

## ANÁLISE DE DESEMPENHO AERODINÂMICO DE DEFLETORES DE AR PARA VEÍCULOS DE CARGA RODOVIÁRIOS VIA CFD.

Turan Dias, turandias@gmail.com<sup>1</sup>

Luzia Aparecida Tofaneli, luzia.tofaneli@fieb.org.br<sup>2</sup>

Yuri Guerrieri, yuri.guerrieri@ufba.br<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Departamento de Engenharia Mecânica – Escola Politécnica – Universidade Federal da Bahia. Rua Prof. Aristides Novis, nº 2, Federação, CEP: 40210-630, Salvador, Bahia, Brasil.

<sup>2</sup>SENAI, Avenida Orlando Gomes, 1845, CEP: 41650-010, Piatã, Salvador, Bahia, Brasil.

<sup>3</sup>Departamento de Engenharia Química – Escola Politécnica – Universidade Federal da Bahia. Rua Prof. Aristides Novis, nº 2, Federação, CEP: 40210-630, Salvador, Bahia, Brasil.

**Resumo:** O Brasil, segundo a Confederação Nacional do Transporte (CNT), é possuidor de 1.581.105 quilômetros de rodovias nacionais, estaduais ou municipais, número bem superior aos 44.000 quilômetros de hidrovias (dos quais apenas 19.000 são utilizados economicamente) ou aos 29.637 quilômetros de malha ferroviária. Enquanto esses números evidenciam o alcance do transporte rodoviário, outros números o evidenciam como principal meio de transporte de cargas no país por possuir participação maior que 60% em TKUs (produto de toneladas por quilômetros) transportados, bem a frente do transporte ferroviário, segundo colocado, possuidor de participação inferior a 21%. Uma análise do efeito do consumo de combustível oriundo deste transporte revela grande participação no custo final das operações e nas emissões atmosféricas nocivas à saúde e ao meio ambiente. A minimização deste consumo envolve a redução da força de resistência ao movimento, na qual o arrasto tem significativa porcentagem. Nas últimas décadas, o uso de ferramentas computacionais para análises aerodinâmicas vem se tornando cada vez mais comum, uma vez que os novos recursos computacionais possibilitam simulações mais fiéis a resultados encontrados experimentalmente. O objetivo deste trabalho é avaliar o desempenho aerodinâmico de defletores de ar para veículos de carga rodoviários e computar a redução no consumo de combustível ocasionada por sua instalação. Para isso são aplicados métodos de Fluidodinâmica Computacional (CFD, Computational Fluid-Dynamic) em duas dimensões com o intuito de calcular a redução das forças de arrasto e é desenvolvida uma metodologia para o cálculo da redução do consumo de combustível. No presente trabalho pode-se identificar uma alta dependência da eficiência do defletor de ar em relação a sua geometria. Foram avaliados dispositivos diferentes à velocidade de até 80 km/h e chegou-se a uma economia de combustível de até 25%.

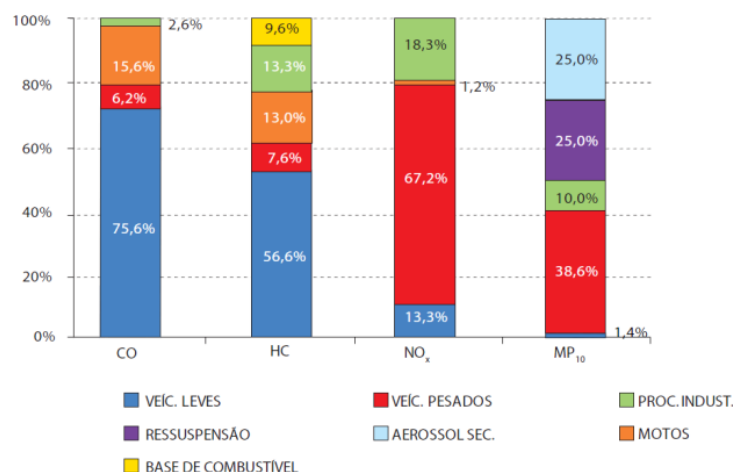
**Palavras-chave:** CFD, Aerodinâmica veicular, Consumo de combustível.

### 1. INTRODUÇÃO

O Brasil é, segundo a Confederação Nacional do Transporte (CNT), possuidor de 1.581.105 quilômetros de rodovias nacionais, estaduais ou municipais, número bem superior aos 44.000 quilômetros de hidrovias (dos quais apenas 19.000 são utilizados economicamente) ou aos 29.637 quilômetros de malha ferroviária. Enquanto esses números evidenciam o alcance do transporte rodoviário, a CNT também o evidencia como principal meio de transporte de cargas no país por possuir participação maior que 60% em TKUs (produto de toneladas por quilômetros) transportados, bem a frente do transporte ferroviário, segundo colocado, possuidor de participação inferior a 21%.

Diante da relevância do transporte rodoviário, otimizações no setor que reduzam os custos operacionais têm, em nível nacional, um grande impacto financeiro. Focando o consumo de combustível como objetivo da otimização, logo surge outra grande área de relevância: a minimização de impactos ambientais.

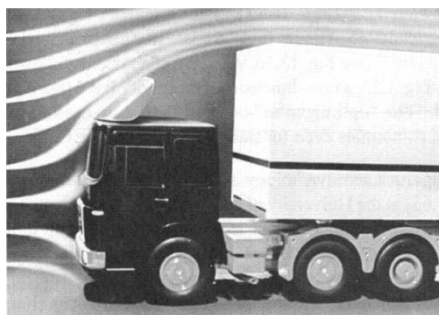
Através da análise da Fig.(1) nota-se que, no estado de São Paulo, veículos pesados, classificação na qual se inserem os veículos de transporte de carga, são responsáveis por parcelas significativas de diversos poluentes. Apesar da relevância na emissão de monóxido de carbono (CO), de hidrocarbonetos (HC) e de material particulado (MP), a responsabilidade por 67,2% das emissões de NOx, causador de diversas doenças respiratórias e dermatológicas, é notória.



**Figura 1: Emissões Relativas por tipo de fonte para o estado de São Paulo (CETESB, 2010)**

Assim, o melhoramento aerodinâmico de veículos de carga focado em redução e consumo de combustível, além de reduzir custos operacionais do principal meio de transporte de cargas do país, reduzirá emissões atmosféricas nocivas de uma fonte com significativa participação relativa das emissões totais.

Dentre as diversas ações para o melhoramento aerodinâmico pode-se citar proporções ótimas entre a largura e o raio das bordas do veículo (Hucho, 1998) e a instalação de saias e *flaps* (Ortega e Salari, 2004). Defletores de ar, também utilizados para esse melhoramento, são dispositivos instalados na parte superior da cabine, como ilustrado na Fig. (2).



**Figura 2. Uso de defletor do tipo "airshield" veículo rodoviário de carga. (Hucho, 1998)**

O objetivo geral desse trabalho é realizar um estudo sobre a aerodinâmica de um veículo comercial de carga, com especial foco na interação cabine-carroceria. Espera-se avaliar, através da Fluidodinâmica Computacional (CFD, *Computational Fluid-Dynamic*) a eficiência de dispositivos projetados para adequar essa interação a requisitos aerodinâmicos. Entre os mais relevantes requisitos está a diminuição do coeficiente de arrasto, que tem fundamental contribuição no consumo de combustível do veículo, variável a ser minimizada no presente projeto. Serão simulados numericamente dois diferentes modelos de defletores de ar. Simulações de veículos sem defletores serão também realizadas para comparação.

## 2. MODELAGEM COMPUTACIONAL

Para a análise do escoamento em torno de um veículo de carga rodoviário, uma abordagem permanente (não variante no tempo) foi utilizada. Apesar desse tipo de escoamento apresentar zonas de turbulência, efeito essencialmente transiente, um modelo que retrata a média temporal dessa turbulência irá reduzi-lo ao caso permanente.

O motor e regiões atritantes do veículo são, em suma, pontos de geração de energia térmica. Essa geração, no entanto, não é grande o suficiente para provocar variações significativas nas propriedades do ar escoante e será desprezada. A inexistência de relevante geração de energia térmica aliada à realidade permanente leva a um equilíbrio térmico e, conseqüentemente, à condição isotérmica para estudo.

Assumindo uma velocidade do som no ar de 340 m/s e sabendo que velocidades de cruzeiro de um veículo de carga rodoviário não ultrapassam 200 km/h, tem-se um número de Mach máximo para o escoamento em torno de 0,16. Essa condição de baixa velocidade aliada à condição isotérmica do escoamento conduzirá a uma condição de incompressibilidade do ar que escoa. Para a obtenção da solução das equações descritoras do escoamento estudado uma abordagem numérica foi adotada. O programa ANSYS CFX foi utilizado para, através do método dos volumes finitos, resolver as equações de continuidade e de Navier Stokes, descritas nas Eqs. (1)-(4):

$$\frac{\partial(pw)}{\partial t} + \text{div}(pw\vec{u}) = -\frac{\partial p}{\partial z} + \text{div}(\mu \text{grad } w) + S_{Mz} \quad (1)$$

$$\frac{\partial(pv)}{\partial t} + \text{div}(pv\vec{u}) = -\frac{\partial p}{\partial y} + \text{div}(\mu \text{grad } v) + S_{My} \quad (2)$$

$$\frac{\partial(pu)}{\partial t} + \text{div}(pu\vec{u}) = -\frac{\partial p}{\partial x} + \text{div}(\mu \text{grad } u) + S_{Mx} \quad (3)$$

$$\frac{\partial p}{\partial t} + \text{div}(\rho\vec{u}) = 0 \quad (4)$$

onde  $p$  é pressão;  $t$  é tempo;  $x$ ,  $y$  e  $z$  são, respectivamente, as três direções cartesianas;  $u$ ,  $v$  e  $w$  são, respectivamente, as velocidades nas direções  $x$ ,  $y$  e  $z$ ;  $\vec{u}$  é o vetor tridimensional de velocidade;  $\mu$  é a viscosidade do fluido;  $S_{Mx}$ ,  $S_{My}$  e  $S_{Mz}$  são os termos fontes de momento nas direções descritas em subscrito.

No presente trabalho, o "scheme" de interpolação utilizado foi o *high resolution*. Segundo o manual de uso do ANSYS CFX (ANSYS CFX, 2009) este é o indicado para a obtenção de resultados finais.

Uma vez que a computação de escoamentos turbulentos diretamente através das equações de Navier Stokes exige um refinamento de malha não processável em tempo hábil pela maioria dos recursos computacionais hoje disponíveis é necessário utilizar uma modelagem para esse propósito. No presente trabalho o modelo de turbulência utilizado é o sst  $k-\omega$ . Vasta literatura indica este como modelo mais adequado para situações em que o descolamento da camada limite é de suma relevância para o estudo, em especial para casos de aerodinâmica de veículos terrestres (Korkischko, 2006; Ribas, 2008; ANSYS CFX, 2009). Esse modelo exige a resolução de duas equações de transporte a mais: uma relativa à energia cinética turbulenta ( $k$ ) e outra referente à frequência turbulenta ( $\omega$ ).

$$\frac{\partial(\rho k)}{\partial t} + \text{div}(\rho k\vec{u}) = \text{div}(\Gamma \text{grad } k) + S_k \quad (5)$$

$$\frac{\partial(\rho \omega)}{\partial t} + \text{div}(\rho \omega\vec{u}) = \text{div}(\Gamma \text{grad } \omega) + S_\omega \quad (6)$$

$S_k$  e  $S_\omega$  são os termos fontes de  $k$  e  $\omega$  respectivamente e podem ter seus equacionamentos encontrados em Ferreira (2011), pág. 52.

## 2.1. Recurso Computacional Disponível

Todas as gerações de malha e simulações para o presente trabalho serão realizadas num computador Dell Workstation T3500, com processador Intel Xeon Dual Core e 12 Gigabytes de memória RAM. A disponibilidade desta máquina, assim como da licença do software ANSYS CFX 11.0 foram cortesia e apoio do SENAI-CIMATEC.

O SENAI-CIMATEC dispõe de um *cluster* para aplicações computacionais que necessitem de maior recurso. A configuração do *cluster* para uso com o *software* ANSYS CFX, por incompatibilidade de versões deste com o sistema operacional que roda no *cluster*, não haveria como ser feita em tempo hábil para o presente trabalho.

Devido ao recurso computacional disponível, as simulações no presente trabalho serão bidimensionais. Apesar da natureza intrinsecamente tridimensional da turbulência, um modelo 2-D, retratando o perfil longitudinal presente num plano médio ao longo do veículo poderá retratar os resultados da instalação de dispositivos aerodinâmicos para a interação entre cabine e carroceria. Não é raro encontrar na literatura modelos tridimensionais sendo simulados com recursos computacionais compatíveis com os disponíveis para o presente trabalho. No entanto, em alguns destes casos, requisitos de malha para a efetividade dos modelos de turbulência nem sempre podem ser alcançados.

## 2.2. Geometrias Escolhidas

No presente trabalho foram simulados dispositivos aerodinâmicos instalados numa dada geometria de caminhão. A definição dessa geometria é de suma importância para que os resultados obtidos sejam representativos para a realidade brasileira dos veículos de transporte de carga rodoviários.

Segundo dados da ANFAVEA, publicados no Boletim de Veículos e Implementos de 2011 da Confederação Nacional do Transporte (CNT), mostrados na Fig.(3), em 2009 e 2010 os veículos semi-pesados foram os mais produzidos no Brasil. Por isso os veículos enquadrados nesta classificação serão os de interesse neste trabalho.

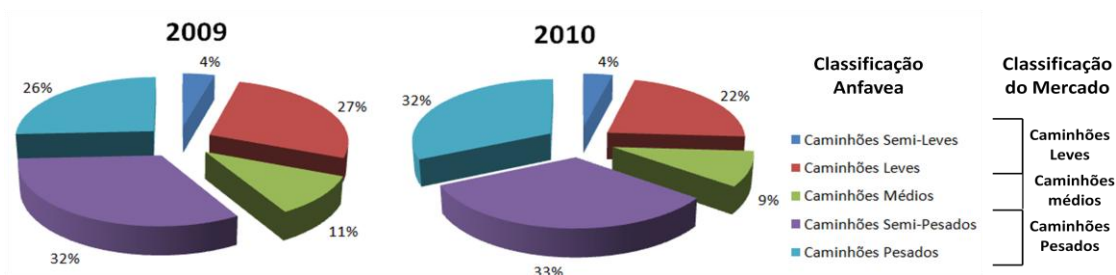


Figura 3. Produção de caminhões por porte no Brasil (CNT, 2011).

A Fig.(4) ilustra diversos modelos de caminhões semi-pesados, de diferentes montadoras, todas com grande participação no mercado.



Figura 4. Modelos de veículos semi-pesados de diferentes fabricantes.

A observação da Fig.(4) evidencia semelhanças geométricas entre os modelos de caminhões semi-pesados de diferentes fabricantes. Assim, por mais que, numa análise bastante rigorosa, o comportamento aerodinâmico de cada um dos modelos tenha suas particularidades, de uma forma geral, os escoamentos em torno destes veículos terão características muito semelhantes. Tendo em vista essa semelhança e também a dificuldade na obtenção de dados completos da geometria de um veículo comercial, o presente trabalho simulará escoamentos sobre um modelo criado baseado em dimensões e desenhos fornecidos em catálogos de um Ford Cargo 2428, veículo classificado como Caminhão Semi-Pesado.

### 2.3. Malha Computacional

O *software* a ser utilizado para as simulações requer um desenho tridimensional do corpo a ser simulado. Como as simulações do presente trabalho serão bidimensionais, esse corpo a ser simulado será uma extrusão do perfil lateral do veículo. A condição de bidimensionalidade será instituída através de condições de contorno de simetria.

Para a obtenção desse desenho tridimensional do veículo é utilizado o software SolidWorks. A sequência de ações pode ser dividida nos 3 itens seguintes: i) num primeiro momento importa-se um desenho de um catálogo público disponibilizado pelo fabricante e acredita-se que esse modelo está relacionado em escala às medidas também fornecidas pelo catálogo; ii) vetoriza-se os contornos de interesse presente nesse desenho importado; iii) extruda-se, então, o desenho vetorizado de uma espessura arbitrária e aplica-se uma ferramenta de escala para obter-se o desenho tridimensional nas dimensões pretendidas (aquelas presentes em catálogo) (Oliveira, 2011).

Para a realização das simulações é necessário um desenho tridimensional que contemple a região (domínio) na qual o fluido escoará. Assim, o real interesse é num desenho deste domínio, e não num do veículo em si. Esse domínio, no presente trabalho, é obtido pela subtração da geometria do veículo de um domínio retangular.

Em sua pesquisa, Ribas (2006) identificou trabalhos que indicam proporções ideais entre o domínio retangular e o corpo subtraído dele. A Fig.(5) explicita essas proporções.

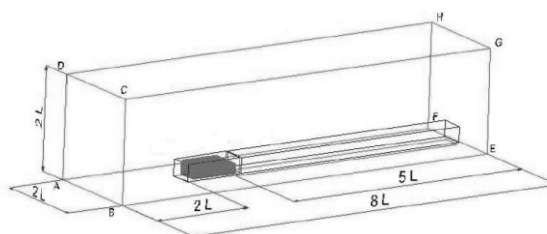
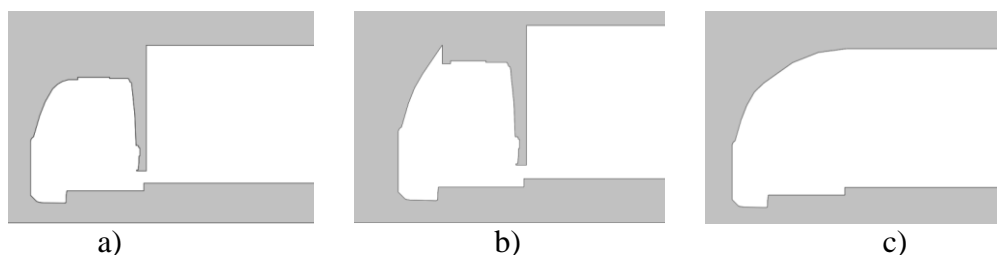


Figura 5. Proporções ótimas para simulação de escoamento em torno de corpo veicular (Ribas, 2006)

O presente trabalho seguiu todas as proporções indicadas na Fig.(5), exceto aquela indicadora da largura  $2L$  do domínio, não aplicável a uma simulação bidimensional. Duas geometrias de dispositivos foram simuladas. Assim, as simulações foram feitas sobre três distintas geometrias: i) veículo sem nenhum dispositivo de melhoria aerodinâmica (Fig. 6a); ii) um defletor simples, semelhante aos mais comuns “*airshields*” encontrados no mercado. Esse defletor será, doravante, denominado Defletor 1 (Fig. 6b); e iii) um defletor que isola toda a região compreendida entre a cabine e a carroceria. Esse defletor será denominado Defletor 2 (Fig. 6c). A priori este segundo defletor seria apenas aplicável a

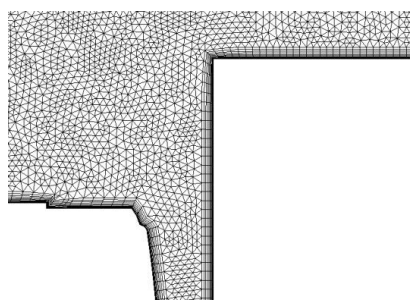
veículos não articulados (sem movimento relativo entre cabine e carroceria), que é o caso dos veículos de carga semi-pesados.



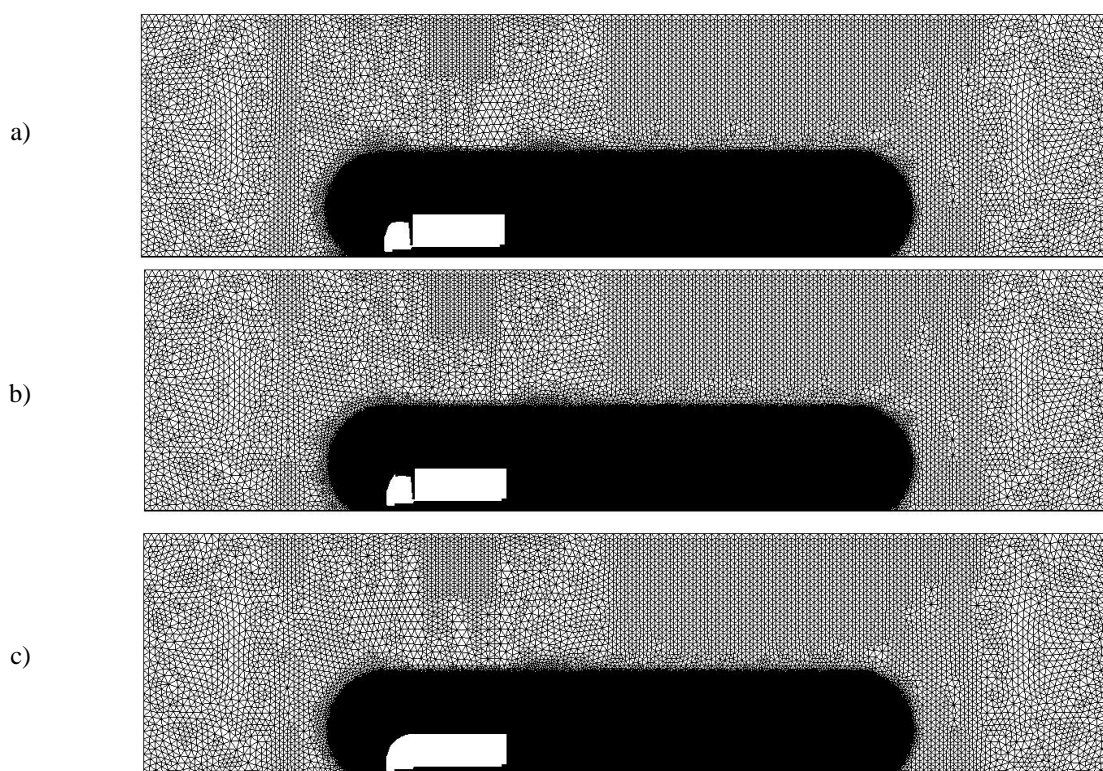
**Figura 6. Geometria próxima à cabine e à carroceria para situações: a) sem defletor; b) com Defletor 1; c) com Defletor 2.**

O ANSYS CFX só reconhece malhas tridimensionais. A realização de uma simulação 2-D a partir de uma malha 3-D requer que a malha tenha apenas um elemento na dimensão a ser desprezada. Assim tem-se uma redução dimensional. Regiões de grande variação de propriedades de interesse neste trabalho (velocidade e pressão) devem ser cobertas por uma malha de maior resolução, com o intuito de prever com melhor qualidade através de simulações os eventos que ali ocorrem. Esse fato aliado à condição de não deslizamento que ocorrerá na parede do veículo induz à necessidade de uma malha mais refinada na proximidade do caminhão e por onde sua esteira turbulenta se estende. Especial atenção deve ser dada às regiões próximas das paredes, onde o desenvolvimento e o descolamento da camada limite ocorrem.

A Fig.(7) mostra detalhes próximos à parede de uma malha gerada neste trabalho. Nela é possível perceber a criação de camadas de elementos próximos à parede, para uma melhor resolução da camada limite.



**Figura 7. Detalhe de malha gerada nas proximidades da parede.**

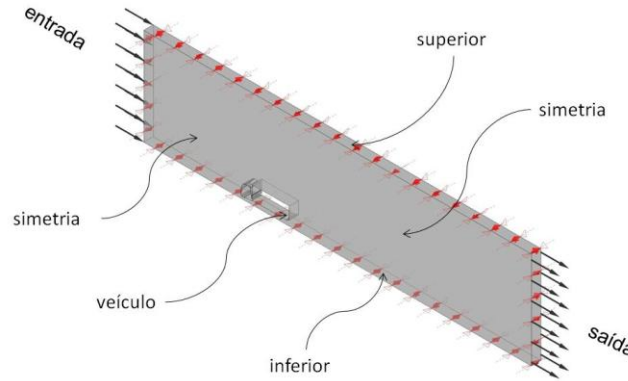


**Figura 8. Malhas geradas para as situações: a) sem defletor; b) com Defletor 1; c) com Defletor 2.**

A Fig.(8) mostra as malhas geradas para as três geometrias estudadas. Nela é interessante notar toda a região de alta resolução que descreverá a esteira turbulenta.

#### 2.4. Condições de contorno

A Fig.(9) ilustra as condições de contorno utilizadas para as simulações.



**Figura 9. Condições de contorno utilizadas para simulações.**

As duas faces nas extremidades da largura do domínio são estipuladas como superfícies de simetria. Essa condição aliada à malha possuidora de um elemento nessa direção irá determinar a condição de uma simulação bidimensional. A superfície da extrema esquerda do comprimento do domínio, indicada com setas que adentram a região de simulação na Figura 9, é estipulada como a região de entrada de ar. A velocidade dessa entrada deve ser igual à velocidade com a qual o veículo se move. Aqui, para cada geometria, foram feitas simulações com velocidade de entrada de 20, 40, 60 e 80 km/h.

O veículo é modelado como uma parede lisa com condição de não deslizamento. Isso simulará a existência de camada limite nessa região, determinante para os efeitos de geração de arrasto predominantes.

A região identificada como saída, na extrema direita do comprimento do domínio, é modelada como tendo uma pressão igual à pressão atmosférica. O comprimento total do domínio é tal resolve todos os efeitos da inserção do veículo no escoamento, validando assim essa condição. A região indicada na Figura 9 como superior é modelada como uma parede sem condição de não deslizamento. Assim, nesta região, teremos velocidades estritamente horizontais, que configuram o resultado esperado uma vez que o domínio cobre toda a área de influência do veículo no escoamento.

A região indicada como inferior é modelada como uma parede móvel com condição de não deslizamento. A velocidade dessa parede é, em toda simulação, igual à velocidade na região de entrada. Essa condição de movimento resultará na velocidade relativa entre o ar e a superfície inferior nula em regiões à frente do veículo, replicando a condição na qual o ar está parado e o veículo em movimento. Também resultará na velocidade relativa entre a superfície inferior e o veículo, também presente na condição real na qual este se move.

O domínio foi modelado como incompressível e isotérmico.

#### 2.5. Redução no Consumo de Combustível

O consumo  $B$  de um veículo (dado em litros por 100 km) pode ser computado através da Eq. (7) (Hucho, 1998):

$$B = \frac{1}{\rho_{comb}} \frac{\int_{F_T > 0} b_e \left( \frac{F_T V}{\eta_D} + P_{b,a} \right) dt + \int_{F_T < 0} \dot{b}_b dt + \dot{b}_{v=0} t_{v=0}}{\int_0^T V dt} \quad (7)$$

Onde  $b_e$  é o consumo específico de combustível ([g/Kwh]),  $P_{b,a}$  é a potência consumida por acessórios do veículo,  $\dot{b}_b$  é a taxa de volume de combustível instantânea durante a frenagem ([L/s]) e  $\dot{b}_{v=0}$  é a taxa de consumo de combustível quando o veículo opera com velocidade nula. Os termos  $F_t < 0$ ,  $F_t > 0$  e  $V = 0$  fazem referência aos instantes de força trativa menor que zero, força trativa maior que zero e velocidade do veículo igual a zero, respectivamente.

O presente trabalho analisará a redução no consumo de combustível para veículos de carga trafegando a velocidades constantes, utilizando um mesmo arranjo de transmissão, numa via nivelada (ortogonal à gravidade local) e serão desconsideradas as parcelas de potência utilizadas por acessórios. Utilizando o subscrito  $C$  para o consumo de combustível para um veículo com defletor e o subscrito  $S$  para um veículo sem defletor, pode-se calcular a redução relativa no consumo através da Eq. (8):

$$\frac{B_s - B_c}{B_s} = 1 - \left( \frac{D_c + R_c}{D_s + R_s} \right) \quad (8)$$

onde  $D$  é o arrasto aerodinâmico e  $R$  é a resistência à rolagem. O arrasto aerodinâmico pode ser calculado através da Eq.(9):

$$C_d = \frac{D}{\frac{1}{2} \rho V_\infty^2 A} \quad (9)$$

onde  $C_d$  é coeficiente de arrasto,  $\rho$  é a densidade do fluido,  $V_\infty$  é a velocidade do veículo em relação ao ar e  $A$  é a área projetada frontal do corpo.

Através do software de simulação fluidodinâmica tem-se uma força de arrasto calculada para a geometria bidimensional de largura arbitrária. Através desta força e do conhecimento da área frontal da geometria chega-se, através da Eq. (9) ao coeficiente de arrasto para a geometria. A partir disso, utilizando a área frontal de um veículo real, este coeficiente de arrasto encontrado e, novamente, a Eq. (9) encontra-se por fim a força de arrasto enfrentada pelo veículo real.

A resistência a rolagem  $R$  de um veículo depende de sua massa  $m$  e de um coeficiente de resistência a rolagem  $f_r$ , e é definida pela Eq. (10):

$$R = f_r G \quad (10)$$

onde  $G = mg$  é a força que o veículo exerce no solo devido a sua massa, sendo  $g$  a aceleração da gravidade.

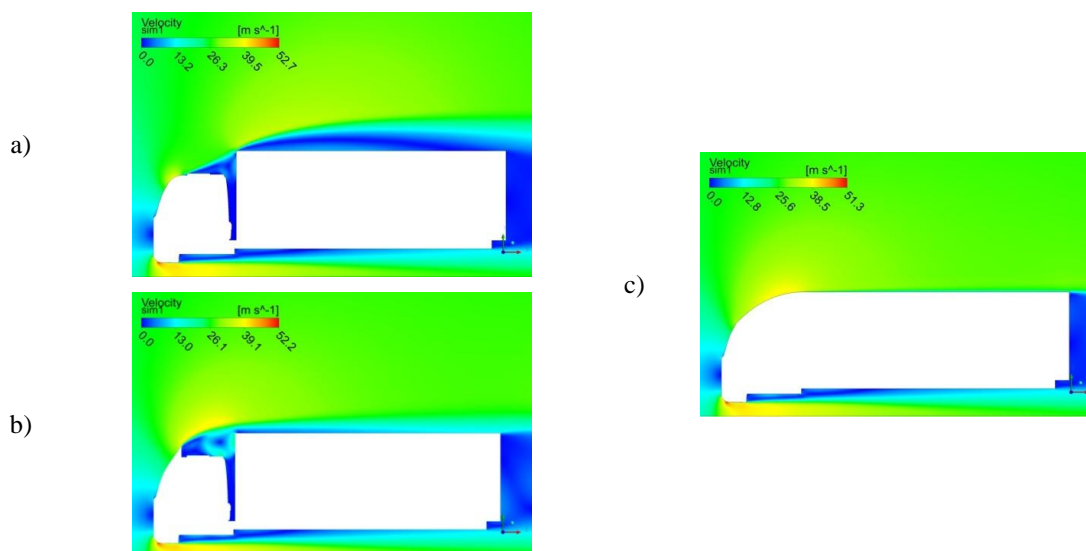
Gillespie (1992) e Ancher (1984) indicam para o cálculo de coeficientes de rolagem para caminhões pesados utilizando pneus radiais rodando em superfícies suaves a Eq. (11) encontrada experimentalmente.

$$f_r = 0.0041 + 0.000041V \quad (11)$$

onde  $V$  é a velocidade do veículo em milhas por hora.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Fig.(10) ilustra a intensidade do campo de velocidades na proximidade das geometrias simuladas a 80 km/h.



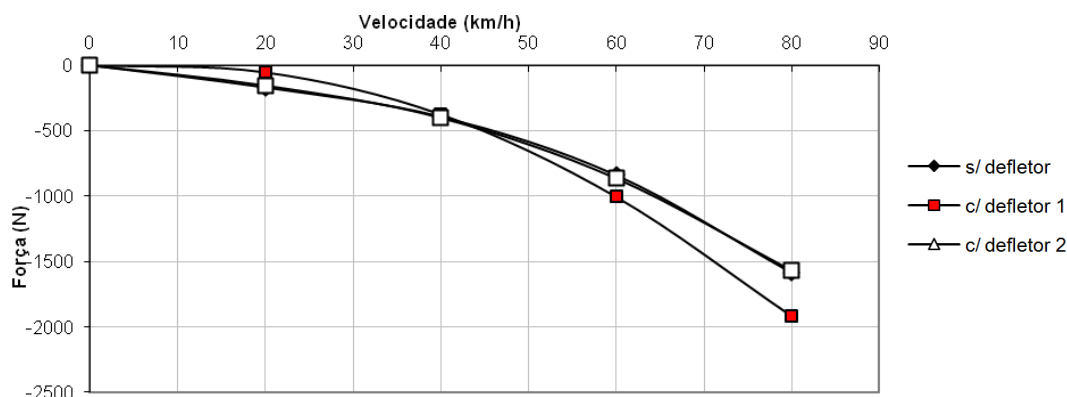
**Figura 10. Intensidade do campo de velocidades para geometrias: a) sem Defletor, b) com Defletor 1 e c) com Defletor 2.**

Através da análise da Fig.(10) nota-se que o uso de defletores reduz a espessura da camada limite na região superior da carroceria. Essa diminuição se dá pela menor perturbação do fluxo de ar com a presença do dispositivo aerodinâmico. Essa redução de que perturbação é ainda mais evidente com o uso do Defletor 2 que com o Defletor 1.

Nota-se ainda que na parte inferior do veículo há também uma formação de larga camada limite. O desenvolvimento de dispositivos aerodinâmicos para essa região também, certamente, produzirá reduções no arrasto atuante sobre o veículo.

Apesar de resultados chegarem a indicar reduções de coeficiente de arrasto superiores a 34%, a região de maior descolamento de camada limite (parte posterior do veículo) é pouco influenciada pela presença de defletores de ar. Isso indica que uma redução significativa de arrasto pode ser atingida instalando, além dos defletores de ar, outros dispositivos aerodinâmicos para as partes traseiras dos veículos.

A Fig.(11) exibe gráfico com os valores encontrados para a força de sustentação para as diferentes velocidades simuladas.

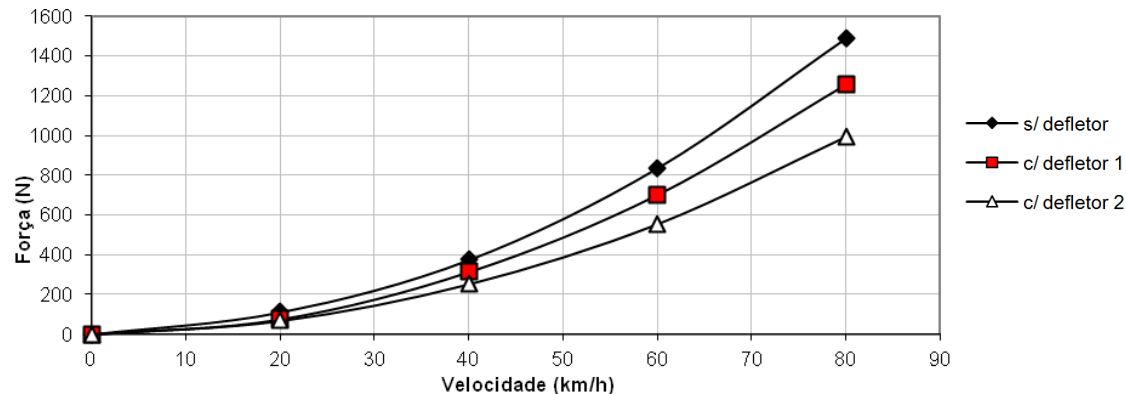


**Figura 11. Força de sustentação para diferentes geometrias a diferentes velocidades.**

As curvas para os casos sem defletor e com Defletor 2 estão sobrepostas. Maiores detalhes destes valores são encontrados em Oliveira (2011).

Em todos os casos simulados a força de sustentação aponta para baixo (direção do solo). Isso é representado pelos sinais de negativo encontrados. Essa é uma configuração desejada para um automóvel, uma vez que essa sustentação negativa aumenta a força normal entre o veículo e o solo, aumentando a aderência dos pneus e, conseqüentemente, a estabilidade do veículo. Diferenças encontradas entre resultados com e sem o uso de defletores, no entanto, não são muito relevantes para o estudo de veículos de carga, uma vez que seu peso é o responsável pela maior parcela da força normal entre este e o solo.

A Fig.(12) exibe os valores encontrados para a força de arrasto para as diferentes velocidades simuladas.

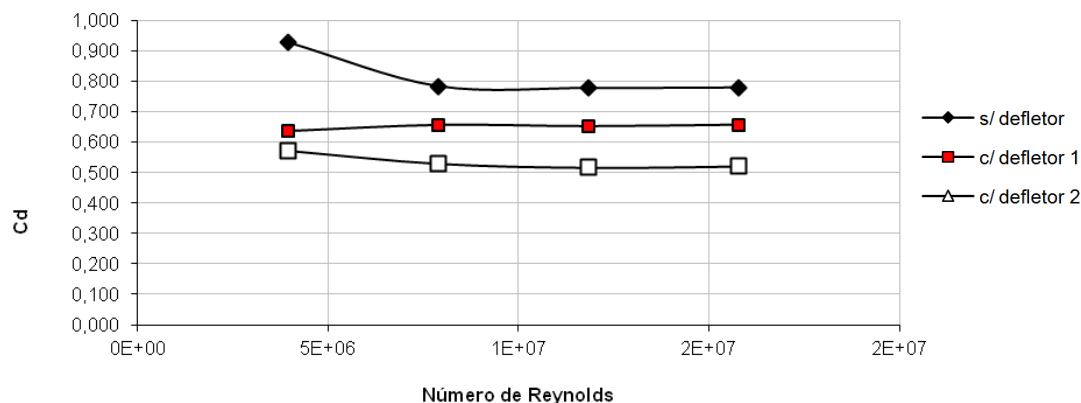


**Figura 12. Força de arrasto para diferentes geometrias a diferentes velocidades**

Nota-se, pela análise da Fig.(12) que os valores das forças de arrasto para a geometria sem nenhum defletor foram sempre maiores que os valores para a geometria com o Defletor 1 que, por sua vez, foram maiores que os valores encontrados com o Defletor 2. Isso evidencia o Defletor 2 como mais eficiente que o Defletor 1.

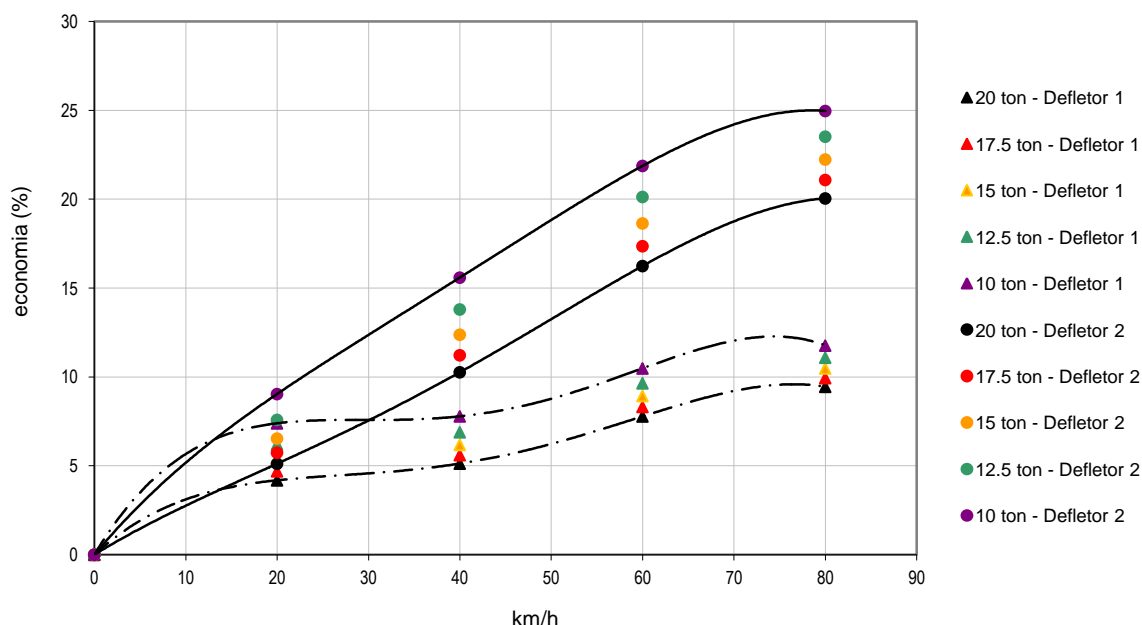
A Fig.(13) ilustra os valores de coeficientes de arrasto encontrados para as geometrias estudadas.





**Figura 13. Coeficientes de arrasto em função do número de Reynolds.**

Por fim, a Fig.(14) exhibe os dados de redução de combustível para todos os casos simulados e analisados. Para o cálculo dessa redução utilizou-se o valor da força de arrasto computado através da Eq. (9), utilizando os valores de coeficientes de arrasto indicados na Fig.(13) e a área frontal de um veículo real do modelo estudado.



**Figura 14. Desempenho dos defletores testados a diferentes velocidades e com diferentes cargas.**

Na Figura 14 a região delimitada entre as duas linhas traço-ponto indicam os pontos de atuação do Defletor 1, enquanto as linhas contínuas indicam os pontos de atuação do Defletor 2. Para ambas as regiões a linha inferior indica o desempenho do defletor com a carga de 20 toneladas e a superior com 10 toneladas. O desempenho a cargas intermediárias são sempre localizados em pontos intermediários a essas duas linhas.

Pôde-se identificar uma alta dependência da eficiência do defletor de ar em relação a sua geometria. Dispositivos diferentes podem variar a economia de combustível resultante em até 25%.

#### 4. CONCLUSÃO

Foi mostrado que defletores aerodinâmicos são formas eficazes de redução de arrasto sobre veículos de carga rodoviários. Num país como o Brasil, que concentra grande parte do seu transporte de carga nas rodovias, reduções percentuais pequenas já podem significar um alto montante de economia e, por isso, o uso desses equipamentos deve ser difundido e ampliado.

Os resultados ratificam a importância do estudo caso a caso com a finalidade de obter o melhor desempenho possível dos dispositivos.

O estudo bidimensional realizado considera o escoamento num plano central do veículo estudado e, apesar da natureza tridimensional da turbulência, apresentou resultados compatíveis com valores apresentados em bibliografia. Para uma validade ainda maior dos resultados obtidos e para a determinação completa da geometria dos defletores (e não só o perfil contido no plano simulado) simulações tridimensionais devem ser realizadas.

## 5. REFERÊNCIAS

- Ansys inc. Ansys cfx – Solver Theory Guide. [S.l.], 2009.
- Cetesb – Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. Relatório Ar 2010, 2010, São Paulo.
- CNT – Confederação Nacional do Transporte. Boletim Estatístico CNT. [S.l.], 2011
- Ancher, P.S., Winkler, C.B., 1984, “Retarders for heavy vehicles: phase III experimentation and analysis; performance, brake savings and vehicle stability”. Michigan.
- Ferreira, T.A., 2011, “Avaliação Numérica e Experimental de um Veículo de Competição de Milhagem”. 207 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.
- Gillespie, T.D., 1992, “Fundamentals of Vehicle Dynamics”. Michigan: SAE International.
- Hucho, Wolf-Heinrich et al., 1998, “Aerodynamics of Road Vehicles”. Warrendale: SAE International.
- Korkischko, I., 2006, “Investigação experimental e simulação numérica do escoamento ao redor de um modelo automobilístico: corpo de Ahmed”. 84 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Mecânica) – Universidade de São Paulo.
- Oliveira, T.D., 2011, “Análise de Desempenho Aerodinâmico de Defletores de ar para Veículos de Carga Rodoviário Via CFD”, Trabalho de Conclusão de Curso (Monografia – Engenharia Mecânica) – Universidade Federal da Bahia.
- Ortega, J.M.; Salari, K., 2004, “An experimental study of drag reduction devices for a trailer underbody and base”. Portland, 15 p.
- Ribas, D.M., 2008, “Projeto Aerodinâmico de um Veículo para Competições de Rali Cross Country”. 132 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Mestrado Profissional em Engenharia Automotiva) – Universidade de São Paulo

## ANALYSIS OF AERODYNAMIC PERFORMANCE OF AIR DEFLECTORS FOR CARGO ROAD VEHICLES VIA CFD.

Turan Dias, turandias@gmail.com<sup>1</sup>

Luzia Aparecida Tofaneli, luzia.tofaneli@fieb.org.br<sup>2</sup>

Yuri Guerrieri, yuri.guerrieri@ufba.br<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Departamento de Engenharia Mecânica – Escola Politécnica – Universidade Federal da Bahia. Rua Prof. Aristides Novis, nº 2, Federação, CEP: 40210-630, Salvador, Bahia, Brasil.

<sup>2</sup>SENAI, Avenida Orlando Gomes, 1845, CEP: 41650-010, Piatã, Salvador, Bahia, Brasil.

<sup>3</sup>Departamento de Engenharia Química – Escola Politécnica – Universidade Federal da Bahia. Rua Prof. Aristides Novis, nº 2, Federação, CEP: 40210-630, Salvador, Bahia, Brasil.

**Abstract:** Brazil, according to the National Transport Confederation (CNT), is possessor of 1,581,105 km of national, state or local highways, a number well above the 44,000 km of waterway (of which only 19,000 are used economically) or the 29,637 km of railroad. While these figures show the extent of road transport, other figures show it as the main mean of freight transportation in the country by having greater than 60% participation in TKUs (product tonnes per km) transported, well ahead of the rail, placed in second, possessor of participation below 21%. An analysis of the effect of fuel used in this transport shows strong participation in the final cost of operations and air emissions that are harmful to health and to the environment. The minimization of this consumption involves reducing the force resistance to movement, in which the drag has significant percentage. In recent decades, the use of computational tools for aerodynamic analysis has become increasingly common since the new computational resources allow simulations that are more faithful to the results found experimentally. The objective of this study is to evaluate the aerodynamic performance of air deflectors for road freight vehicles and compute the reduction in fuel consumption caused by its installation. For this purpose Computational Fluid Dynamics (CFD) methods in two dimensions are applied in order to calculate the reduction of drag forces and a method to calculate the reduction of fuel consumption is developed. In the present study it's possible to identify a high dependence of efficiency of the air deflector in relation to its geometry. Different devices were evaluated at speeds up to 80 km/h and a fuel saving up to 25% was reached.

**Keywords:** CFD, Vehicle Aerodynamics, Fuel Consumption.