

ENGENHARIA MECÂNICA PLENA

ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DA IMPLEMENTAÇÃO DE CARENAGENS NA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DE VEÍCULOS DE GRANDE PORTE

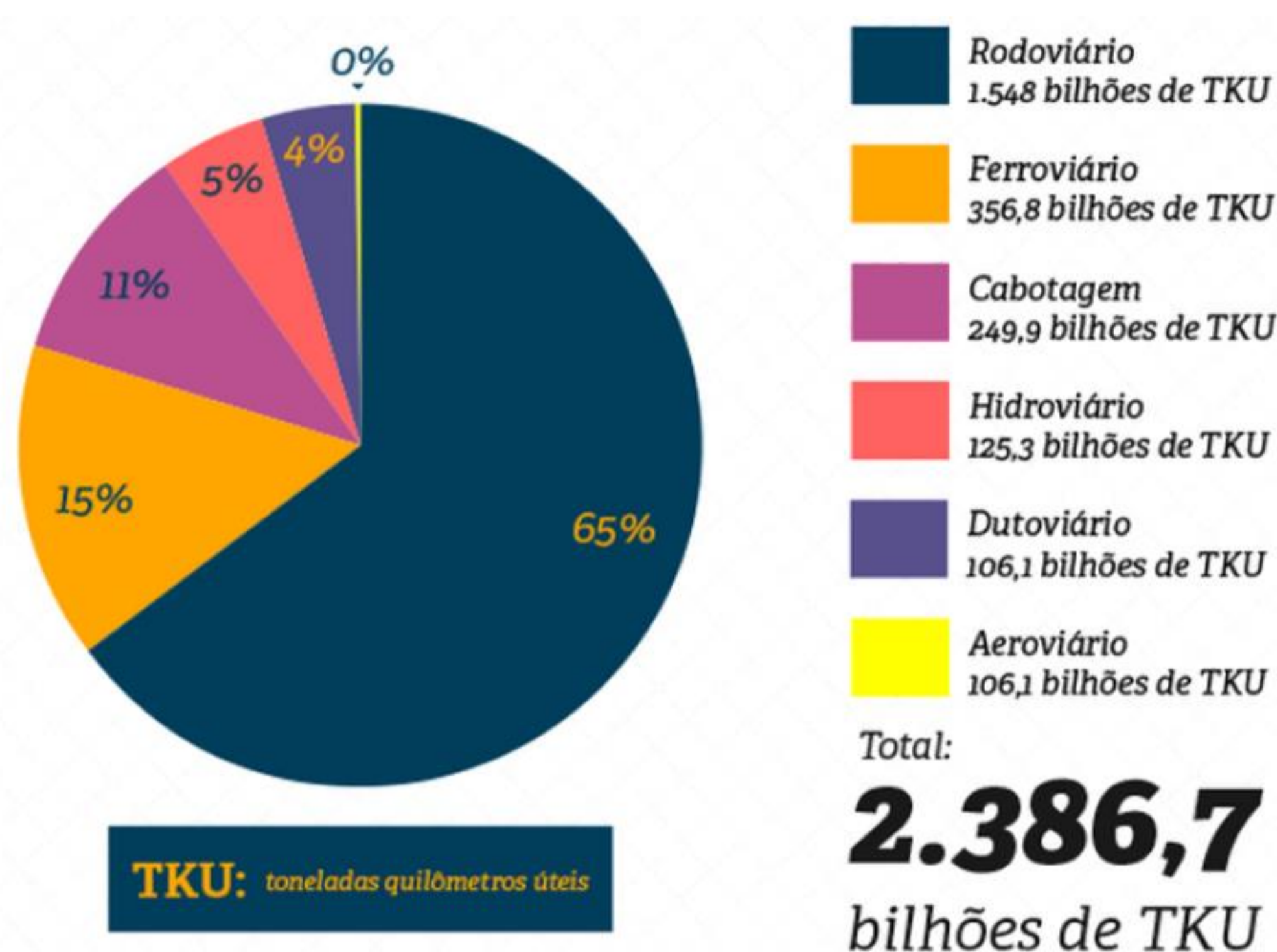
Alunos: Abner Pinheiro da Silva, Giovanna Ziza Jeronymo, Igor Jong Bardini Pak, João Pedro Spiezzi Monti, Larissa Reis Kemita

Orientador: Cyro Albuquerque Neto (cyroan@fei.edu.br)



INTRODUÇÃO

O modal rodoviário brasileiro é de suma importância para a economia do país e é responsável por grande parte do transporte de cargas. De acordo com a Confederação Nacional do Transporte (CNT), aproximadamente 65% do transporte de cargas foi realizado através do modal rodoviário em 2020. Os caminhões são amplamente utilizados neste meio e é importante em termos de estratégia logística e de negócio que o consumo de combustível seja otimizado, a fim de se reduzir o custo associado ao produto demandado pelo consumidor final. Portanto, soluções economicamente viáveis neste sentido são altamente valorizadas no mercado.



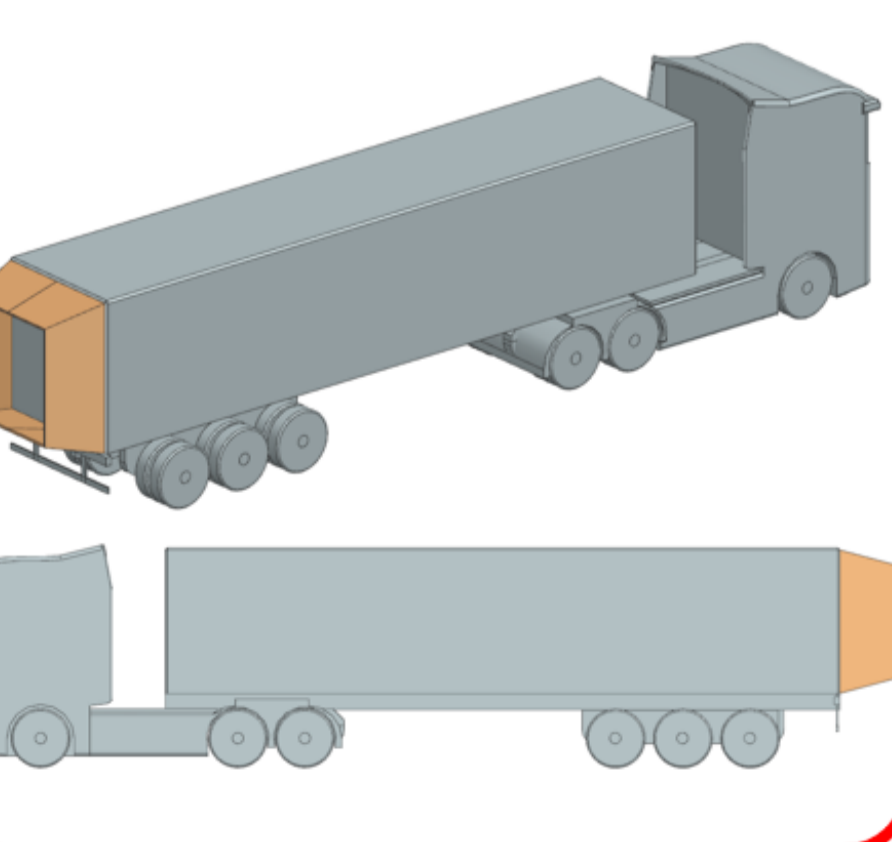
OBJETIVOS

O foco central do trabalho consiste em avaliar a influência da implementação de defletores em veículos de grande porte através de uma métrica que seja função da **redução da força de arrasto** (ou coeficiente de arrasto). Neste sentido, a avaliação é centrada na verificação do grau de **redução do consumo de combustível** (ou economia de combustível) para, então, **reduzir a emissão de gases poluentes** como o CO_2 , e tornar o modal rodoviário **mais sustentável**.

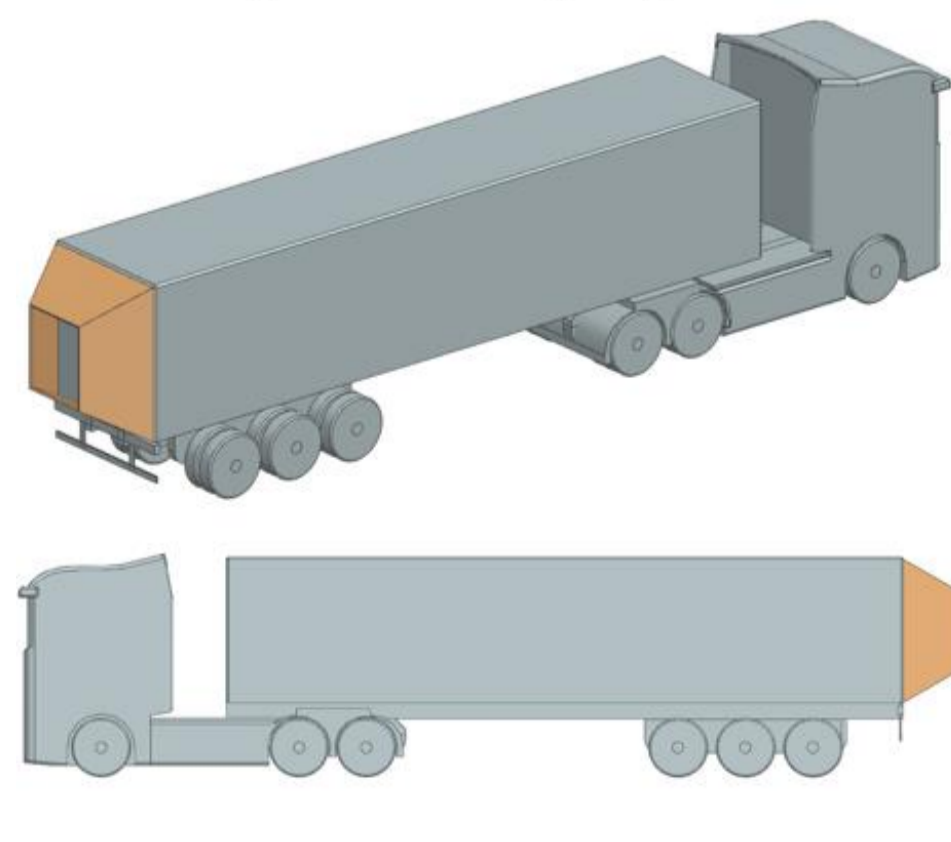
METODOLOGIA

Em termos de ferramentas para a avaliação proposta, foram utilizados recursos de ordem computacional e experimental. Neste sentido, as análises foram estabelecidas através de resultados extraídos do software *Ansys Fluent Meshing* e ensaios em túnel de vento. As simulações contemplam dados referentes a três disposições angulares dos defletores: 15°, 30° e 45°.

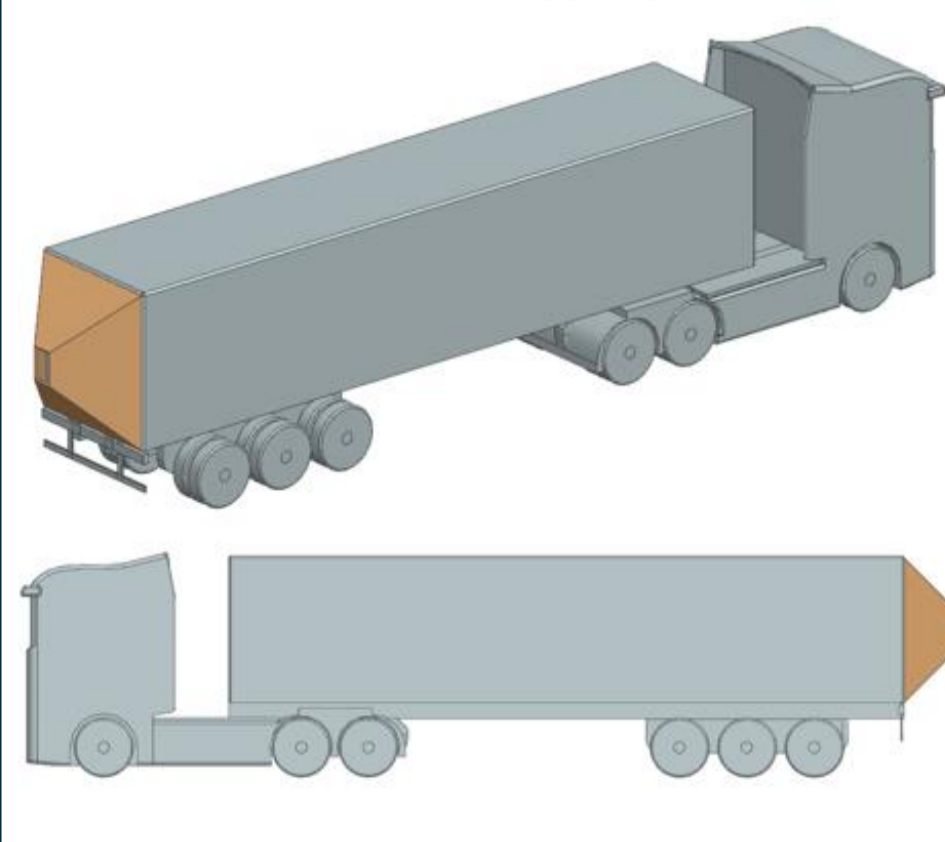
Carenagem com angulação de 15°



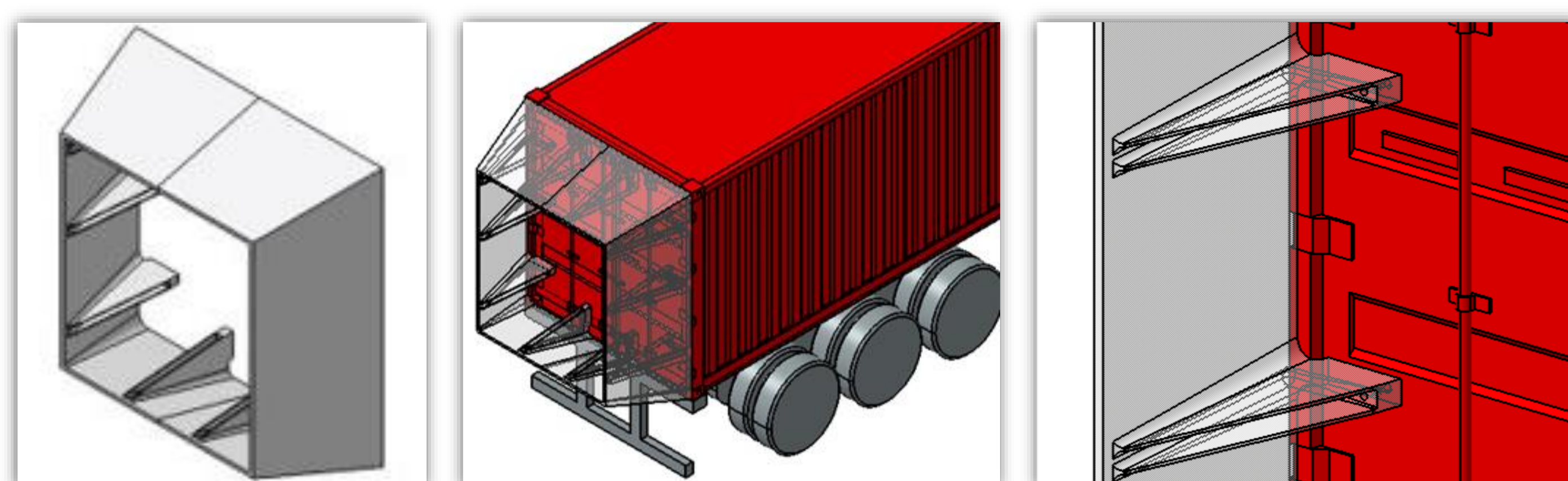
Carenagem com angulação de 30°



Carenagem com angulação de 45°



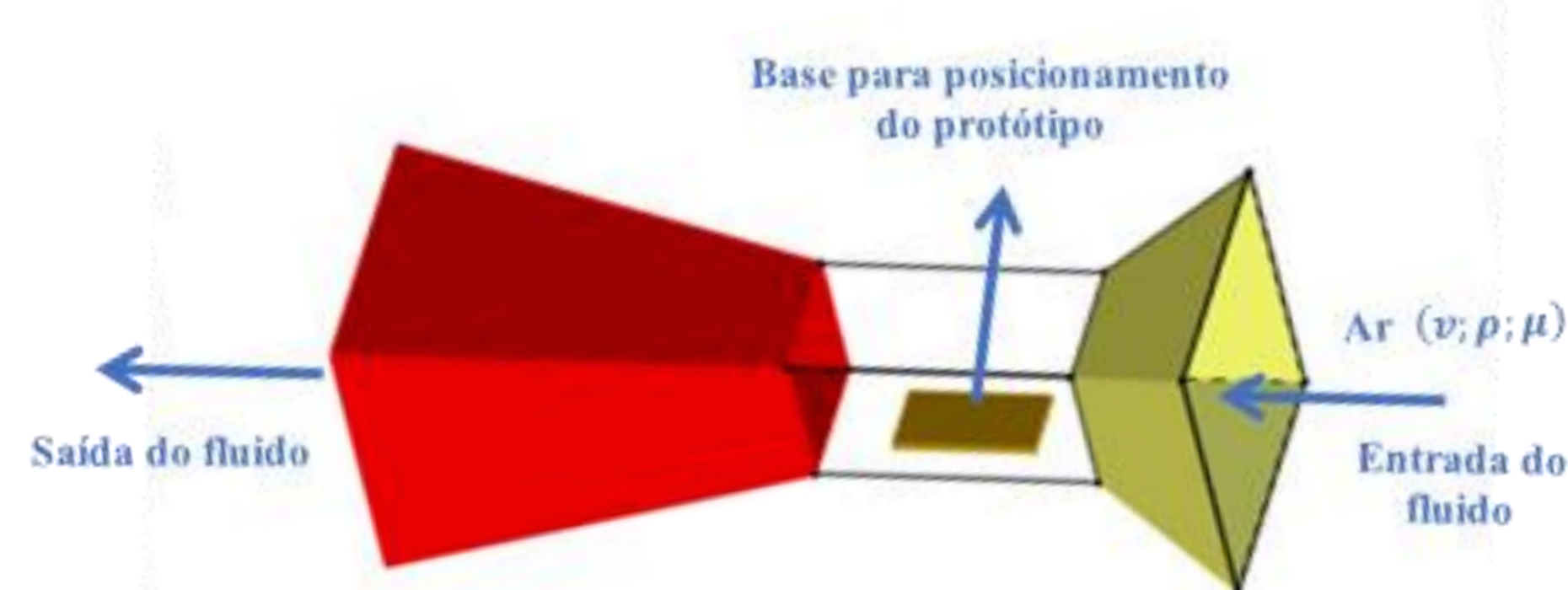
Analisando a forma pela qual seria viável acoplar o defletor ao caminhão, foi concluído que a utilização de elementos de fixação pode ser uma boa opção, visto que são responsáveis pela conexão do dispositivo com a face traseira do container, por conseguinte, constata-se a possibilidade de utilizar projetos similares aos elementos conhecidos como “mãos francesas” cuja sua construção permite esta fixação juntamente ao fator de ângulo de projeto da carenagem.



Para realizar os testes em túnel de vento, foi adquirida uma miniatura do Scania R730 em escala 1:50 para ser utilizada como protótipo. Além de adquirir a miniatura mencionada; através da impressão 3D, um protótipo do defletor de 15° foi confeccionado para realização dos testes. O material definido para produzi-lo foi o ABS, devido suas propriedades físicas e mecânicas.



Os ensaios em túnel de vento foram realizados no laboratório de mecânica dos fluidos da FEI. Para que esses testes fossem feitos, foi preciso colocar a miniatura do R730 sob uma base de MDF de 12 mm, assim como representa a figura simplificada abaixo.



A imagem abaixo é uma fotografia do protótipo do caminhão, sem carenagem, sob a base de MDF mencionada e dentro do túnel de vento em que os testes foram executados.





RESULTADOS E DISCUSSÃO

Através dos dados das simulações, foi observado que a disposição angular que mais otimizou o perfil aerodinâmico do caminhão é tal que $\alpha = 15^\circ$, representando uma economia de combustível de 2,75%. A tabela abaixo exhibe os resultados obtidos em termos de economia de combustível (FS) em função da disposição angular.

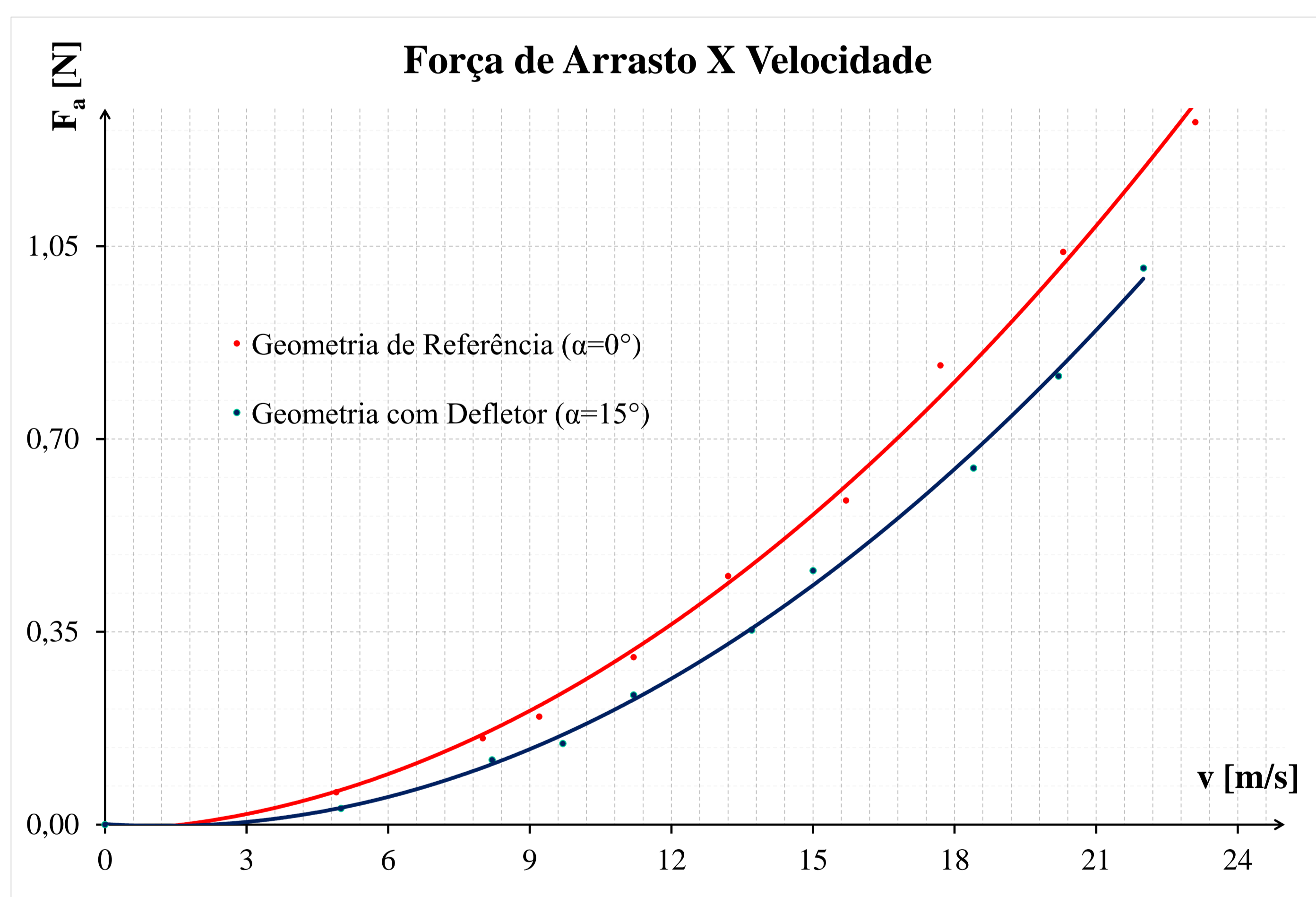
α [°]	F_a [N]	F_a [N] Total	v [m/s]	ρ_{ar} [kg/m ³]	A_y [m ²]	C_d	ΔC_d	FS [%]
0	659.51	1319.02	20	1.225	4.606	0.5844	*	*
15	601.26	1202.52				0.5328	0.0516	2.75%
30	619.86	1239.72				0.5493	0.0351	1.87%
45	633.33	1266.66				0.5612	0.0232	1.24%

Legenda	
α	Ângulo de disposição dos defletores/carenagens.
F_a	Força de arrasto no sentido do escoamento.
v	Velocidade do escoamento/fluido.
ρ_{ar}	Densidade do fluido, neste caso dado pelo ar.
A_y	Metade da área de projeção do veículo na direção do escoamento.
C_d	Coefficiente de arrasto.
FS	Economia de combustível gerada pela implementação dos defletores.

É possível resumir os resultados de redução do consumo de combustível em termos de α através da relação abaixo.

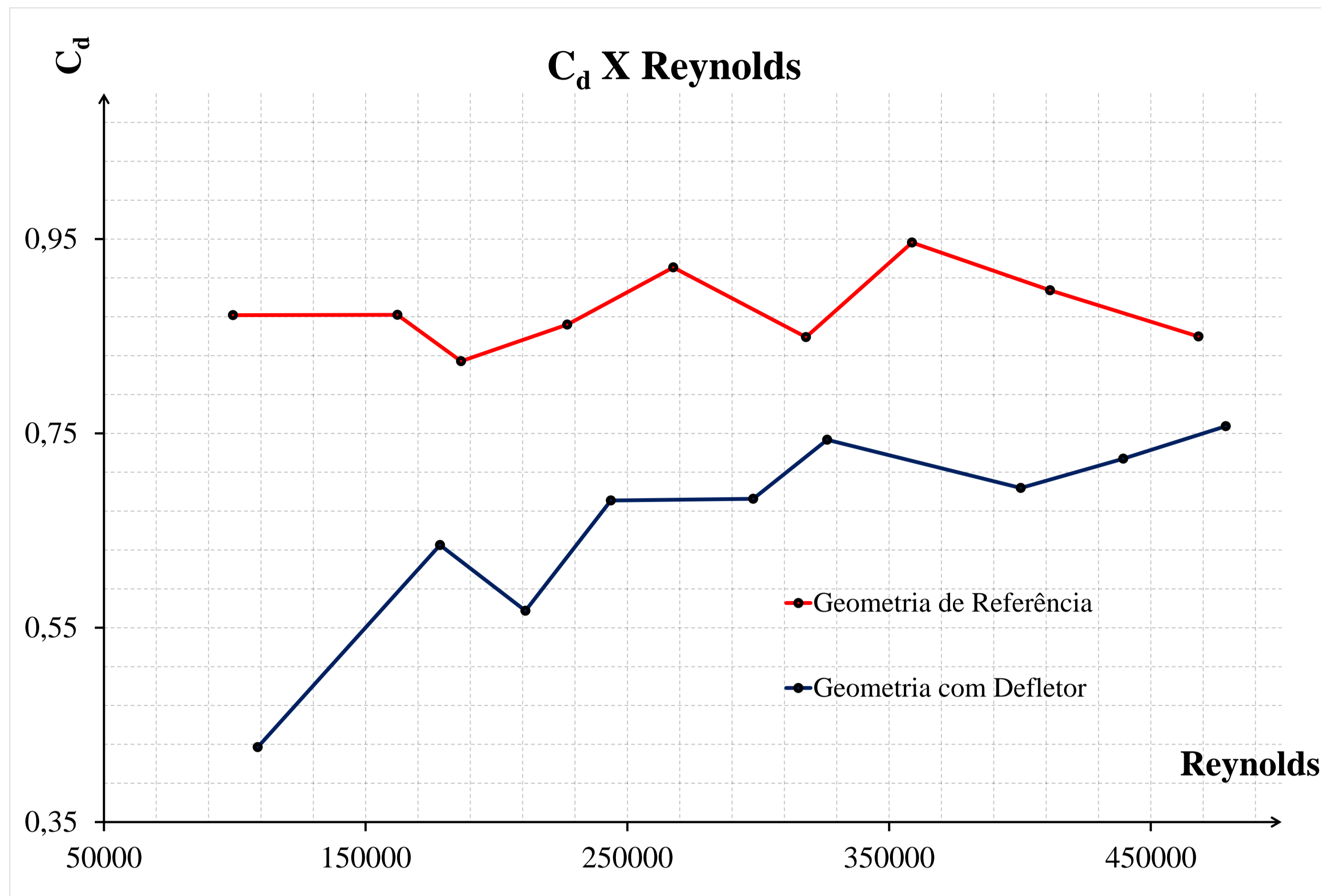
$$FS(15^\circ) > FS(30^\circ) > FS(45^\circ)$$

Tendo em vista que o defletor que apresentou o melhor resultado é tal que $\alpha = 15^\circ$, foi feita a implementação no protótipo para esta disposição angular através de impressão 3D. O gráfico abaixo relaciona a força de arrasto e as diferentes velocidades ensaiadas para $\alpha = 15^\circ$ e $\alpha = 0^\circ$ (ausência de defletores).



Analisando o gráfico de força de arrasto em função da velocidade mostrado acima e comparando-o com o gráfico coeficiente de arrasto (C_d) em função do número de Reynolds mostrado a seguir, é possível observar que houve uma translação vertical destes gráficos experimentais. Isso evidencia que a implementação da solução otimizou, inclusive experimentalmente, o perfil aerodinâmico de veículo.

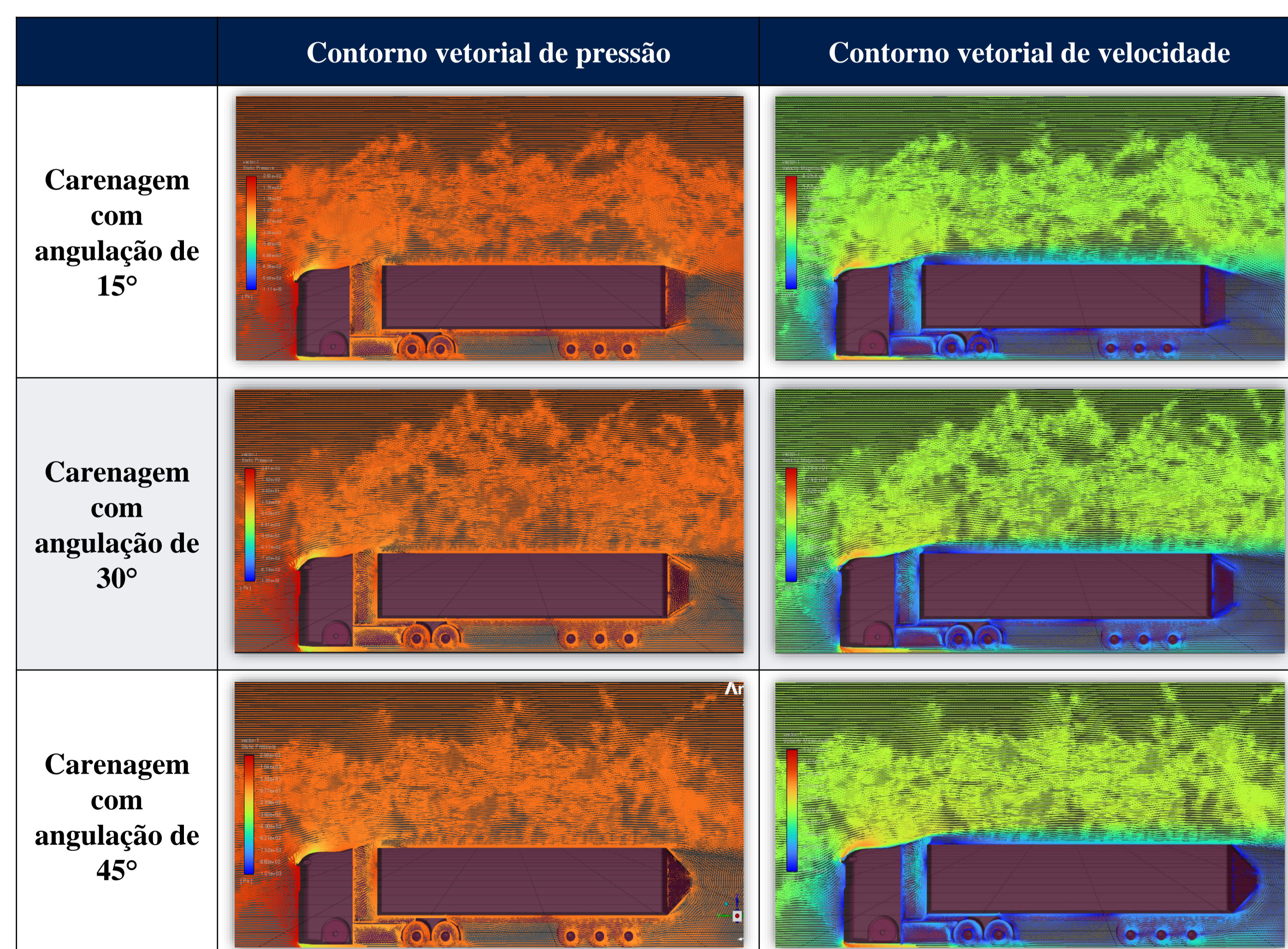
Como mencionado, a seguir é possível observar o gráfico do coeficiente de arrasto (C_d) em função do número de Reynolds.



A partir da tabela abaixo é possível observar a variação percentual da força de arrasto média em função da angulação das carenagens. Em termos de redução da força de arrasto exercida pelo fluido sobre o caminhão, foi observado que a disposição angular do defletor que apresentou a melhor eficiência é tal que $\alpha = 15^\circ$, seguido, respectivamente, pelas disposições angulares $\alpha = 30^\circ$ e $\alpha = 45^\circ$. A redução observada para $\alpha = 15^\circ$ é de 8,83%, ao passo que para $\alpha = 30^\circ$ e $\alpha = 45^\circ$ foram observadas as reduções de, respectivamente, 6,59% e 4,22%.

α [°]	F_a [N]	F_a [N] Total	C_d	ΔF_a [N]	ΔF_a [%]	A_y [m ²]	ρ_{ar} [kg/m ³]	v [m/s]
0	659,51	1319,02	0,5844	*	*	9,212	1,225	20
15	601,26	1202,52	0,5328	116,50	8,83%			
30	619,86	1239,72	0,5493	79,30	6,59%			
45	633,33	1266,66	0,5612	52,36	4,22%			

Para efeitos de visualização e comparação, é possível ver os mapas de contorno obtidos após a simulação computacional da geometria do caminhão com as carenagens de 15° , 30° e 45° , através das imagens abaixo.





CONCLUSÃO

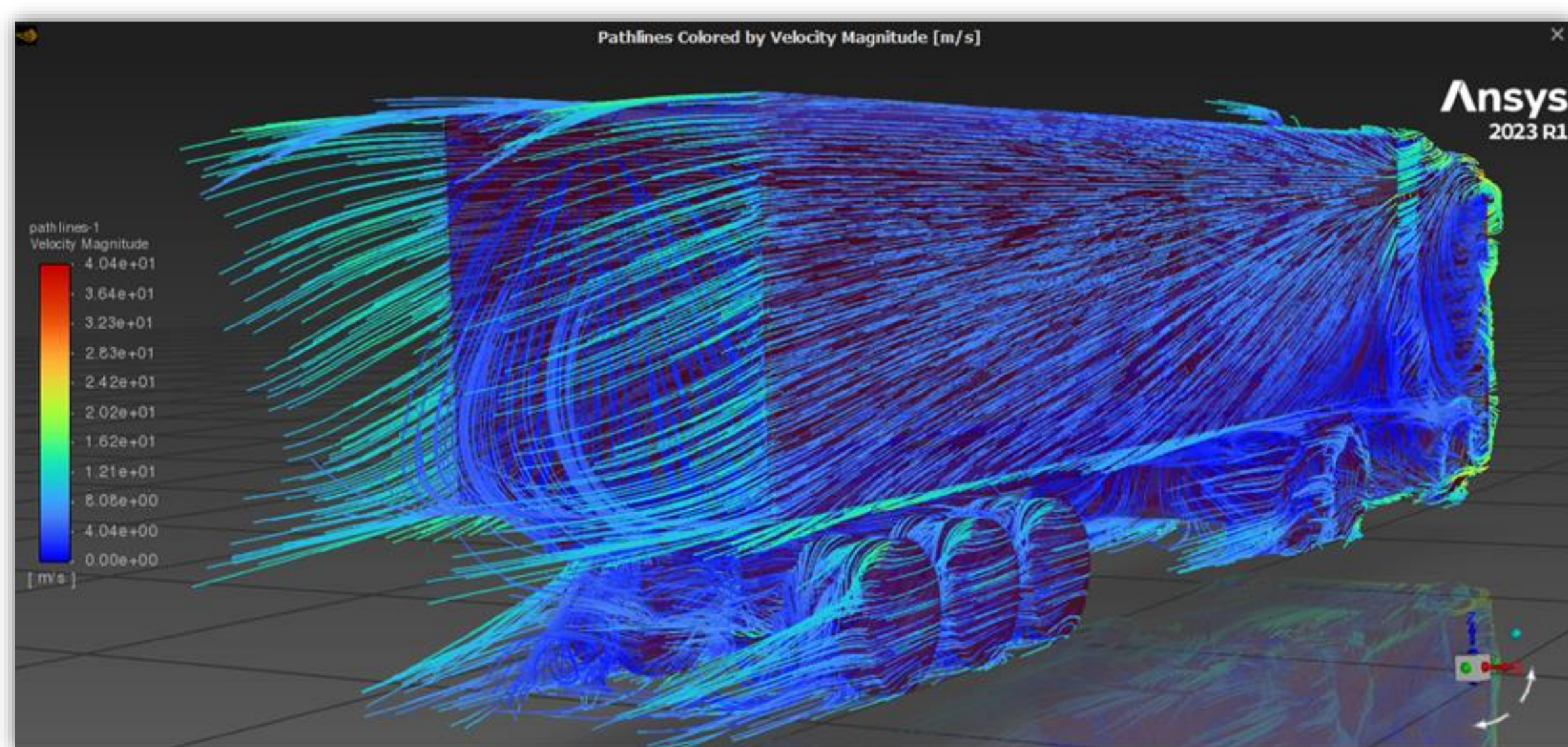
Em termos de redução da força de arrasto exercida pelo fluido sobre o caminhão, foi observado que a disposição angular do defletor que apresentou a melhor eficiência é tal que $\alpha = 15^\circ$, seguido, respectivamente, pelas disposições angulares $\alpha = 30^\circ$ e $\alpha = 45^\circ$. Através destes resultados, é possível recomendar a utilização do defletor com $\alpha = 15^\circ$ no intuito de maximizar a redução do consumo de combustível, uma vez que esta redução é proporcional à variação da força de arrasto (ou coeficiente de arrasto).

Analisando a redução do consumo de combustível do ponto de vista econômico, e baseando-se no estudo de SCHOON (2007), foi possível calcular a economia total ao se percorrer uma distância de 10.481,9 km por mês, equivalente a 145.00 km por ano. Os cálculos realizados indicam uma economia mensal de 92,799 L e uma economia anual de 1.278,35 L.

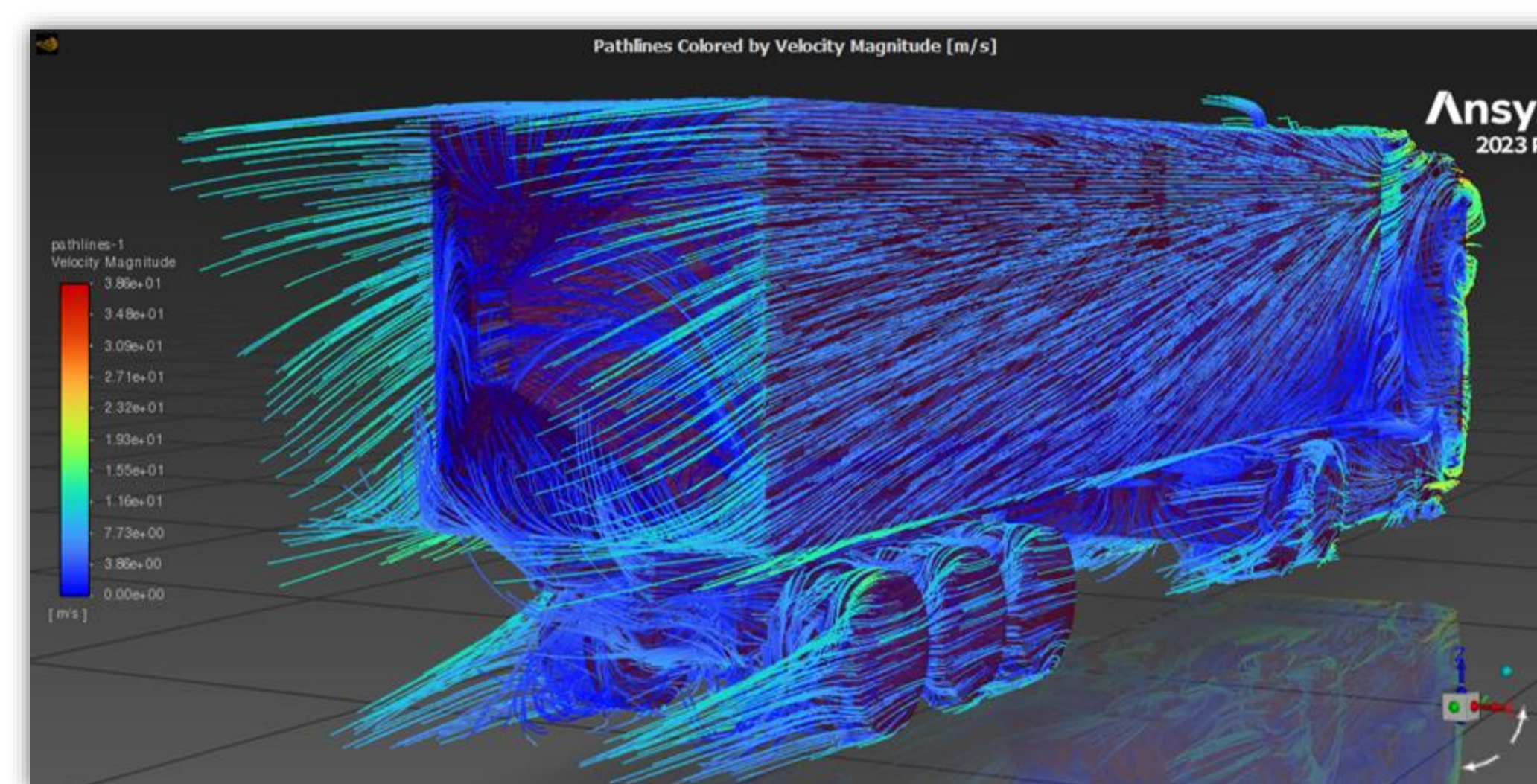
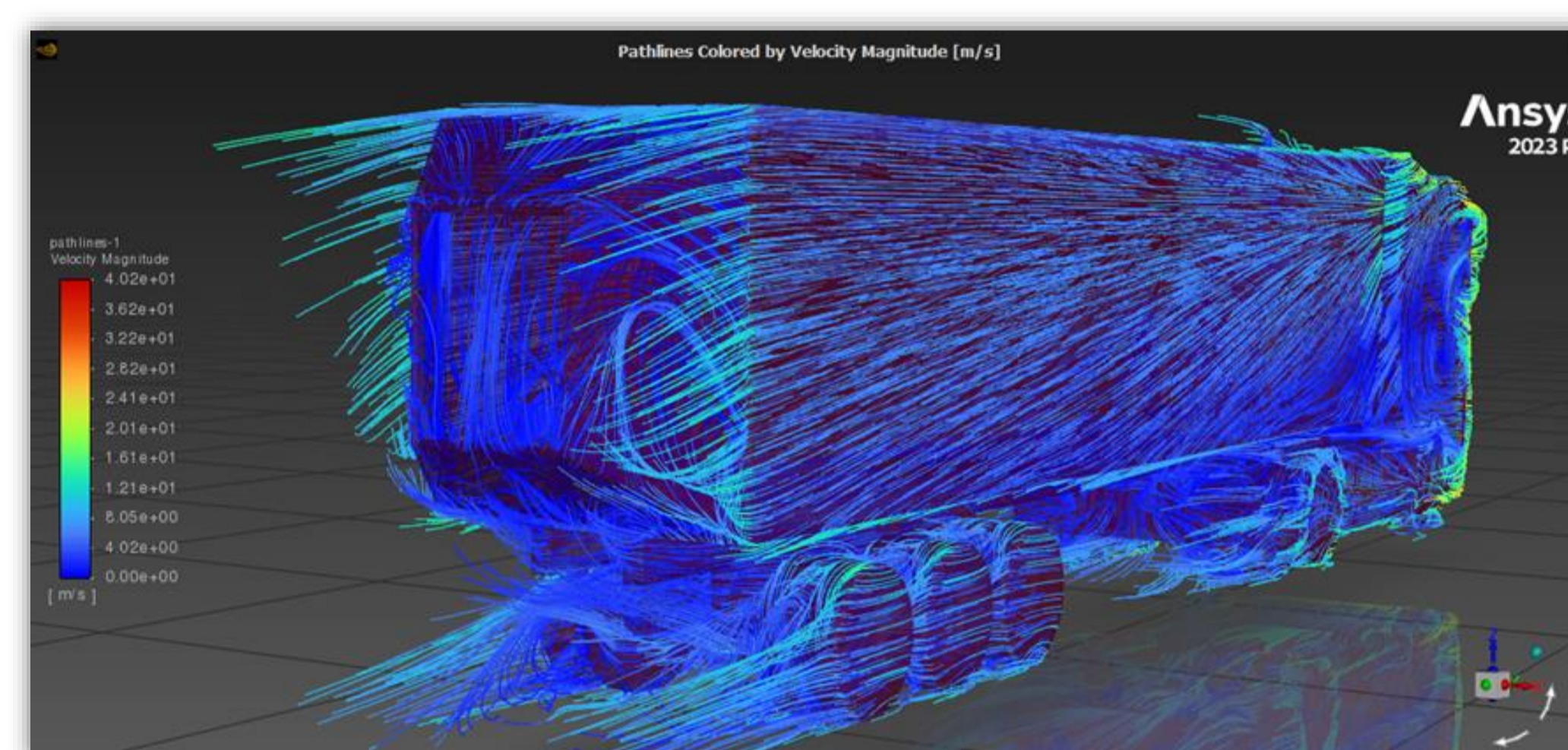
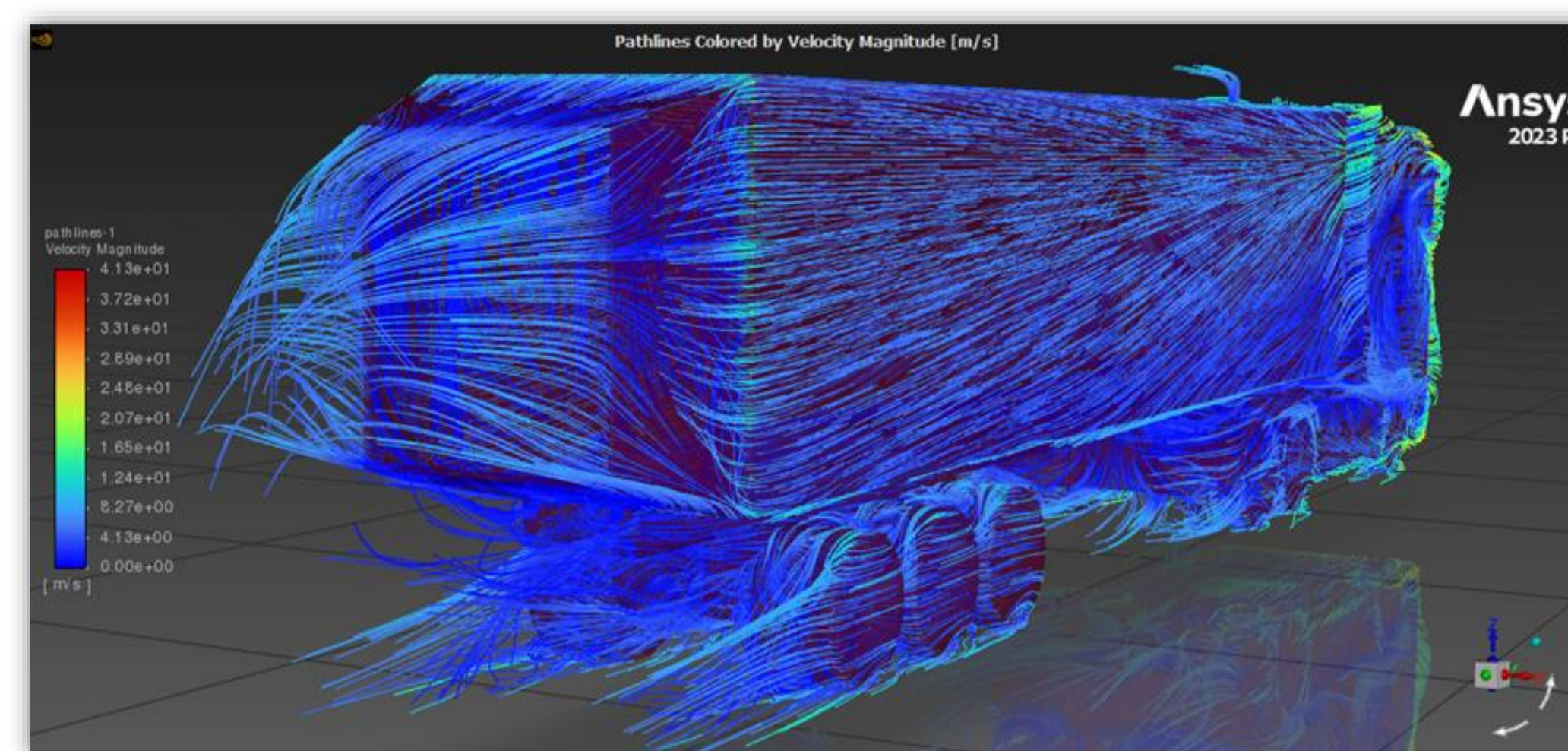
Considerando o valor do diesel em 6,13 R\$/L, além de todos os dados já apresentados, é possível concluir que a implementação do defletor é economicamente viável, com uma economia mensal estimada em R\$5.517,00 para uma rodagem de 145.000 km/ano e uma economia anual de R\$66.204,00, assim como mostra a tabela a seguir.

Economia Defletor 15°		
Consumo	Gasto mensal	Gasto Anual
2,5 km/L	R\$ 27.585,00	R\$ 331.020,00
2,7 km/L	R\$ 22.068,00	R\$ 264.816,00
Economia Gerada	R\$ 5.517,00	R\$ 66.204,00

Além disso, para efeitos visuais, é possível notar a nítida diferença das linhas de contorno e formações de vórtices da geometria simulada sem defletores e daquelas simuladas com carenagens de 15° , 30° e 45° . A imagem a seguir indica os pathlines de velocidade no modelo.



As figuras mostradas a seguir representam os pathlines de velocidade no modelo com carenagens de 15° , 30° e 45° , respectivamente. Observando essas imagens, fica evidente que o comportamento do fluido, enquanto utilizando o defletor de 15° , apresenta menos vórtices, gerando uma redução no coeficiente de arrasto



POSSÍVEIS PROJETOS FUTUROS

Apesar dos resultados apresentados serem positivos, a sugestão de melhorias em determinados pontos relativos ao desenvolvimento do trabalho é importante na medida em que possibilita o alcance de resultados mais precisos e coerentes com a realidade.

- **Processo de Geração alternativo da malha:** É possível adotar uma estratégia para se otimizar o refinamento na região com maior geração de vórtices em função do escoamento de ar sobre a geometria. Esta estratégia consiste numa adaptação no tratamento da geometria, no qual seria estabelecido um processo diferente a fim de se segmentar todo o volume de controle em regiões ou blocos.
- **Levantamento de curva Economia de combustível X disposição angular:** Foram avaliadas as economias de combustível geradas em função de três disposições angulares fixas, dadas por $\alpha = 15^\circ$, $\alpha = 30^\circ$ e $\alpha = 45^\circ$. Uma possibilidade de análise neste consistiria em simular o veículo com a implementação dos defletores em diversas disposições angulares α_i , tal que $0^\circ < \alpha_i \leq 45^\circ$, no intuito de, por exemplo, se determinar o ângulo que mais otimiza a redução do consumo de combustível.
- **Projeto de otimização das carenagens:** Otimização do peso das carenagens, através da diminuição de seu comprimento. Aprofundamento nos detalhes da fixação, que podem ser modificados em semelhança aos suportes já existentes dos defletores centrais e laterais da cabine comerciável. Aplicação de sistemas de abertura e fechamento das carenagens de acordo com o movimento do veículo, como permanecer com os defletores abertos enquanto o veículo está em movimento e, quando estiver estacionado, o recolhimento desses defletores pode ser ativado, por exemplo.