



SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL DE DEFLETORES DE AR PARA VEÍCULO DE CARGA COMERCIAL.

Tarcisio Faustino Magalhães¹, Turan Dias Oliveira¹ e Luzia Aparecida Tofaneli¹

¹Faculdade de Tecnologia SENAI Cimatec

E-mails: luzia.tofaneli@fieb.org.br, turan.oliveira@fieb.org.br,
faustinotarcisio@yahoo.com.br

RESUMO

O Brasil é possuidor de 1.584.402 quilômetros de rodovias, um número elevado comparado aos outros meios de transporte sendo o transporte rodoviário como principal meio de transporte de cargas no país. 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 analisar o desempenho aerodinâmico de defletores de ar para veículos de carga rodoviários através de simulações tridimensionais em Fluidodinâmica Computacional (CFD). Os resultados mostram o efeito da implementação de defletores de ar no comportamento do escoamento.

1. INTRODUÇÃO

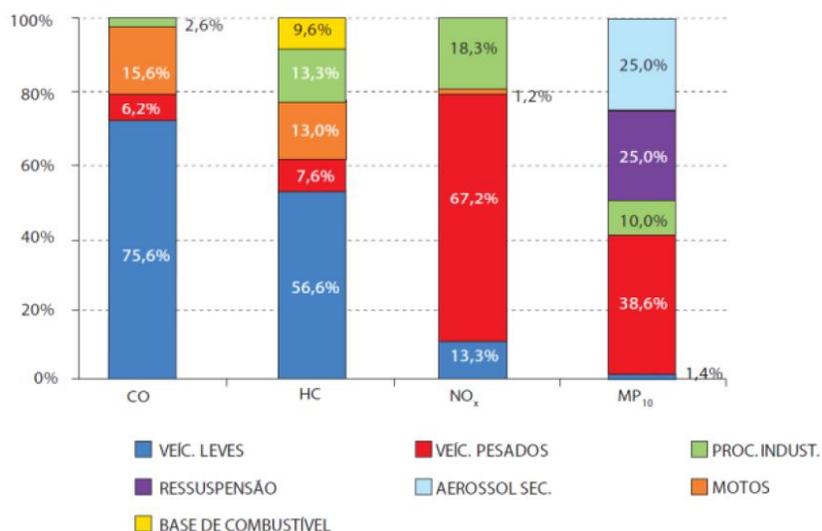
O Brasil é, segundo a Confederação Nacional do Transporte (CNT), possuidor de 1.584.402 quilômetros de rodovias nacionais, estaduais ou municipais, número elevado comparado aos 41.635 quilômetros de hidrovias (sendo feito uso economicamente de apenas 20.956) ou aos 30.129 quilômetros de malha ferroviária. Enquanto esses números evidenciam o alcance do transporte rodoviário, também o evidencia no mesmo país como principal meio de transporte de cargas no país por possuir participação maior que 60% em TKUs (toneladas por quilômetro útil) transportados, bem a frente do transporte ferroviário, segundo colocado, de participação inferior a 21%.

Diante da relevância do transporte rodoviário, melhoramentos setor que reduzam os custos operacionais têm, um grande impacto financeiro. Focando o consumo de combustível como objetivo do melhoramento, logo surge outra grande área de relevância: a minimização de impactos ambientais.

Através de dados presentes mostrados na Fig. 1, nota-se que, em São Paulo (estado brasileiro com a maior frota rodoviária), veículos pesados, classificação na qual se inserem os veículos de transporte de carga são responsáveis por parcelas significativas de diversos poluentes. Ainda com a relevância na emissão de monóxido de carbono (CO) e de hidrocarbonetos (HC), a frota de veículos pesados é o principal emissor de

material particulado (MP) e de NO_x, causador de doenças respiratórias e dermatológicas.

Figura 1. Emissões relativas por tipo de fonte para o estado de São Paulo.



Fonte: CESTEB, 2010.

Assim, o melhoramento aerodinâmico de veículos de carga focado em redução de 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 [2] e a instalação de saias e flaps [3]. Defletores de ar, também utilizados para esse melhoramento, são dispositivos instalados na parte superior da cabine.

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. Analisou-se, através da Fluidodinâmica Computacional (CFD, Computational Fluid Dynamics) a eficiência de dispositivos projetados para adequar essa interação a requisitos aerodinâmicos, no caso os defletores de ar. 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. Os modelos foram simulados numericamente através no software ANSYS CFX. Simulações de veículos sem defletores serão feitas juntamente com os mesmos com defletores para comparação.

2. MODELAGEM COMPUTACIONAL

Para o estudo do escoamento em torno do veículo de carga comercial, foi utilizada uma aproximação isotérmica. As variações de temperaturas ocorridas através de geração de calor do motor e de elementos atritantes do veículo serão, consideradas pequenas ou desprezíveis, por não terem influência significativa a ponto de modificar as propriedades de escoamento do ar. O escoamento será analisado através de um modelo

que retrata a média temporal das zonas de turbulência sendo reduzido a um regime permanente (não variante com o tempo).

Assumindo uma velocidade do som no ar de 340 m/s e sabendo que velocidades de cruzeiro de um veículo de carga 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 escoar. Para obtenção da solução das equações descritoras do escoamento estudado uma abordagem numérica foi adotada. O software 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; μ é a viscosidade do fluido; S_{Mx} , S_{My} e S_{Mz} são os termos fontes de momento nas direções descritas em subscrito.

Na modelagem computacional, o “*scheme*” de interpolação utilizado foi o *high resolution*. Segundo o manual de uso do ANSYS CFX [4] este é o indicado para 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 atualmente disponíveis é necessário utilizar uma modelagem para esse propósito. No presente trabalho o modelo de turbulência utilizado é sst $k-\omega$. A ampla literatura aponta 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 aerodinâmicos de veículos terrestres ([4]; [5]; [6]). 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 (ω).

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

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

(6)

S_k e S_ω são os termos fontes de k e ω respectivamente e podem ter seus equacionamentos encontrados em Ferreira [7], pág. 52.

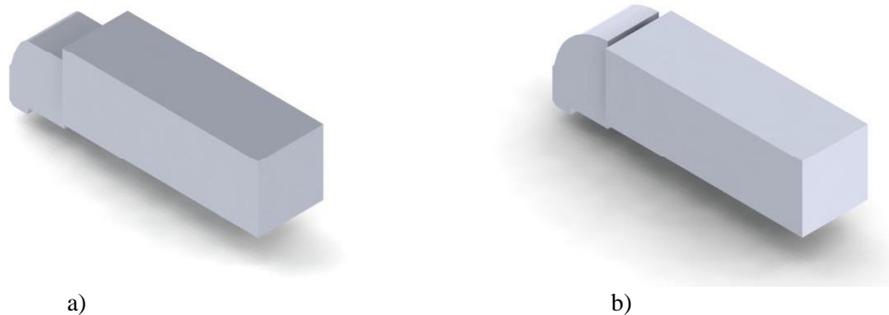
2.1 Geometrias definidas

Para a simulação do veículo de carga, foram definidos caminhões semi-pesados, segundo dados presentes em Confederação Nacional do Transporte [8], publicados no Boletim de Veículos e Implementos de 2013, os caminhões semi-pesados foram os mais produzidos no Brasil, acarretando na escolha para a geometria.

Neste trabalho serão simulados escoamentos sobre um modelo tridimensional em uma geometria baseada em dimensões e desenhos fornecidos em catálogos de um FORD Cargo 2428, este classificado como caminhão semi-pesado, por apresentar dificuldade de encontrar dados precisos da geometria de um veículo comercial.

O modelo foi baseado em um caminhão semi-pesado, utilizando um software para a criação do desenho 3D do veículo, Solid Works 2012 mostrado na Fig.2.

Figura 2. Modelos das geometrias: a) sem defletor; b) com defletor.

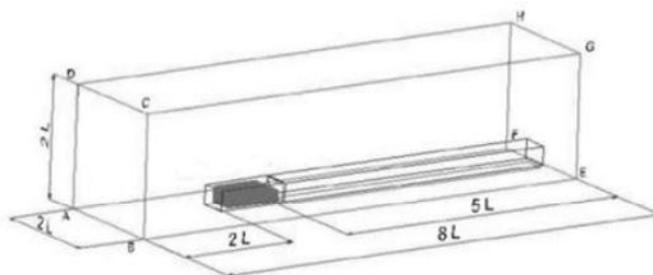


Fonte: elaborada pelo(a) autor(a).

No processo de simulação a importância não está na geometria desenhada por si só, mas na região (domínio) que contemple o veículo a ser simulado.

Ribas [5], em pesquisa bibliográfica, identificaram trabalhos que indicam proporções ideais entre o domínio retangular e o corpo subtraído dele, ilustrado na Fig. 3.

Figura 3. Proporções ideais para escoamento em torno de um corpo veicular.



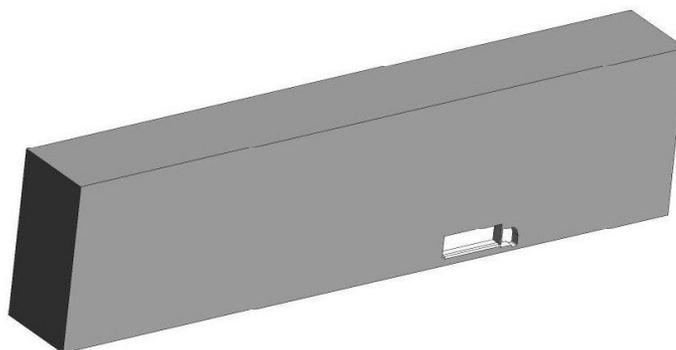
Fonte: RIBAS, 2006.

No presente trabalho, a simulação estará em uma condição real, no caso um escoamento tridimensional. Então o domínio apresentará tais proporções ideais, tendo a dimensão do comprimento do caminhão igual a 10,219m.

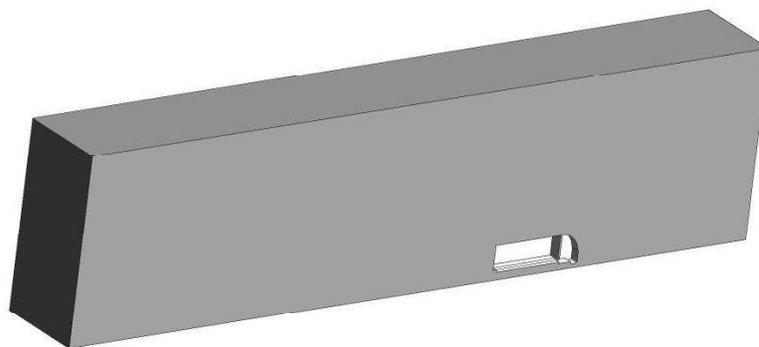
A Figura 4, ilustrada abaixo mostra os dois domínios que serão simulados através do programa ANSYS CFX, na qual serão respectivamente para o caso de um veículo sem defletor e outro com defletor.

Previsto que o domínio retangular completo geraria um número elevado de elementos exigindo esforços computacionais para a geração da malha, foi realizada a simulação apenas com a metade do domínio para minimização destes esforços.

Figura 4. Domínio dos veículos: a) sem defletor; b) com defletor.



a)



b)

Fonte: elaborada pelo(a) autor(a).

2.2 Malha Computacional

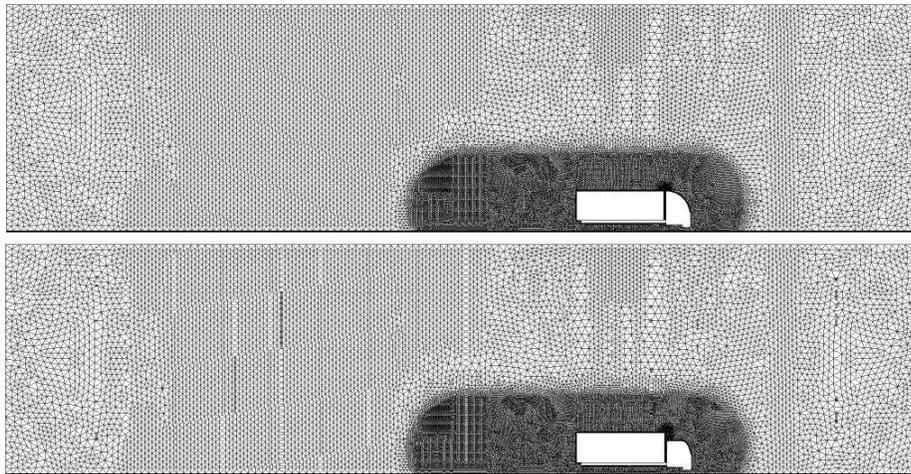
Num estudo através de CFD (Computational Fluid Dynamics) segue uma sequência, logo após a etapa do desenho do ambiente do caminhão, encontra-se a etapa da malha computacional. A confecção da malha na simulação é apenas uma etapa, mas importante para definir quantos elementos e o quão precisa será a simulação.

A etapa da malha seguiu como primeira parte após a importação do domínio retangular desenhado, como dito que a malha teria um número elevado de elementos, foi preferível gerar a malha com a metade do domínio e impor uma condição de contorno de simetria em que a simulação será realizada como se fosse para o domínio completo.

Como a geração de uma ótima malha é importante para melhores simulações, existem regiões importantes que precisam ter uma malha mais refinada para resultados mais precisos e este refino pode ser obtido definindo um *inflation* na geração da malha na região de interesse, na qual esta região será a relação cabine-carroceria.

As malhas geradas para os domínios com veículo sem e com defletor estão ilustrados na Fig. 5. As condições definidas para a geração de malha para ambos foram as mesmas, tendo as malhas com defletor e sem defletor, aproximadamente, 5.600.000 elementos.

Figura 5. Malha gerada dos domínios.

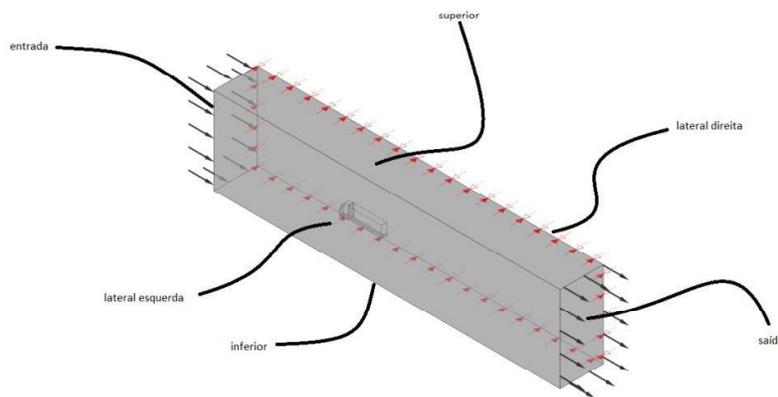


Fonte: elaborada pelo(a) autor(a).

2.3 Condições de Contorno

Gerada a malha computacional necessita a etapa de definir as condições de contorno antes da simulação numérica como mostrado na Fig. 6.

Figura 6. Condições de contorno utilizadas no domínio.



Fonte: elaborada pelo(a) autor(a).

Procurou-se simular o veículo mantendo-o parado e movimentando o ar a sua volta numa velocidade igual à velocidade de tráfego. Na região denominada entrada utilizou-se a condição de contorno que o ar se movimenta a 80 km/h. As paredes que determinam o veículo são estacionárias. Desta forma as velocidades relativas entre o veículo e o ar são coerentes com a realidade.

A parede lateral direita foi definida com uma superfície simétrica. Isso é necessário uma vez que, no presente trabalho, se utiliza uma geometria que representa metade do domínio físico real. A região inferior do domínio (o que seria o solo num percurso real) foi definida como uma parede móvel movendo-se com a mesma velocidade do veículo. A condição estipulada para a superfície inferior resultará na velocidade relativa entre o ar e a superfície inferior nula em regiões à frente do caminhão, simulando a condição real no qual o ar está parado e o veículo em movimento.

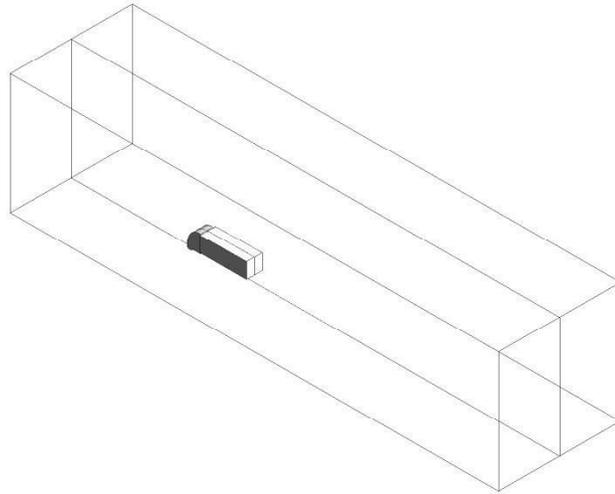
Ambas as regiões superior e lateral esquerda foram modeladas como paredes sem condição de não deslizamento. Desta forma o tamanho do domínio terá menor impacto sobre as forças resultantes no veículo.

A superfície de saída é modelada como tendo a pressão igual à pressão atmosférica, o comprimento do domínio resolve todos os efeitos da inserção do caminhão, validando esta condição. Todas estas condições foram definidas para a simulação tridimensional do veículo, replicando a um caso real no ambiente e sendo modelado como incompressível e isotérmico.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

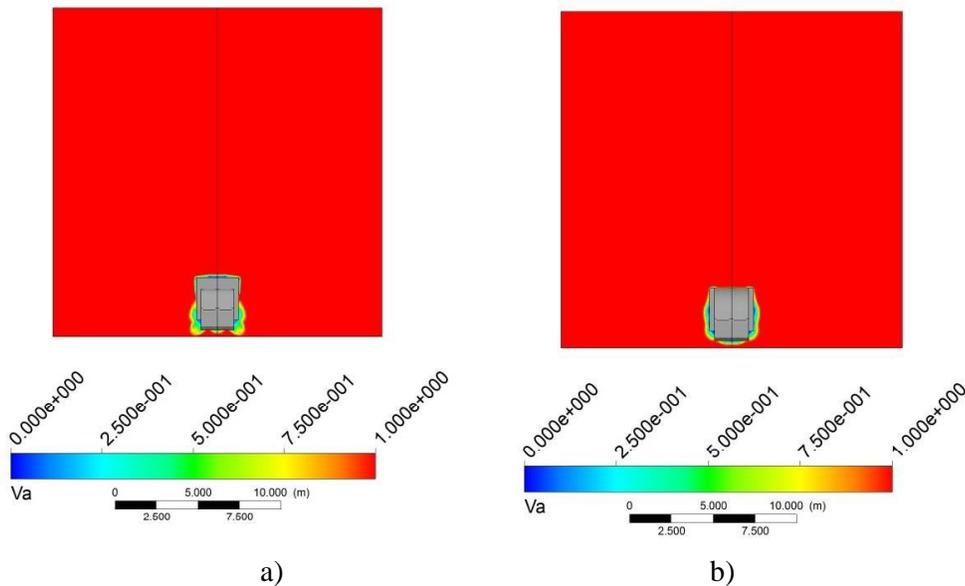
A simulação tridimensional apresenta resultados em que são comparados o veículo sem e com defletor. O domínio completo é visto refletido em relação ao plano de simetria, como mostrado na Fig. 7. A condição de simetria definida impõe soluções no domínio todo.

Figura 7. Domínio completo.



Para comparação das duas simulações e diferenciar o escoamento de uma da outra, foram escolhidas propriedades de velocidade. Modelada a velocidade de entrada como 80 km/h, uma velocidade adimensional, V_a , definida como uma razão de velocidade na qual varia ao longo do escoamento pela velocidade de entrada.

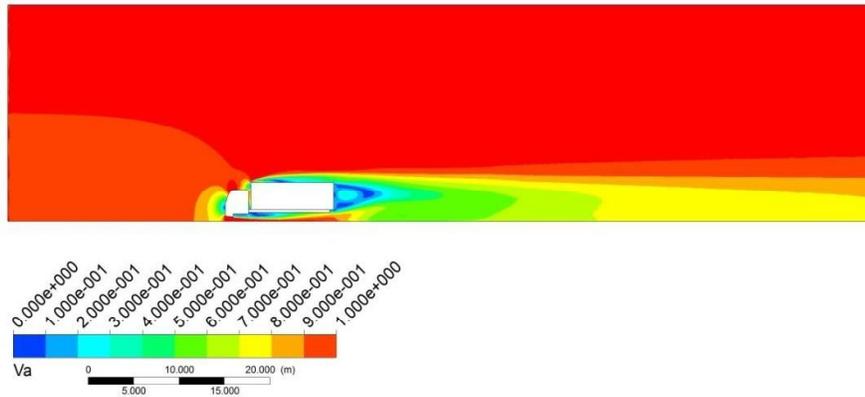
Figura 8. Campo de V_a no plano frontal: a) sem defletor; b) com defletor



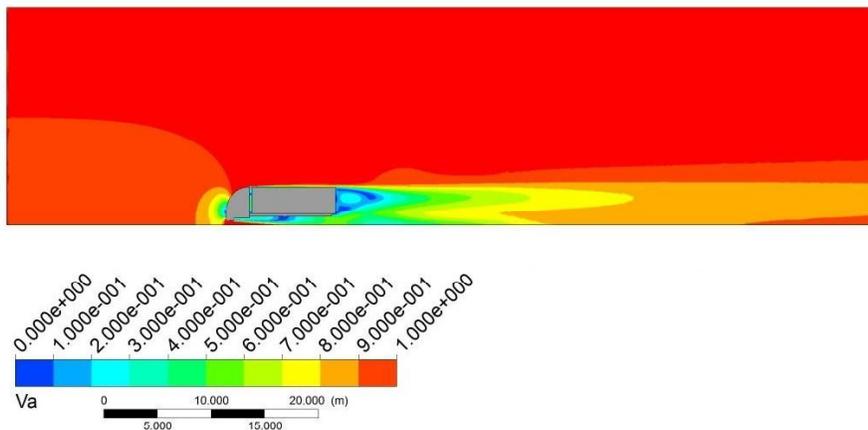
Traçando um plano frontal do caminhão mostrado na Fig. 8, tem-se para o veículo a esquerda o caso de sem defletor e na direita com defletor, podendo-se visualizar o comportamento do escoamento.

A Fig. 9, ilustrada abaixo, mostra os resultados para o plano lateral dos veículos.

Figura 9. Intensidade dos campos de V_a : a) sem defletor; b) com defletor.



a)



b)

Nota-se na relação cabine-carroceria a diferença de um veículo com defletor. Enquanto o veículo sem defletor tem uma redução de velocidade nessa região da cabine-carroceria, o veículo com defletor tem melhoria aerodinâmica que não possui essa redução de velocidade. É perceptível que, no escoamento ao redor do veículo sem defletor a camada limite é sensivelmente mais espessa que no caso do escoamento ao redor do veículo que possui o dispositivo aerodinâmico.

A Tabela 1 mostrada abaixo revela os valores da força de arrasto e coeficiente de arrasto.

Tabela 1. Resultados das forças e coeficientes de arrasto para os veículos simulados.

<i>Veículo</i>	<i>Sem Defletor</i>	<i>Com Defletor</i>
Fa (N)	799,9	511,27
Cd	0,338	0,216

Fonte: elaborada pelo(a) autor(a).

Como mostrado na Tab. 1 o veículo com defletor apresenta um coeficiente de arrasto menor em comparação a um veículo sem um defletor, comprovando a utilização do defletor como melhoria da aerodinâmica do veículo de carga.

4. CONCLUSÃO

No Brasil, o grande número de transporte de carga nas rodovias leva a necessidade de estudos de melhoria dos defletores, cuja aplicação aumenta o desempenho dos veículos, o que influencia no consumo de combustível e consequentemente na economia para a empresa.

Os resultados obtidos através da simulação tridimensional ratificam o uso dos defletores como dispositivo aerodinâmico, de melhoria para desempenho dos veículos comerciais de carga. Na simulação executada tridimensionalmente é possível ser visto como mostrado nos resultados, o comportamento da turbulência em vários planos.

A redução do coeficiente de arrasto com o uso do defletor melhora o desempenho do caminhão em que realiza seu transporte com mais velocidade. Através dos resultados observou-se a redução de 36% no coeficiente de arrasto. Num cenário de extrema relevância do transporte rodoviário, como é o caso do Brasil, essa redução pode gerar diversos benefícios financeiros e ambientais, ao impactar diretamente no consumo de combustível.

REFERÊNCIAS

¹Cetesb – Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. Relatório Ar 2010, 2010, São Paulo.

²Hucho, Wolf-Heinrich et al. Aerodynamics of Road Vehicles. Warrendale: SAE International, 1998.

³Ortega, J.M.; Salari, K., 2004, “An experimental study of drag reduction devices for a trailer underbody and base”. Portland, 15 p.

⁴Ansys inc. Ansys cfx – Solver Theory Guide. [S.1.], 2009.

⁵Korkischko, Ivan. Investigação experimental e simulação numérica do escoamento ao redor de um modelo automobilístico: corpo de Ahmed. 2006.

⁶Ribas, 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.

⁷Ferreira, Tales Adriano. Avaliação Numérica e Experimental de um Veículo de Competição de Milhagem. 2011. 207 pgs. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2011.

⁸CNT – Confederação Nacional do Transporte. Boletim Estatístico CNT. [S.1.], 2013.