



XXIV CREAM
Congresso Nacional de Estudantes
de Engenharia Mecânica



Universidade Federal
do Rio Grande



INSTITUTO FEDERAL
RIO GRANDE DO SUL
Campus Rio Grande

XXIV Congresso Nacional de Estudantes de Engenharia Mecânica – 11 a 15/09/2017 – Rio Grande - RS

ANÁLISE COMPARATIVA DOS PARÂMETROS DE SUSTENTAÇÃO E ARRASTO DE UM VEÍCULO FÓRMULA SAE COM E SEM ASAS LATERAIS

Nome do(s) autor(es): Fernando Lima de Oliveira (orientador), Lourival Matos de Sousa Filho (orientador) Carlos Ronyhelton Santana de Oliveira (Co-orientador), Gustavo Ferreira Soares Silva, Lucas Cunha da Silva e Israel Conceição Rocha

Instituição: Universidade Estadual do Maranhão (UEMA)

Endereço Completo da Instituição: Cidade Universitária Paulo VI s/n, Tirical, São Luís

E-mail para correspondência: gusttavoferreirass2015@gmail.com; lucas_cunha747@hotmail.com; israelr777@live.com

RESUMO: O estudo conduzido fez uma análise aerodinâmica de um veículo protótipo de alta performance destinado a competição de Fórmula SAE (um dos maiores eventos para alunos de engenharia do planeta), onde a finalidade principal é estabelecer condições de downforce necessário para que o carro mantenha-se estável no solo mesmo em altas velocidades e que obtenha o mínimo de atrito possível com o ar em circulação. Para tal, o protótipo foi dimensionado com base no regulamento da competição Fórmula SAE de 2017/2018. Por seguinte, foi calculado os números de Reynolds para cada asa, e esses valores inseridos no programa XFRL 5. Através dos dados gerados foram analisados perfis comerciais como modelos para que a partir deles fossem obtidos novos perfis com características de C_l (coeficiente de sustentação), C_d (coeficiente de arrasto) e C_m (coeficiente de momento) mais eficientes. Com os dados de saída dos perfis do XFRL 5, os mesmos foram desenhados e simulados no software SolidWorks, a fim de que fosse verificado o desempenho aerodinâmico no conjunto do protótipo. Dessa forma, comprovou-se a eficácia da utilização das asas laterais no protótipo e mostrou-se que o mesmo poderá ser posto a trabalho com maior estabilidade e agilidade se comparado ao veículo sem asas.

Palavras-Chave: Fórmula SAE, Conhecimento, Aerodinâmica

ABSTRACT: The study conducts aerodynamic analysis of a high performance prototype vehicle destined for Formula SAE competition (one of the largest events for engineering students on the planet), where the main purpose is to establish downforce conditions necessary for the car to remain Stable on the ground even at high speeds and get as little friction as possible with the circulating air. For this, the prototype was scaled based on the competition regulation Formula SAE of 2017/2018. As a result, the Reynolds numbers were calculated for each wing, and these values were entered into the XFRL 5 program. Through the generated data commercial profiles were analyzed as models to obtain new profiles with characteristics of C_l (lift coefficient), C_d (drag coefficient) and C_m (moment coefficient) more efficient. With the output data from the XFRL 5 profiles, they were designed and simulated in SolidWorks software in order to verify the aerodynamic performance in the prototype assembly. In this way, the effectiveness of the use of lateral wings in the prototype was proven and it was shown that it could be put to work with greater stability and agility when compared to the vehicle without wings.

Keywords: SAE Formula, Knowledge, Aerodynamics

INTRODUÇÃO

Com a finalidade de promover trabalho em equipe e desenvolver conhecimentos relacionados a engenharia, a competição fórmula SAE Brasil é um evento anual que reúne equipes de estudantes oriundos de diversas partes do país tendo a finalidade de que estes promovam intercâmbio de ideias e aprendizados entre si possibilitando maior difusão de conhecimento para as universidades brasileiras.

Para tal, dentre vários outros fatores cruciais, o presente trabalho abordou o projeto aerodinâmico do protótipo produzido. O veículo projetado recebeu o nome de VTX-01, e foi construído com base no regulamento da SAE (Sociedade

dos Engenheiros Automotivos), a fim de obedecer todas as restrições e requisitos de design e segurança. O VTX-01 conta com um pacote aerodinâmico inspirado nos famosos e vitoriosos Lotus 78 (carro de formula 1 produzido pela Equipe Lotus nos anos de 1977 e 1978) e que tem a função de tornar o escoamento em torno do carro mais laminar, para que assim as forças contrárias ao movimento sejam menores, assim como as forças de sustentação.

Fox (2001) cita que o corpo imerso em um fluido está sujeito a forças derivadas do escoamento. As forças referidas e que foram estudadas pelo presente artigo foram as de arrasto e sustentação. A sustentação acontece quando uma força normal elevada é fornecida pelo corpo a corrente livre e possui um arrasto pequeno.

Brunetti (2008), define ambos os escoamentos e explica que “Escoamento Laminar” é aquele em que as partículas se deslocam em lâminas individualizadas, sem trocas de massa entre elas enquanto que “Escoamento Turbulento” é aquele em que as partículas apresentam um movimento aleatório macroscópico, ou seja, a velocidade apresenta componentes transversais ao movimento geral do conjunto do fluido.

White (2008) explica que todo corpo que se desloca em paralelo a linha da corrente livre sofrerá forças de cisalhamento em sua superfície gerando o arrasto.

Para Munson (2004) grande parte do conhecimento ao arrasto foi obtido através de inúmeros experimentos realizados em tuneis de ventos e outros equipamentos.

Em carros de corrida essa diminuição de arrasto e ganho de downforce (inverso da sustentação) ocorre através da geometria da carenagem e o uso de aerofólios, também chamados de asas. Potter (2004) define aerofólio como sendo um corpo carenado que não apresenta separação em sua camada limite e sofre arrasto pelo atrito decorrente da tensão de cisalhamento na parede.

Partindo disto, utilizou-se o programa *XFRL 5* a fim de que não apenas fossem avaliados perfis comerciais contidos no banco de dados da equipe, mas com a finalidade de interpolar os mesmos para alcançar um que atenda as necessidades do projeto com o mínimo de perdas.

METODOLOGIA

Efeito Solo

O presente artigo trata das análises feitas no pacote aerodinâmico do VTX-01, através de simulações feitas no software SolidWorks. O referido pacote foi inspirado nos estudos e descobertas feitos por Jim Hall, Colin Chapman, John Cooper e Jack Brabham.

Uma forma de demonstrar a importância de um estudo aerodinâmico para um veículo de alta performance seria definir a função principal dos aerofólios comumente presentes nestes. Nesse sentido, o efeito solo se conceitua como o fenômeno que ocorre a partir da influência do solo sobre um escoamento externo. Aplicando ao automobilismo, durante o movimento de um automóvel, o ar que escoar sobre este com velocidade e pressão desigual em torno da máquina sendo significativamente reduzida na sua parte de baixo. Isto se deve a delimitação que o solo exerce sobre o fluxo sendo a face superior mais livre para que este escoamento ocorra.

Análises iniciais

Nesta etapa, para dar início ao projeto da carenagem, foi fundamental a análise e seleção dos perfis aerodinâmicos de cada aerofólio. Com isso, foi calculado os números adimensionais de Reynolds de cada asa do veículo, levando em consideração suas cordas aerodinâmicas, a velocidade máxima do carro (a fim de assegurar que este terá a estabilidade desejada mesmo em velocidades superiores), a distância horizontal da frente do carro até o bordo de fuga de cada dispositivo. Sendo necessário também consultar dados tabelados para a obtenção do peso específico do ar e sua viscosidade em suas condições de trabalho.

Desta forma, como serão demonstradas posteriormente, as diferentes localizações de cada aerofólio do carro trazem como consequência um número de Reynolds único para cada devido as diversas distâncias L que deverão ser inseridas ao cálculo. Por isso, tais diferenças significam padrões de escoamento diferentes para cada perfil exigindo uma análise única para cada asa do carro.

Por seguinte, tendo os padrões de escoamento externo para cada dispositivo, estes dados foram inseridos ao programa *XFRL5* para a análise inicial de perfis contidos no banco de dados da equipe Vórtex. Com isso, foram feitas comparações e interpolações do componente a fim de que fosse alcançado um perfil no qual possa dispor o máximo de downforce possível e o mínimo de arrasto. Partindo disto, para conhecer a corda e as dimensões máximas de cada dispositivo foi seguido o regulamento da competição Fórmula SAE 2017/2018 e o desenho dos demais componentes do veículo.

Simulações

Nesta etapa, foram feitas simulações a partir do software SolidWorks para uma análise mais detalhada a respeito do efeito aerodinâmico sobre o carro afim de se obter demonstrativos de pressão, temperatura, velocidade, linhas de corrente do escoamento externo e os valores de arrasto e sustentação. A partir disso, foi possível obter uma visão mais ampla a respeito dos esforços aerodinâmicos que agem sobre o VTX-01 tornando mais viáveis possíveis modificações.

Equações governantes

$$Re = \frac{\rho * v * L}{\mu} \quad (1)$$

$$F_l = C_l * \frac{1}{2} * \rho * v^2 * A \quad (2)$$

$$F_d = C_d * \frac{1}{2} * \rho * v^2 * A \quad (3)$$

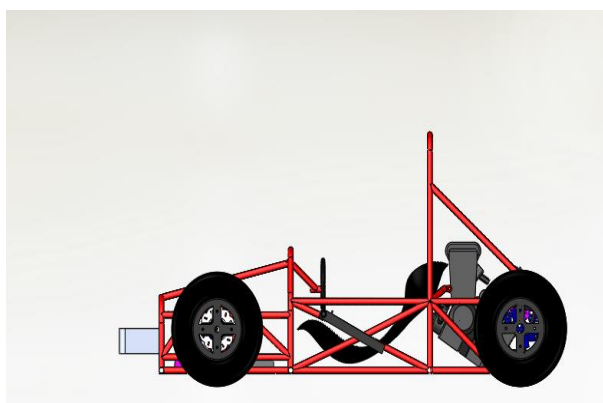
$$\frac{1}{2} * \rho * v^2 + P = constante \quad (4)$$

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Veículo sem carenagem

Como é possível observar na Figura 2, para a obtenção das dimensões máximas de cada aerofólio foi levado em consideração as restrições relacionadas ao regulamento no qual se pode obter as dimensões dos entre eixos, largura de eixo, distância do protótipo até o solo, para que fosse feita a ergonomia do piloto e obtivesse as dimensões do chassi, como comprimento, largura e altura, além de dados técnicos da suspensão, freios, direção e powertrain, na qual são fundamentais para a compreensão do comportamento estático e dinâmico do VTX-01, pois só assim é possível obter as dimensões da carenagem e de cada aerofólio tendo em vista os aspectos construtivos a fim de que não fossem prejudicados o funcionamento dos demais mecanismos do carro.

Figura 2. Estrutura do VTX-01 sem sua carenagem e aerofólios



Fonte: Autores (2017).

Análise e seleção de perfis

Nesta nova fase do projeto, foi realizada uma análise e seleção de perfis aerodinâmicos que são inseridos nos aerofólios do veículo. Para isto, iniciou-se o estudo calculando os números Re para cada aerofólio do carro para analisar o padrão de escoamento externo que cada dispositivo.

Desta maneira, por se apresentar na extrema dianteira, levou-se em consideração unicamente a corda do perfil dianteiro (500 mm) para o cálculo de Re. Com isso, utilizando a Eq (1) e a velocidade máxima do VTX-01 de 200 km/h

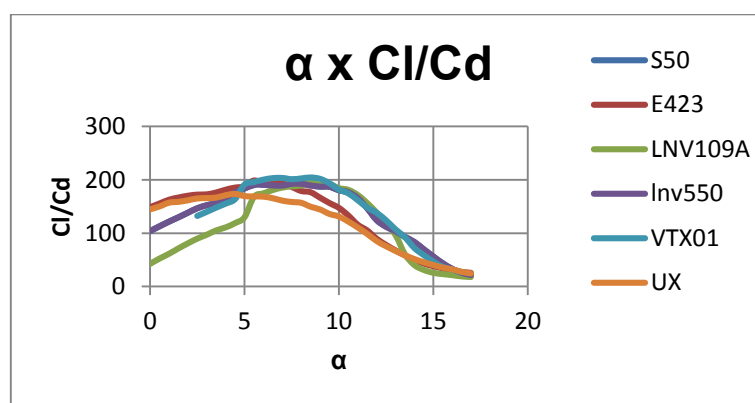
(aproximadamente 55,55 m/s) chegou-se ao número de Reynolds de aproximadamente $1,856 \cdot 10^6$. Por seguinte, usando o programa XFRL5 analisou-se o comportamento de cada componente em cada ângulo tendo em vista seus coeficientes C_l (1,6853) e C_d (1,697).

Tabela 1. Comparação de dados de ângulo α , relação entre coeficiente de sustentação e atrito em relação ao ângulo α entre perfis comerciais e o perfil produzido pelo autor.

Perfil	S50	E423	LNV109A	Lnv550	VTX01	UX
α	-6°	-5,5°	-8,5°	-6°	-8°	-4,5°
C_l - α	1,569	1,683	1,3859	1,569	1,6853	1,697
C_d - α	0,00822	0,00847	0,00713	0,00822	0,00833	0,00978

Fonte: Autores (2017).

Figura 3. Variação da eficiência em relação a α



Fonte: Autores (2017).

Seguindo com o estudo, para a seleção do perfil lateral, quesitos construtivos foram levados em consideração por isso, é possível observar a necessidade do componente de cobrir o radiador do veículo então foram excluídos os perfis que possuíam espessura abaixo em 30% da sua corda. Posteriormente, dentro do possível, foram buscados perfis que podiam atender a necessidade do downforce de forma mais eficiente. Com isso, utilizou-se a distância do bordo de ataque da asa dianteira (ponto frontal extremo) até o bordo de fuga deste componente pro cálculo de Re obtendo o resultado de $7,67 \cdot 10^6$.

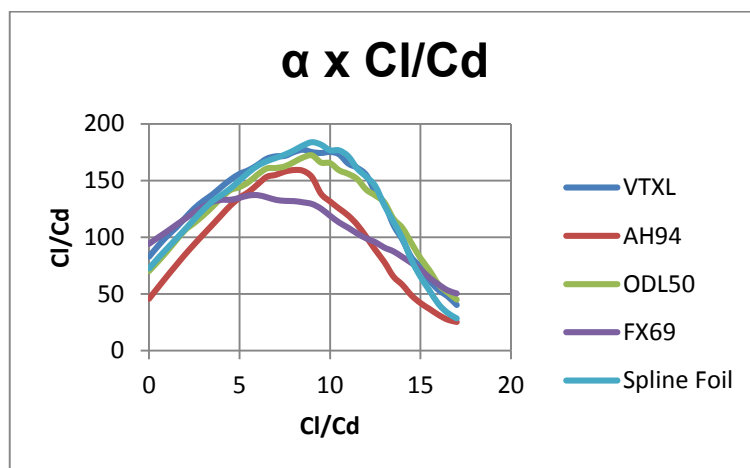
Novamente, foram feitas análises de perfis comerciais pelo mesmo programa havendo comparação e interpolação a fim de alcançar as características necessitadas, chegando àqueles com melhor relação C_l/C_d demonstrados na Figura 2. Com isso, é possível observar que o perfil VTXL faz-se o mais adaptado à aplicação alcançando uma eficiência máxima de 175,0459. Posteriormente, para este aproveitamento, utilizou-se o ângulo negativo de ataque de -8°. Desta forma, como é possível observar na Tabela 2, foram obtidos os coeficientes de sustentação e arrasto chegando pelas mesmas equações (2) e (3) a sustentação disponível de -0,210701043.

Tabela 2. Comparação dos dados do ângulo α , relação entre coeficiente de sustentação e atrito em relação ao ângulo α entre perfis comerciais e o perfil produzido pelo autor para lateral do veículo.

Perfil	VTXL	AH 94	ODL50	FX 69	Spline Foil
α	-8°	-8°	-9°	-6°	-9°
C_l - α	1,5264	1,3196	1,5821	1,43	1,5359
C_d - α	0,00872	0,00829	0,00919	1,01044	0,00835

Fonte: Autores (2017).

Figura 4. Comparativo entre a variação do coeficiente de sustentação e arrasto de perfis comerciais e o perfil elaborado pelos autores.



Fonte: Autores (2017).

Para análise de perfis traseiros, foi utilizada uma configuração diferente ao seu respectivo aerofólio. Com a finalidade de aproveitar a máxima estabilidade ao veículo sem gerar mudanças em outras variáveis de forma nociva ao desempenho do carro, utilizou-se um aerofólio traseiro dividido entre duas asas localizadas de forma mais lateral.

Nesse contexto, números de Reynolds mais variados foram tomados em consequência do escoamento mais “limpo” que o dispositivo traseiro esteve sob, levou-se em consideração apenas sua corda, chegando ao número de $2,788 \cdot 10^6$. Enquanto o componente central do dispositivo recebeu um escoamento mais turbulento causado pela interação com as outras partes da carenagem sendo analisado com o número de Reynolds de $10 \cdot 10^6$. Desta forma, foram conduzidas análises diferenciadas chegando ao comparativo para a região central dispositivo como é possível ver na figura 4. Assim, é notável a necessidade de um dowforce mais baixo na parte traseira devido a concentração da maior parte dos demais componentes do protótipo causando acúmulo de massa suspensa e não suspensa na região contribuindo para manter o carro no solo.

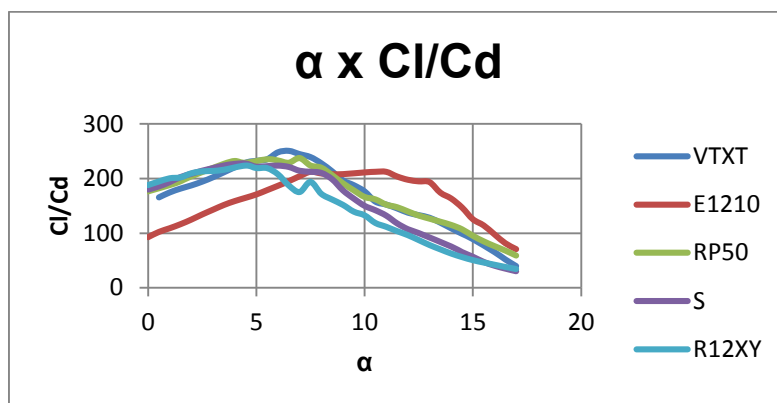
Com isso, analisando o gráfico relacionado e os dados contidos na tabela 3 escolheu-se o componente VTXT, devido a sua eficiência máxima de 232,5862, tendo o C_l de 1,4839 e C_d de 0,00638.

Tabela 3. Comparação de dados de ângulo α , relação entre coeficiente de sustentação e atrito em relação ao ângulo α entre perfis comerciais e o perfil produzido pelo autor para região traseira central do veículo.

Perfil	VTXT	E1210	RP50	S	R12XY
α	-5°	-7,5°	-5,5°	-4,5°	-4,5°
C_l - α	1,4839	1,41812	1,7317	1,8291	1,7398
C_d - α	0,00638	0,00667	0,00736	0,00803	0,00778

Fonte: Autores (2017).

Figura 5. Comparativos do coeficiente de sustentação e arrasto em relação ao ângulo α entre perfis comerciais e o perfil feito pelos autores.



Fonte: Autores (2017).

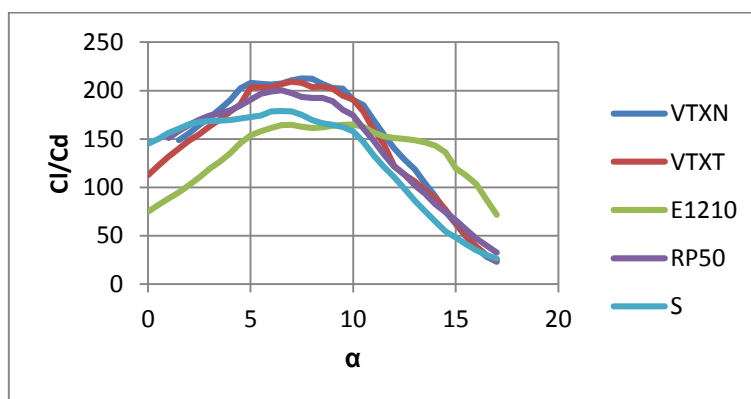
Tomando um processo semelhante àqueles descritos anteriormente, foram analisados e interpolados os perfis disponíveis no banco de dados da equipe. Entretanto, para esclarecer melhor o efeito do posicionamento deste componente sobre o seu desempenho, foram analisados os melhores perfis para a parte central.

Tabela 4. Comparação de dados de ângulo α , relação entre coeficiente de sustentação e atrito em relação ao ângulo α entre perfis comerciais e o perfil produzido pelo autor para região traseira lateral do veículo.

Perfil	VTXN	VTXL	E1210	RP50	S
α	-5°	-7°	-7°	-6,5°	-6,5°
$Cl-\alpha$	1,5417	1,6867	1,3409	1,8096	1,9837
$Cd-\alpha$	0,00741	0,00806	0,00814	0,00904	0,01109

Fonte: Autores (2017).

Figura 6. Comparativos do coeficiente de sustentação e arrasto em relação ao ângulo α entre perfis comerciais e o perfil feito pelos autores.



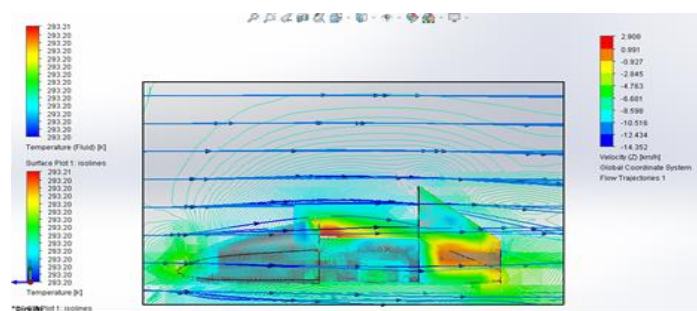
Fonte: Autores (2017).

Análises das simulações

Feitas as devidas análises, é possível seguir para aquisição de dados para que o correto dimensionamento fosse feito para os dispositivos. Desta forma, como dito anteriormente, a configuração dos dispositivos aerodinâmicos do carro inclui o acréscimo de aerofólio lateral. Entretanto, como é sabido, componentes que possuem a espessura necessária para tornar isto possível gerou uma força de arrasto significativamente melhor.

Nesse sentido, como é possível observar na Figura 7 o desempenho aerodinâmico do carro exige um dimensionamento no qual os aerofólios dianteiros e traseiros possuam uma área maior que o regulamento permite ou que seja gerado um perfil que possa dispor de um C_l de módulo maior. Com isso foi feita uma simulação para representar e fazer um comparativo do veículo sem e com seus dispositivos aerodinâmicos.

Figura 7. Simulação do escoamento externo do ar com velocidade de 12 m/h (velocidade do ar no local da competição), com temperatura, pressão e as linhas de corrente visíveis da carenagem do VTX-01 sem nenhum aerofólio ou dispositivo aerodinâmico e sem parede corta fogo.



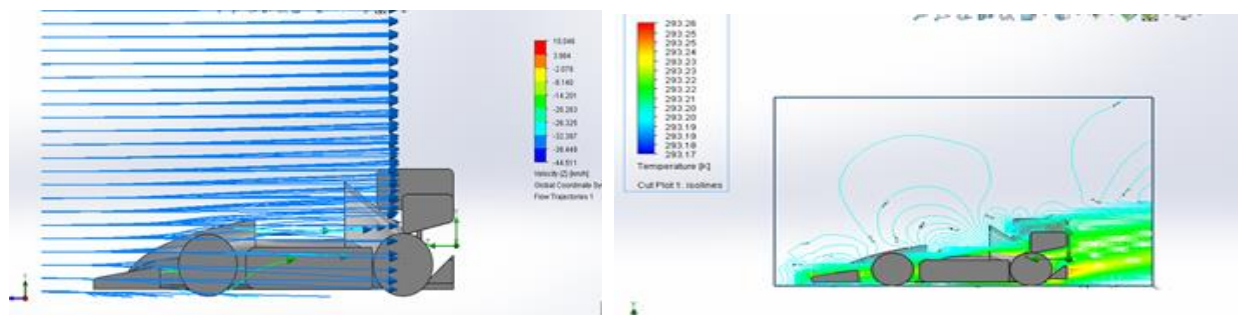
Fonte: Autores (2017).

Tabela 5. Dados de sustentação e arrasto obtidos na simulação da carenagem sem seus respectivos aerofólios.

Sustentação (Y)	[N]	1,231419926	1,142114796	0,864604418	1,231419926	0,366815508	0,48452935
Arrasto (Z)	[N]	-0,963470004	-1,077955241	-1,347282731	-0,963470004	0,383812727	0,548298227

Fonte: Autores (2017).

Figura 8 (a) Simulação com pacote aerodinâmico e sem parede corta fogo com as linhas de corrente da força de arrasto e **(b)** Simulação com pacote aerodinâmico e sem parede corta fogo com pressão e temperaturas ilustradas.



Fonte: Autores (2017).

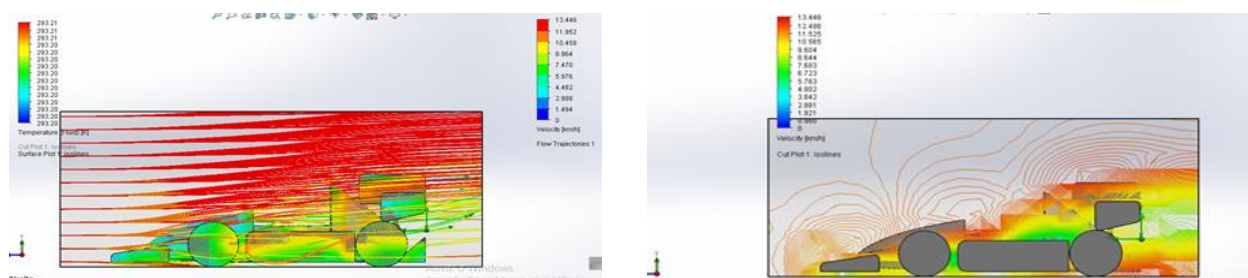
Tabela 6. Valores de sustentação e arrasto obtidos na simulação do VTX-01 sem sua parede corta fogo e com seu pacote aerodinâmico completo.

Sustentação (Y)	[N]	-17,57140297	-17,62967593	-17,79051943	-17,36380259	0,056154771	0,344083757
Arrasto (Z)	[N]	-25,17234142	-25,22095425	-25,32973304	-25,09254469	0,161245108	1,154309153

Fonte: Autores (2017).

Outra análise relevante que foi feita é a interferência de estruturas postas a fim de prover mais segurança ao piloto. De forma mais específica, é possível ver no resultado exibido na Figura 9, que a presença da parede corta fogo 100% fechada gera uma zona de pressão localizada nesta área, aumentando drasticamente a força contrária provocada pelo atrito, prejudicando o rendimento do veículo. Para resolver este problema, fez-se esta estrutura com alguns cortes permitindo que o ar passasse de forma mais livre reduzindo o arrasto do protótipo VTX-01 com o ar como pode ser visto na Figura 10.

Figura 9 (a) Simulação do carro com parede corta fogo fechada com as linhas de corrente representando a velocidade do ar no local de competição, assim como a temperatura do fluido e **(b)** simulação do protótipo VTX-01 com parede corta fogo fechada com a representação das zonas de pressão e velocidade.



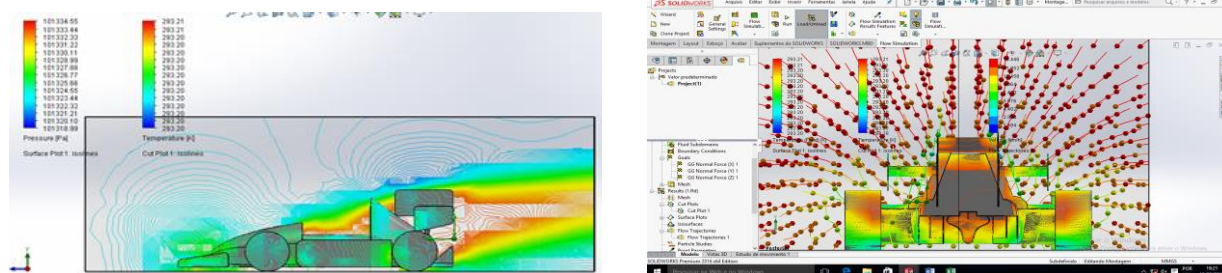
Fonte: Autores (2017).

Tabela 7. Tabela com os dados de sustentação e arrasto obtidos através da simulação do carro com a parede corta fogo e as suas asas/ aerofólios.

Sustentação (Y)	[N]	-1,897450552	-1,925239214	-1,976878329	-1,875831046	0,101047284	0,505752022
Arrasto (Z)	[N]	-3,637957786	-3,652340024	-3,693981266	-3,630318231	0,063663035	1,029779882

Fonte: Autores (2017).

Figura 10 (a) Simulação do veículo com a parede corta fogo vazada na região do aerofólio traseiro central com os gráficos e ilustração das zonas de pressão e temperatura, **(b)** vista traseira do VTX-01 nas mesmas condições e com as linhas de corrente visíveis.



Fonte: Autores (2017).

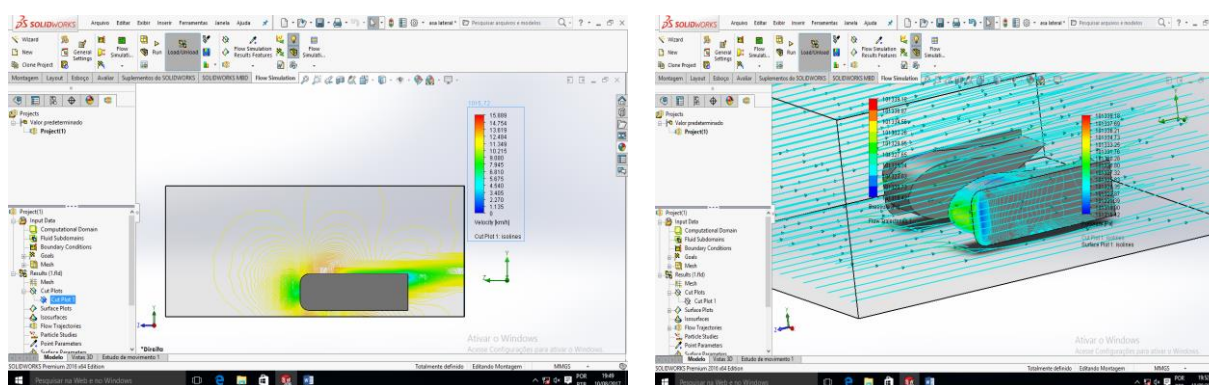
Tabela 8. Dados de sustentação e arrasto do VTX-01 obtidos através da simulação com pacote aerodinâmico e parede corta fogo vazada.

Sustentação (Y)	[N]	-0,206858123	-0,219494591	-0,229586215	-0,202503685	0,02708253	0,202824132
Arrasto (Z)	[N]	-3,288512128	-3,285836001	-3,330015381	-3,27129309	0,058722291	0,480823336

Fonte: Autores (2017).

Outra simulação feita foi do escoamento externo do aerofólio lateral usado no VTX-01, mostrando os valores da sustentação e arrasto do dispositivo. A equipe Vórtex é a primeira a usar esse tipo de dispositivo e para isso foi feita as simulações nele a fim de demonstrar o ganho de dowforce na região, que sem isso ia ter um arrasto gerado por causa dos radiadores, e nenhum ganho de dowforce na região, com o uso disto foi ganho dowforce em uma região onde só era gerado arrasto.

Figura 11 (a) Simulação do aerofólio lateral e **(b)** Simulação do aerofólio lateral com linhas de corrente ilustrando o escoamento do ar sobre sua superfície com velocidade 12 km/h.



Fonte: Autores (2017).

Tabela 9. Dados de sustentação e arrasto gerados pela simulação do aerofólio lateral feita no SolidWorks.

Sustentação (Y)	[N]	-0,227602606	-0,229615062	-0,245032996	-0,210701043
Arrasto (Z)	[N]	-0,491585942	-0,48750016	-0,493179932	-0,481458343

Fonte: Autores (2017).

CONCLUSÃO

Durante o projeto de um veículo do tipo fórmula vários fatores devem ser levados em consideração com a finalidade de dar a este o melhor desempenho possível sempre levando em consideração os requisitos do regulamento da competição para que sejam cumpridos a exigências de segurança, conforto, estabilidade, agilidade e desempenho. Aplicando isto, a Equipe Vórtex tomou o desafio e está participando da competição Fórmula SAE Brasil 2017. Por isso, no presente artigo foi feito uma análise e simulação do pacote aerodinâmico do protótipo denominado VTX-01 fazendo uma comparação entre o carro sem dispositivos aerodinâmicos e sem parede corta fogo com dispositivos aerodinâmicos e sem parede corta fogo, com dispositivos aerodinâmico e com a parede corta fogo completamente fechada, com os dispositivos aerodinâmicos e com a parede corta fogo vazada na região do aerofólio traseiro central e por último uma simulação que mostra a eficiência do aerofólio lateral mostrando que o uso deste é benéfico já que o mesmo gera um dowforce na região central traseira do carro garantindo a esse maior estabilidade em curvas.

Destaca-se que os valores de arrasto aparecem negativo pois estamos tratando de uma força contraria ao movimento assim como a sustentação que também aparece com valores negativos pois o que se busca não é a sustentação, mas a força inversa a esta. Posteriormente, destaca-se a diminuição da sustentação e consequentemente o aumento de dowforce no comparativo do veículo sem seus dispositivos aerodinâmicos e com os dispositivos, assim como entre o comparativo entre a parede corta fogo totalmente fechada e vazada. Com isso podemos dizer que como o dowforce aumenta a estabilidade, característica fundamental para carros de alta performance, consequentemente aumenta tornando o carro mais estável em curvas, mais ágil e veloz em curvas graças ao ganho de estabilidade. Com a diminuição da força de arrasto também temos ganho de velocidade em retas (em comparação com o veículo com parede corta fogo totalmente fechada). Destacamos também que nenhum dispositivo aerodinâmico gera aumento da velocidade do veículo de forma direta, pois o que se ganha de forma direta é estabilidade e redução no consumo de combustível.



XXIV CREEM
Congresso Nacional de Estudantes
de Engenharia Mecânica



**Universidade Federal
do Rio Grande**



INSTITUTO FEDERAL
RIO GRANDE DO SUL
Campus Rio Grande

REFERÊNCIAS

BRUNETTI, Franco. Mecânica dos Fluidos. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2008.
MUNSON, Bruce R.; YOUNG, Donald F.; OKIISHI, Theodore H. Fundamentos da Mecânica dos Fluidos. 1. Ed. São Paulo: Edgard Bluncher LTDA, 2004.
POTTER, Merle C.; WIGGERT, David C. Mecânica dos Fluidos. 1.ed. São Paulo: Cengage Learning, 2004.
WHITE, Frank M. Mecânica dos Fluidos. 6. Ed. Porto Alegre: AMGH, 2008.
FOX, Robert W.; McDONALD, Alan T.; PRITCHARD, Philip J. Introdução a Mecânica dos Fluidos 7.ed. Rio de Janeiro: LTC, 2001.

DECLARAÇÃO DE RESPONSABILIDADE

Os autores são os únicos responsáveis pelo material impresso contido neste artigo.