túneis de vento, que são lugares fechados contendo enormes ventiladores que provocam o deslocamento do ar sobre a superfície do objeto, proporcionando aos engenheiros uma quantidade significativa de dados do item a ser estudado.

Todos os objetos podem ter seu  $C_D$  calculado, e seguindo esse coeficiente temos que o item com pior  $C_D$  é uma placa plana em pé, com  $C_D = 2$ , e o com melhor é uma gota de água,  $C_D = 0,05$ .

Escoamentos sobre corpos sólidos dependem de uma grande quantidade de parâmetros, como forma do corpo, velocidade do escoamento e propriedades do fluido. Uma maneira de descrever o caráter do escoamento é com a utilização do número de Reynolds, que é um parâmetro adimensional definido por:

$$Re = \rho v L / \mu \tag{7}$$

Onde:  $v$ - velocidade do escoamento;  $\rho$ - densidade do ar;  $\mu$ - viscosidade dinâmica do ar; L- comprimento do corpo.

Para fluidos em regime de escoamento subsônico, ou seja, com velocidade muito menor que a velocidade do som, o  $C_D$  depende unicamente do Re.

O número de Reynolds representa a razão entre efeitos de inércia e efeitos viscosos. Um baixo número de Reynolds indica que uma grande região ao redor do objeto é afetada por efeitos viscosos, veja a ilustração 2a. A medida que o  $Re$  aumenta, essa região vai ficando cada vez menor, como mostra a ilustração 2b. Com um alto número de Reynolds, os efeitos viscosos são praticamente desprezíveis, exceto nos pontos pertencentes à região adjacente à placa e na região da esteira, como mostrado na ilustração 2c (MUNSON et al., 2004, p. 88-89).

Observando a ilustração 2c, vemos a camada limite, também mostrada na ilustração 3, que é a região sobre e próximo a placa, onde os efeitos viscosos são importantes, na qual a velocidade do escoamento varia de zero, no ponto sobre a placa, até uma velocidade perto da encontrada fora da camada limite. Na direção do escoamento a espessura da camada limite vai aumentando o que explica o leve deslocamento das linhas de corrente fora da camada limite.

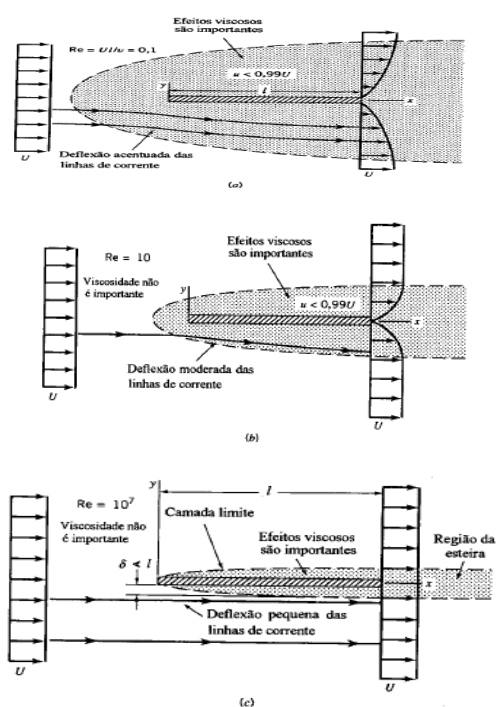


Ilustração 2- Características do escoamento sobre uma placa plana. Escoamento com número de Reynolds (a)baixo, (b)moderado e (c)alto. Ilustração retirada de Munson (2004)

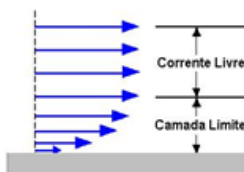


Ilustração 3- Representação de uma camada limite. Fonte: Ilustração retirada de Sousa (2005).

De acordo com Sousa:

O gradiente de velocidades leva à formação de um perfil de velocidades, que vai de zero na superfície do aerofólio, caracterizando a condição de escorregamento nulo, até uma velocidade muito próxima da velocidade da corrente livre, que depois permanece constante. A região do escoamento onde se desenvolve o perfil de velocidades recebe o nome de camada limite (SOUSA, 2005, p.16).

O escoamento na camada limite pode ser laminar ou turbulento. O escoamento é laminar quando apresenta um aspecto organizado, onde as partículas do fluido se movem em trajetórias bem definidas e paralelas entre si. Já o escoamento turbulento é quando as partículas se movem de maneira desorganizada, com movimento aleatório em trajetórias irregulares, como mostra a ilustração 4.

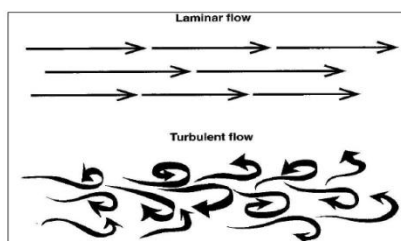


Ilustração 4- Escoamento laminar e turbulento. Fonte: Ilustração retirada de Ribas (2008)

Para grandes valores do número de Reynolds, um escoamento pode ser laminar ou turbulento, dependendo de outros parâmetros, mas para valores inferiores o escoamento é laminar.

## 2.2-AERODINÂMICA VEICULAR

Nos carros de hoje a aerodinâmica tem um papel muito importante. Ela está diretamente relacionada com diversas características de um veículo, tais como velocidade final alcançada, consumo de combustível, refrigeração do motor e



circulação de ar na cabine, geração de ruídos devido à passagem do fluxo de ar, entre outros.

### 2.2.1- FORÇAS AERODINÂMICAS SOBRE AUTOMÓVEIS.

Ao se moverem, os carros provocam uma perturbação no fluxo de ar, em reposta, sofrem a ação de algumas forças que interferem diretamente no seu comportamento. Essas forças são provocadas por efeitos viscosos e por diferenças de pressão.

Uma dessas forças é o arrasto, já definido no início deste capítulo, que tem grande influência na dirigibilidade, consumo de combustível, velocidade máxima do veículo.

Quando o carro se movimenta tem que passar por uma “parede” de ar que está na sua frente. Durante essa passagem o fluxo de ar passa pelo automóvel com a mesma velocidade deste, criando, devido aos efeitos viscosos, a camada limite.

O escoamento nessa camada é laminar até o chamado ponto de transição, a partir daí o escoamento passa a ser turbulento. Esse ponto é caracterizado pelo aumento repentino da espessura da camada limite, como mostra a ilustração 5.

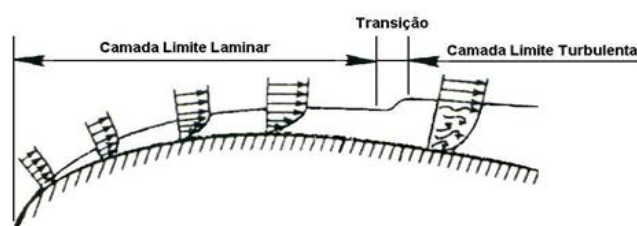


Ilustração 5- Escoamento na camada limite. Ilustração retirada de Sousa (2005)

Os fatores que influenciam esse ponto de transição são o número de Reynolds, que quanto maior for prolonga o espaço percorrido pelo escoamento laminar, e a rugosidade da superfície, que quanto maior for mais rápido se dá a transição do escoamento laminar para turbulento, exceto alguns objetos como a bola de golfe, em que a rugosidade ajuda no escoamento.

Um fator importante a se considerar é o coeficiente de arrasto, já definido neste capítulo. No caso de aerodinâmica veicular, o coeficiente de arrasto passa a ser denominado coeficiente de penetração aerodinâmica,  $C_x$ .

A sustentação, também já definida, é outra força a se considerar durante o movimento do carro. Ela é uma força gerada devido à diferença de pressão entre as partes superior e inferior do automóvel.

Para veículos, o interessante é obter uma sustentação negativa, chamada de *downforce*. Isso indica que a velocidade do fluxo de ar na parte inferior do carro deve ser maior que na parte superior, diminuindo a pressão e fazendo com que o veículo fique preso ao chão ao invés de suspender, como acontece com os aviões.

A sustentação é uma força que não tem muita influência nos veículos com formato padrão, ou seja, não afeta muito os carros utilizados pela população. Mas para carros de alta performance ela pode ser muito alta, tornando-se necessário a utilização de dispositivos que ajudam a controlá-la.

Uma outra força que interfere no movimento dos carros e deve ser considerada no projeto aerodinâmico é a força lateral  $F_S$ , definida pela equação:

$$F_S = 0,5 v^2 C_{f_s} A \quad (8)$$

Onde:  $F_S$ - coeficiente de força lateral

Esta é uma força que aparece devido ao vento lateral e pode causar problemas de estabilidade, de acordo com Girardi (2002). Devido à força lateral o motorista tem que fazer constantes correções durante a condução do veículo.

Outro item que influencia no movimento do carro é o momento de guinada,  $M$ , definida por:

$$M = 0,5 \rho v^2 C_M A b \quad (9)$$

Onde:  $C_M$ - coeficiente de Momento de Guinada;  $b$ - braço de alavanca

O Momento de Guinada, assim como a força lateral, aparece devido ao vento lateral e pode causar problemas de estabilidade. Ela é aplicada no centro de gravidade do veículo e é balanceada por forças nas rodas.

## 2.2.2- CARACTERÍSTICAS

Como já foi mencionado, um carro aerodinâmico tem uma grande facilidade para atravessar a “parede” formada pelo ar sem utilizar muito da potência do motor.

Os projetos aerodinâmicos têm como objetivo aproveitar ao máximo o corpo do carro para facilitar a passagem do fluxo de ar sobre sua superfície, fazendo com que essa passagem seja suave, diminuindo assim seu coeficiente de penetração aerodinâmica. Para conseguir esse menor  $C_x$  deve-se considerar:

- o formato da traseira do veículo; levantando e/ou alongando-a
- melhorias na parte frontal; através de uma curva suave começando a partir da linha do pára-choque;
- o ângulo de curvatura do pára-brisas; de forma a reduzir a pressão na sua base e suavizar o encontro com a parte superior, mas tomando cuidado com a geração de ruídos.
- uma curvatura adequada do teto;
- arredondamentos de cantos; mas tomando cuidado para não aumentar muito a área frontal;
- a dianteira mais baixa que a traseira, resultando em uma pressão menor na traseira devido ao efeito solo, gerado pelo aumento da velocidade do escoamento que passa entre o assoalho do veículo e o solo, causando uma redução de pressão na região traseira, levando a um aumento da estabilidade traseira.
- a forma do carro de uma maneira que o ar passe por sua superfície em sua maior parte com o escoamento laminar. E também deixar a camada limite o menos espessa possível, pois nessa condição o atrito é menor.

Mas nem sempre, um baixo  $C_x$  indica que o carro não é aerodinâmico. Carros de Formula 1, por exemplo, são altamente aerodinâmicos mas têm um coeficiente de penetração aerodinâmica relativamente alto, devido a utilização de asas e aerofólios que são muito importantes para o *downforce*, evitando que o carro decole.

Se compararmos dois carros com mesma potência, mesmo peso, mas com formas aerodinâmicas diferentes, veremos que o veículo com formato mais aerodinâmico, ou seja, com um formato que facilita o escoamento de ar sobre sua superfície, muito provavelmente terá uma velocidade máxima maior.

### 3- AERODINÂMICA DE CARROS POPULARES

Este capítulo mostra algumas gerações de carros populares das principais montadoras do país, analisando a forma aerodinâmica de cada um e mostrando a evolução de cada modelo ao longo das gerações escolhidas. Feito isso, compara-se os diferentes modelos de acordo com o seu coeficiente de penetração aerodinâmica.

Escolheu-se um carro de cada montadora, sendo eles: o Gol da Volkswagen, o Palio da FIAT, o Corsa da Chevrolet e o Ka da Ford.

#### 3.1- ANÁLISE INDIVIDUAL

##### 3.1.1- CHEVROLET CORSA

O Corsa Wind faz parte da primeira geração do carro fabricada no Brasil, ele apresenta um  $C_x = 0,35$ .<sup>3</sup>

Analisando a ilustração 6, observa-se que neste modelo a inclinação da linha do capô favorece o aumento de velocidade do fluxo de ar incidente. Observa-se ainda uma inclinação razoável do pára-brisa, a qual contribui para uma mudança de direção não muito brusca nesse ponto, o que deixa esse veículo com uma dianteira bem feita em questões aerodinâmicas.

A passagem do pára-brisa para o teto também ocorre de maneira suave, pois há uma continuação entre as linhas desses componentes.

Analisando-se o teto deste modelo nota-se uma sutil inclinação descendente em direção à traseira do carro. Na passagem do teto para o vidro traseiro, ilustração 7, há um forte ponto de queda, criando um ponto de recirculação, que faz com que o carro gaste mais potência para superar o arrasto.

Como o vidro traseiro é muito inclinado, o ar deixa o carro sem percorrer grande parte do vidro, o que deixa uma área de arrasto grande na traseira,

Verificando-se o caminho percorrido pelo fluxo lateral, vemos que este caminho não é muito sinuoso, devido às lanternas dianteira e traseira apresentarem

---

<sup>3</sup>Disponível em: <<http://quatorrodas.abril.com.br/classicos/brasileiros/chevrolet-corsa-wind-609280.shtml#galeria>> Acesso em:21/09/2011

uma leve curvatura, o que facilita a passagem do ar e reduz um pouco a área de arrasto.

Foi observada também uma diferença de altura entre a dianteira e traseira, o que provoca uma redução de pressão nesta, fazendo com o carro fique mais fixo ao chão, dando mais estabilidade ao carro.



Ilustração 6- Foto da frente e lateral esquerda do Corsa Wind. Fonte: Ilustração retirada de Disponível em: <<http://quatorrodas.abril.com.br/classicos/brasileiros/chevrolet-corsa-wind-609280.shtml#galeria>> Acesso em:10/11/2011



Ilustração 7- Foto da traseira e lateral direita do Corsa Wind. Fonte: Ilustração retirada Disponível em: <<http://quatorrodas.abril.com.br/classicos/brasileiros/chevrolet-corsa-wind-609280.shtml#galeria>> Acesso em: 10/11/2011

Os modelos de Corsa vendidos hoje pela Chevrolet fazem parte da segunda geração do veículo. Eles apresentam um  $C_x = 0,327$ .<sup>4</sup>

Analisando a ilustração 8 percebe-se uma curvatura suave durante todo o capô e uma boa inclinação do pára-brisa, de forma que o fluxo de ar percorre a dianteira desse modelo com grande facilidade.

Na transição do pára-brisa para o teto percebe-se uma curva muito suave, na qual o ar flui com extrema tranquilidade. Este modelo apresenta uma inclinação de teto moderada. O fluxo de ar passa por ele até chegar a traseira, mostrada na ilustração 9.

Observando-se a traseira da segunda geração do Corsa percebe-se uma inclinação que acompanha a linha do teto, de forma que o fluxo de ar passa de

---

<sup>4</sup> Disponível em: <<http://bestcars.uol.com.br/comp4/corsa-palio-ka-fieta-sandero-gol-10.htm>> Acesso em : 10/11/2011.

forma suave deste em direção ao vidro. A presença do pequeno aerofólio impede que o caminho percorrido pelo fluxo seja tão fácil, perturbando-o levemente.

Ao se analisar a lateral do Corsa, mostrada nas ilustrações 8 e 9, percebe-se a ocorrência de um vinco no capô, o qual forma um direcionador do fluxo de ar da dianteira para a lateral, evitando assim que o fluxo de ar incida diretamente sobre os retrovisores. Observa-se também a existência de uma mudança abrupta no ponto de passagem da lateral para a traseira, fazendo com que o ar se afaste por um tempo da superfície do carro, gerando uma região de recirculação.

O problema da existência de mudança abrupta de direção do fluxo de ar das laterais para a parte traseira da segunda geração Corsa, poderia ser resolvido com uma otimização da geometria da carroceria, tornando este ponto de transição mais arredondado, levando assim a uma redução do arrasto.

Essas duas gerações do Corsa, mostradas acima, foram as únicas fabricadas no Brasil, havendo outras fabricadas no exterior, mas que não fazem parte do objetivo deste estudo.

Comparando as gerações apresentadas acima, nota-se que em ambas, as curvaturas dos capôs favorecem o aumento de velocidade do fluxo de ar, mas a segunda geração apresenta uma melhor inclinação no pára-brisa.

Ambas as gerações apresentam uma inclinação de teto razoável, mas novamente a segunda geração leva vantagem no que diz respeito à passagem do fluxo de ar do pára-brisa para o teto.

Na passagem do teto para o vidro traseiro, observa-se que a presença do aerofólio no segundo modelo apresentado é apenas uma questão de estética, pois, muito provavelmente, sem ele este carro seria ainda mais aerodinâmico. Comparando-se com a primeira geração, observa-se que este é um ponto que pode ser melhorado nos dois modelos.

Comparando-se a lateral, o Corsa Wind apresenta uma melhor característica aerodinâmica, por ter pontos de transição mais arredondados.



Ilustração 8- Foto da dianteira e lateral direita do modelo da segunda geração do Corsa. Fonte: Ilustração disponível em:< [http://quatorrodas.abril.com.br/carros/testes/conteudo\\_246580.shtml#galeria](http://quatorrodas.abril.com.br/carros/testes/conteudo_246580.shtml#galeria)> Acesso em 10/11/2011.



Ilustração 9- Foto da lateral direita e traseira de um modelo da segunda geração do Corsa. Fonte: Ilustração disponível em:< [http://quatorrodas.abril.com.br/carros/testes/conteudo\\_246580.shtml#galeria](http://quatorrodas.abril.com.br/carros/testes/conteudo_246580.shtml#galeria)> Acesso em 10/11/2011.

### 3.1.2- VOLKSWAGEN GOL

As ilustrações 10 e 11 mostram fotos da primeira geração do Volkswagen Gol. Esse carro apresenta um  $C_x = 0,43$ .<sup>5</sup>

Observando o formato desse veículo, percebe-se que a sua dianteira apresenta uma forma que não facilita a passagem do fluxo de ar ao redor de sua carroceria. Nota-se que o local de passagem do pára-choque ao capô possui um formato quadrado, o que faz com que o ar sofra um grande impacto ao entrar em contato com o carro. Esse problema também ocorre na passagem do capô ao pára-brisa, devido a este possuir uma inclinação bastante acentuada. Esses pontos provocam uma forte força contrária ao movimento do carro, que tem de gastar mais potência para superá-la.

Ao observar-se a transição do pára-brisa para o teto, tem-se mais um ponto de obstáculo à passagem tranqüila do ar. No teto, a passagem do fluxo de ar também encontra problemas, devido à sua linha de inclinação ser praticamente imperceptível.

Quanto à parte traseira do Gol, nota-se uma boa inclinação do vidro traseiro, mas o modo como o fluxo de ar chega até ele, através do teto, torna a inclinação do vidro traseiro ineficiente.

No caminho lateral do fluxo de ar percebe-se os mesmos defeitos encontrados pelo caminho que o ar percorre ao passar por cima do Gol, pois os locais onde há mudança de direção apresentam aspecto de quinas. O ideal seria esses pontos apresentarem uma forma mais arredondada.

---

<sup>5</sup> Disponível em:< <http://somosquadrados.vilabol.uol.com.br/tecnicadogol.htm>> Acesso em 13/11/2011.



E ainda, devido ao pára-brisa praticamente não possuir uma curvatura horizontal, este modelo deve apresentar ruídos fortíssimos.

Por apresentar uma linha na qual a traseira é mais alta que a dianteira, a primeira geração do Gol tem nessa uma característica que ajuda sua aerodinâmica.



Ilustração 10-Foto da dianteira e lateral esquerda do Gol, primeira geração. Fonte: Ilustração Disponível em:<[http://quatorrodas.abril.com.br/classicos/brasileiros/conteudo\\_147119.shtml](http://quatorrodas.abril.com.br/classicos/brasileiros/conteudo_147119.shtml)> Acesso em: 13/11/2011.



Ilustração 11- Foto da lateral direita e traseira do Gol, primeira geração. Fonte: Ilustração Disponível em:<[http://quatorrodas.abril.com.br/classicos/brasileiros/conteudo\\_147119.shtml](http://quatorrodas.abril.com.br/classicos/brasileiros/conteudo_147119.shtml)> Acesso em: 13/11/2011.

A quinta geração do Gol, apresentada nas ilustrações 12 e 13, é a geração que está sendo vendida atualmente. Esse modelo possui um coeficiente de penetração aerodinâmica  $C_x = 0,34$ .<sup>6</sup>

Analisando-se a ilustração 12, observa-se que este modelo apresenta na sua dianteira uma boa característica aerodinâmica, com formatos arredondados que possibilitam uma passagem tranqüila do fluxo de ar.

Este carro tem um capô com uma boa forma aerodinâmica, um pára-brisa que apresenta inclinação razoável, de forma que a passagem de ar do primeiro para o segundo ocorre sem grandes exigências de esforço do motor.

Analisando-se a linha de teto da quinta geração do Gol, nota-se que ela possui um bom formato para a aerodinâmica do carro, pois ela continua a linha do

---

<sup>6</sup> Disponível em: < <http://bestcars.uol.com.br/comp4/corsa-palio-ka-fieta-sandero-gol-10.htm>> Acesso em: 13/11/2011



pára-brisa, fazendo com que o escoamento do ar não sofra grande perturbação e ainda mostra uma inclinação descendente que não pode deixar de ser notada.

A passagem do teto para o vidro traseiro também ocorreria de uma forma muito suave, pois as linhas destes apresentam uma continuação muito interessante. Mas a presença do aerofólio acaba atrapalhando, uma vez que esse objeto faz com que o ar não percorra parte do vidro traseiro. Ele foi colocado apenas por questão de estética, atrapalhando o rendimento aerodinâmico do carro.

A lateral do Gol, também ajuda na obtenção desse bom coeficiente de arrasto. Pode-se notar que esse modelo apresenta toda uma forma arredondada que impede mudanças bruscas na direção do escoamento e ajuda a minimizar a área de arrasto.

Ao se comparar a primeira com a última geração do Gol, percebe-se o quanto esse modelo evoluiu ao longo de suas cinco gerações, tanto que a diferença do coeficiente de penetração aerodinâmica desses carros é extremamente grande.

A última geração é melhor que a primeira em todos os aspectos observados neste estudo, desde a análise da dianteira até a análise da lateral, sendo este um carro com um bom formato aerodinâmico.



Ilustração 12- Foto do Volkswagen Gol, quinta geração, dianteira e lateral direita. Fonte: Ilustração Disponível em: <[http://quatorrodas.abril.com.br/carros/testes/conteudo\\_290091.shtml](http://quatorrodas.abril.com.br/carros/testes/conteudo_290091.shtml)> Acesso em: 13/11/2011.



Ilustração 13- Foto do Volkswagen Gol, quinta geração, traseira. Fonte: Ilustração Disponível em: <[http://quatorrodas.abril.com.br/carros/testes/conteudo\\_290091.shtml](http://quatorrodas.abril.com.br/carros/testes/conteudo_290091.shtml)> Acesso em: 13/11/2011

### 3.1.3- FORD KA

A primeira geração do Ford Ka lançada no Brasil, mostrada nas ilustrações 14 e 15, apresenta um  $C_x = 0,43$ .<sup>7</sup>

Observando-se a ilustração 14, nota-se que o Ford Ka apresenta um capô com uma inclinação acentuada, que ajuda no aumento da velocidade do fluxo de ar incidente. A mudança do capô ao pára-brisa não ocorre de forma tão suave assim, sendo esta passagem considerada razoável. Com essas análises temos um carro com um formato que poderia ser melhorado nas questões aerodinâmicas de sua dianteira.

A passagem do pára-brisa para o teto acontece de uma forma pouco turbulenta, sendo esse um ponto do Ka com bom formato aerodinâmico.

Analisando-se a inclinação do teto, tem-se um formato arredondado, que é bom para a passagem do fluxo de ar, mas o espaço entre as partes frontal e traseira é muito curto, de forma que essa inclinação não faz um efeito muito grande, quando analisa-se o Ford Ka.

No ponto de passagem do teto para o vidro traseiro está o principal motivo de esse não ser um carro com um bom coeficiente de penetração aerodinâmica. Percebe-se ao analisar este ponto, que o fluxo de ar sofre uma mudança de direção extremamente brusca e, ainda, a inclinação do vidro traseiro não ajuda em nada para se tentar evitar a turbulência gerada pelo arrasto. Dessa forma, a área de arrasto deixada por esse veículo é extremamente grande.

A lateral do Ford Ka também contribui para um  $C_x$  significativamente elevado, observa-se que os locais de mudança de direção não têm um formato que facilite a passagem do fluxo de ar, principalmente na traseira que possui um formato que só aumenta a área de arrasto.

---

<sup>7</sup> Disponível em:< [http://quatorrodas.abril.com.br/carros/testes/conteudo\\_264369.shtml](http://quatorrodas.abril.com.br/carros/testes/conteudo_264369.shtml)> Acesso em: 17/11/2011.



Ilustração 14- Foto da dianteira e lateral esquerda do Ford Ka, 2002. Fonte: Ilustração Disponível em: <<http://www.vrcarros.com.br/veiculos/ford/ka/2002/carro/2316>> Acesso em: 15/11/2011.



Ilustração 15- Foto da traseira do Ford Ka, 2002. Fonte: Ilustração Disponível em: <<http://www.vrcarros.com.br/veiculos/ford/ka/2002/carro/2316>> Acesso em: 15/11/2011

O Ford Ka 2007 faz parte da segunda geração desse veículo lançada no Brasil. Ele possui um  $C_x = 0,39$ .<sup>8</sup>

Ao observar-se a ilustração 16, nota-se que o Ford Ka apresenta um bom formato do ponto de passagem do ar através do pára-choque em direção ao capô. Este mostra um formato que possibilita ao fluxo de ar um caminho tranquilo até o ponto de encontro com o pára-brisa.

A passagem pela qual o fluxo de ar chega ao pára-brisa já não acontece sem perturbações, devido a este possuir uma inclinação relativamente forte.

O teto apresenta uma linha de inclinação interessante, pois ele segue de forma tranquila a linha de inclinação do pára-brisa e apresenta a parte de trás um pouco mais baixa que a frente.

O vidro traseiro é o grande problema da aerodinâmica desse modelo, analisando-se a ilustração 17, observa-se um vidro com uma inclinação muito grande, que impossibilita a passagem do fluxo de ar, o que faz com que este fluxo deixe o carro muito cedo, provocando uma área de arrasto muito grande.

A principal vantagem que pode se observar no modelo 2007, comparando com o 2002, está na lateral. O primeiro apresenta formas curvas em suas lanternas que facilitam a mudança de direção do fluxo de ar e, principalmente, apresentam desvios em sua estrutura que forçam o ar a passar pelo caminho menos turbulento,

---

<sup>8</sup>Disponível em: <[http://quatorrodas.abril.com.br/carros/testes/conteudo\\_264369.shtml](http://quatorrodas.abril.com.br/carros/testes/conteudo_264369.shtml)> Acesso em: 17/11/2011.

como pode ser observado uma curvatura horizontal excelente no vidro traseiro, provocando uma redução na componente horizontal do arrasto.

Estudando-se os dois modelos de Ford Ka apresentados vemos que esse é um veículo com um formato não aerodinâmico, o que pode ser concluído apenas observando-se os coeficientes de penetração aerodinâmica.



Ilustração 16- Foto da dianteira e lateral esquerda do Ford Ka, 2007. Fonte: Ilustração Disponível em:<[http://quatorrodas.abril.com.br/carros/testes/conteudo\\_264369.shtml](http://quatorrodas.abril.com.br/carros/testes/conteudo_264369.shtml)> Acesso em: 17/11/2011.



Ilustração 17- Foto da lateral esquerda e traseira do Ford Ka, 2007. Fonte: Ilustração Disponível em:<[http://quatorrodas.abril.com.br/carros/testes/conteudo\\_264369.shtml](http://quatorrodas.abril.com.br/carros/testes/conteudo_264369.shtml)> Acesso em: 17/11/2011.

### 3.1.4- FIAT PALIO

A análise do Fiat Palio será baseada apenas em suas imagens, pois este carro não apresenta um Cx disponível.

As ilustrações 18 e 19 mostram a primeira geração do Fiat Palio, lançada no Brasil em 1996.

Analisando-se a dianteira desse Palio, percebe-se que ela apresenta um formato alongado, com curvas suaves, um capô levemente arredondado e uma inclinação de pára-brisa razoável.

Esses pontos deixam a frente desse palio com um bom formato aerodinâmico, que possibilita ao ar entrar em contato com o veículo de uma forma agradável.

Observando-se, na ilustração 18, o local de passagem do pára-brisa para o teto, nota-se que a mudança de direção ocorre de uma forma razoavelmente boa, na qual o fluxo de ar não sofre variações muito bruscas.

A inclinação do teto da primeira geração do Palio ocorre em uma descendente que começa na frente do teto e vai em direção à parte de trás, mas essa inclinação é muito pequena e tem um formato quase reto, que não ajuda na performance aerodinâmica desse carro.

A passagem do teto para o vidro traseiro ocorre de uma maneira forte, devido à inclinação deste ser bastante acentuada. Esse fator é muito importante, pois faz com que o ar deixe o carro percorrendo apenas parte do vidro traseiro, aumentando a componente vertical do arrasto deixado pelo veículo.

Analisando-se o caminho lateral percorrido pelo fluxo de ar, percebe-se que este não foi feito da maneira adequada, seguindo os modelos ideais para aerodinâmica. Nota-se que os locais onde ocorrem as mudanças de direção, principalmente as lanternas dianteira e traseira, apresentam um formato que não facilita a ocorrência dessa mudança.

Outro problema de identificação visual deste modelo está na inclinação de seu assoalho. Percebe-se que ela é muito pequena, o que faz o carro deixar de ganhar estabilidade devido à diferença de pressão que poderia acontecer com uma traseira mais alta.



Ilustração 18- Foto da lateral direita e frente do Palio, primeira geração. Fonte: Ilustração retirada de <http://forum.autohoje.com/forum-geral/26549-fiat-palio-qual-mais-lhe-agrada.html>



Ilustração 19 Foto da traseira do Palio, primeira geração. Fonte: Ilustração retirada de <http://forum.autohoje.com/forum-geral/26549-fiat-palio-qual-mais-lhe-agrada.html>

As ilustrações 20 e 21 mostram fotos do Palio 2011, o qual faz parte da última geração lançada pela Fiat.

Analisando-se aerodinamicamente esse modelo, percebe-se que ele apresenta uma dianteira muito bem feita.

Seu capô mostra uma boa inclinação e um bom formato, que fazem a passagem do fluxo de ar por este ser suave, o que não exige do motor um gasto muito grande para superar a parede de ar à sua frente.

Observa-se, na ilustração 20, que a inclinação do pára-brisa do Palio 2011 é excelente para a aerodinâmica, pois ela não provoca no ar uma perturbação muito grande durante a transferência deste para o pára-brisa, vindo do capô.

Já a passagem do pára-brisa para o teto não ocorre com tanto sucesso, pois ocorre uma mudança de direção razoavelmente forte, que faz com que o ar perca um pouco de contato com a superfície do carro, gerando recirculação e, conseqüentemente, maior gasto de potência.

O teto apresenta uma inclinação muito pequena, que começa na parte da frente e vai em direção à traseira, quando o ideal seria uma inclinação um pouco mais acentuada.

Analisando-se a traseira desse carro, mostrada na ilustração 21, percebe-se que a linha de inclinação do vidro traseiro é razoável e não segue de forma contínua a linha do teto.

Esse modelo do Palio apresenta na sua traseira um aerofólio, que contém um espaço entre seu centro e a superfície do carro. Esse espaço força uma parte do fluxo de ar, que passaria por cima do aerofólio, a passar por baixo deste, fazendo com que essa parte do fluxo fique mais junto da superfície do vidro traseiro diminuindo, conseqüentemente, a força de arrasto gerada pelo movimento do veículo.

Percebe-se também, através da análise das figuras, que o caminho a ser percorrido lateralmente pelo ar é facilitado por locais de mudança de direção arredondados e por desvios que levam o ar a passar por onde ele será menos perturbado. Mas a inclinação horizontal do pára-brisa é apenas razoável, podendo gerar alguns ruídos dentro do carro quando este chega a velocidades mais altas.



Ilustração 20- Foto lateral esquerda e dianteira do Palio 2011. Ilustração retirada de <http://autossegredos.com.br/?p=7249>



Ilustração 21- Ilustração da traseira e lateral esquerda do Palio 2011. Ilustração retirada de <http://autossegredos.com.br/?p=7249>

### 3.2- COMPARAÇÕES

Considera-se hoje um carro com bom formato aerodinâmico, o que apresenta um coeficiente de penetração aerodinâmica próximo de 0,30.

Mas esse tipo de  $C_x$  geralmente é encontrado em modelos de carros sedã, como mostra a ilustração 22, que compara o Volkswagen Gol, que é um modelo hatch, com o também Volkswagen Voyage, representando um modelo sedã.

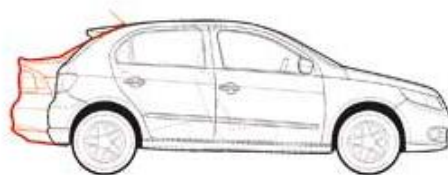


Ilustração 22-Comparação entre as estruturas dos modelos Voyage e Gol. Ilustração disponível em: <http://quatorrodas.abril.com.br/carros/impressoes/volkswagen-voyage-401391.shtml> Acesso em: 22/11/2011

Ao analisar a ilustração 22, percebe-se que o Voyage e o Gol diferenciam-se nas estruturas, apenas nos formatos de suas traseiras. Sendo esse o motivo da diferença no coeficiente de penetração aerodinâmica dos carros: Voyage com  $C_x = 0,31$  e o Gol com  $C_x = 0,34$ . O que mostra a importância da traseira para melhorar a aerodinâmica do carro.

Todos os carros analisados na seção anterior apresentam carroceria do tipo hatch. Isso explica o fato de nenhum deles chegar muito próximo do  $C_x$  considerado como o objetivo pelas montadoras de hoje. A tabela 23 mostra os coeficientes de penetração aerodinâmica dos carros analisados na seção 3.1. O Fiat Palio, não entra por não possuir um  $C_x$  informado.



Tabela 23- Veículos analisados e seus respectivos  $C_x$ 

Veículo	Geração	$C_x$
<b>Corsa</b>	1°	0,35
	2°	0,327
<b>Gol</b>	1°	0,43
	5°	0,34
<b>Ka</b>	1°	0,43
	2°	0,39

Fonte: Os dados apresentados foram organizados pelo autor no dia 22/11/2011.

Comparando-se os coeficientes de penetração aerodinâmica e as análises feitas na seção anterior dos carros analisados, separando-os por montadora, percebe-se que o Corsa é o que apresenta as melhores características aerodinâmicas.

Notou-se também que o carro analisado com pior coeficiente e, conseqüentemente, com piores características aerodinâmicas é o Ford Ka.

A grande diferença entre os coeficientes do Gol se deve ao fato de esse trabalho ter analisado a primeira e a quinta geração do carro, sendo as gerações intermediárias responsáveis pela redução gradual do  $C_x$  desse veículo.

Observando-se a tabela 23, vê-se que, dos carros populares analisados, o modelo com melhor aerodinâmica é o da segunda geração do Corsa, seguido pela quinta geração do Gol e pela primeira geração do Corsa. Sendo o  $C_x$  dos dois últimos muito próximos.

Percebeu-se através da análise da seção anterior que esses dois carros com coeficientes próximos apresentam muitas características parecidas, sendo que o Gol leva vantagem em algumas questões, como na traseira, em que de ambos não é muito boa, mas a do Gol é atrapalhada principalmente pelo aerofólio, que não é um problema tão grande como o fato de a inclinação do vidro traseiro do Corsa ser muito acentuada.

Observando-se a tabela 23, também nota-se que os piores coeficientes individuais são os das primeiras gerações do Gol e do Ford Ka, ambos com  $C_x = 0,43$ . Mas nesse caso, um coeficiente igual, não quer dizer características iguais.



Esse coeficiente ruim no Gol se deve ao seu formato todo quadrado desde a dianteira, que faz com que o ar faça uma força muito grande contra o movimento do carro, força de arrasto. Já o  $C_x$  ruim do Ka, se deve ao fato de ele apresentar uma traseira péssima, em questões aerodinâmicas e como visto no início desta seção, a traseira tem forte influência na aerodinâmica do carro.

Através da análise feita na seção anterior, percebeu-se que o Fiat Palio apresenta um bom formato aerodinâmico, desde seus primeiros modelos, sendo dos modelos entre os melhores em formatos aerodinâmicos de carros populares.

## CONCLUSÃO

Através do estudo feito, pode-se chegar à conclusão que a aerodinâmica é um fator que deve ser considerado em diversos projetos de diferentes áreas. Como, por exemplo, a construção civil.

Quanto ao setor automotivo, a aerodinâmica é extremamente importante, pois tem ligação direta com várias características do automóvel, como a velocidade, refrigeração, consumo, estabilidade, beleza e outras.

Vimos que esse é um ponto de preocupação dos projetistas desde os primeiros carros fabricados, sendo essa característica melhorada com estudos ao passar dos anos.

Conclui-se também que a força de arrasto é de extrema importância para os estudos aerodinâmicos, sendo o coeficiente de arrasto o principal parâmetro para saber se o objeto tem ou não um bom formato aerodinâmico.

Quanto aos carros concluiu-se que as principais características que influenciam num bom coeficiente de penetração aerodinâmica e, conseqüentemente, num bom formato aerodinâmico são:

- a forma da traseira do carro e;
- uma seqüência nas linhas de mudança de componentes;

Viu-se que apesar da importância no desempenho do carro, as montadoras estão muito preocupadas também com a estética, pois esse é um fator de extrema importância na hora da escolha do consumidor.

Com respeito aos carros estudados, concluiu-se que o que apresenta melhores características aerodinâmicas é o Corsa, seguido pelo Palio, Gol, e por último o Ka, que não apresenta um bom formato aerodinâmico.

Para trabalhos futuros, sugere-se a continuação das análises feitas neste trabalho através de simulações computacionais e validação dos resultados através de ensaios experimentais utilizando modelos de escala reduzida.

**Abstract:** This task brings, firstly, an historical about Brazilian automotive sector, and then makes a revision about aerodynamic, bringing definitions and explanations about it. Speaking of vehicular aerodynamic it can be motioned historic, strength definitions, like drag and characteristics that can influence in the aerodynamic format. Then it's made an analysis of aerodynamic, trough illustrations and penetration aerodynamic coefficient of some of the latest popular cars made by the mainly Brazilian automakers, getting to conclusions that interest the buyers of theses products.

**Key-words:** Popular Cars, Aerodynamic and Aerodynamic Penetration Coefficient.

## Referências

ISHIKAWA, M. **Rev. Quatro Rodas**. 2011. Disponível em:< [http://quatorrodas.abril.com.br/noticias/fabricantes-setor-automotivo-investira-r-26-bi-brasil-2017-marcio-ishikawa-299149\\_p.shtml](http://quatorrodas.abril.com.br/noticias/fabricantes-setor-automotivo-investira-r-26-bi-brasil-2017-marcio-ishikawa-299149_p.shtml)> Acesso em: 21/09/2011.

MANTELLATTO, L. O Processo de Integração do Setor Automobilístico no Mercosul. **Rev. de Negócios Internacionais**, Piracicaba, 4(7):19-25, 2006.

CASOTTI, B.P; GOLDENSTEIN, M. **Panorama do Setor Automotivo: As mudanças estruturais da indústria e as perspectivas para o Brasil**. BNDES Setorial, Rio de Janeiro, n. 28, p. 147-188, set. 2008.

MUSSON, B.R et al. **Fundamentos da mecânica dos fluidos: Escoamentos sobre corpos imersos**. Editora; 4ª ed.; São Paulo; editora Edgard Blücher;2004.

SOUSA, B.S. **Projeto de perfis aerodinâmicos usando técnicas de otimização**. Itajubá, 2005.

RIBAS, D.M; **Projeto aerodinâmico de um veículo para competições de Rali Cross Country**. São Paulo, 2008.

BRAND, G.L. **Influência de carregamentos aerodinâmicos na estabilidade direcional de veículos rodoviários**. São Carlos, 2010.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ITAJUBÁ Biblioteca Central, **Aerodinâmica de veículos terrestres**, ed. da UNIFEI, São José dos Campos; 2002.

ROSA, E.S. et al. **Métodos computacionais em engenharia térmica e ambiental: Análise em Duas Dimensões do Arrasto em um Automóvel Utilizando o Software Phoenix**; Tese de Mestrado; FEM; 2003