

PROJETO DE PINÇA DE FREIO PARA UM VEÍCULO FÓRMULA SAE

Jenifer M. S. Gandra¹ (IC), Leonardo Albergaria Oliveira (PQ)¹

¹Universidade Federal de Itajubá - UNIFEI Campus Itabira

Palavras-chave: Sistema de Freio. Pinça de freio. Frenagem. Dinâmica veicular. Fórmula SAE.

Introdução

Na indústria automotiva há dois tipos de sistemas de freio que são utilizados em grande magnitude no mercado, o freio a tambor e o freio a disco. Pode-se observar a utilização desses mecanismos em automóveis de passeio e motocicletas de baixa cilindradas, sendo o habitual em usar o sistema a disco no eixo dianteiro e o tambor no eixo traseiro desses veículos. Outra aplicação é nos veículos de alta performance, como na Fórmula 1, em que o sistema utilizado é o freio a disco, por ser o que se enquadra melhor na proposta e necessidade de sua aplicação.

Ao longo dos anos em relação a participação da equipe na competição do Fórmula SAE, foi perceptível a falta de aptidão e conhecimento básico sobre o funcionamento do sistema de freio, um cenário que gerava transtornos no funcionamento pleno do carro e ineficácia na prova de frenagem, item de segurança que dá aval para equipe participar das provas dinâmicas na competição. Neste teste, o protótipo precisa acelerar ao longo de cerca de 30 metros e, em seguida, entrar em uma zona de extensão de 10 metros, na qual deve ser freado.

Para que a equipe obtenha aprovação nessa etapa da inspeção técnica, o veículo precisa realizar um travamento nas quatro rodas ao longo de um percurso retilíneo e seguro, dentro dos limites mencionados anteriormente. O objetivo deste projeto é resolver os desafios identificados em projetos anteriores, onde a dificuldade predominante estava em realizar a frenagem nas quatro rodas quando o veículo estava a uma velocidade consideravelmente reduzida.

O propósito desta pesquisa científica é avaliar e desenvolver o sistema de frenagem destinado a um veículo de competição do tipo Fórmula SAE. Antes de iniciarmos o projeto em si, iremos apresentar os diversos tipos de sistemas de freios atualmente empregados na indústria automobilística, discutindo seus componentes e funcionamentos correspondentes.

A seguir, delinearemos as premissas que guiarão o dimensionamento e a seleção dos componentes adquiridos e das peças projetadas. Em seguida, abordaremos o projeto anterior da equipe e as oportunidades de aprimoramento.

A partir das dimensões fundamentais, procederemos à escolha dos componentes disponíveis no mercado automobilístico, levando em consideração critérios técnicos e econômicos. Na sequência, apresentaremos os componentes que foram projetados, destacando seus elementos constituintes e materiais, além de realizar uma análise por meio de simulações de elementos finitos para cada componente projetado.

Por fim, forneceremos uma análise comparativa após a implementação das melhorias no protótipo. Os componentes, como os discos de freio, pedais e o balance bar, foram desenvolvidos com o auxílio do software Solidworks, e detalharemos esses estudos ao longo do projeto.

Metodologia

O estudo e o conhecimento aprofundado de todos os componentes que compõem o sistema de freio, bem como de seu funcionamento adequado, são absolutamente essenciais para dimensionar qualquer elemento desse sistema. Com esse propósito em mente, conduzimos uma análise detalhada de todo o sistema, que engloba vários elementos. Isso inclui o conjunto de dois cilindros mestres, conforme exigido pelas regulamentações da FSAE Brasil; o conjunto de roda, que consiste em pinças de freio, pastilhas e discos de freio, todos instalados nas quatro rodas do protótipo; um pedal de freio que controla ambos os sistemas hidráulicos; um sistema de balanço conhecido como balance bar; e, por fim, o conjunto de conexões e tubulações que transportam o fluido de freio pelo sistema.

Uma vez que identificado e compreendido todos os componentes do sistema, torna-se fundamental adquirir conhecimento e aplicar os conceitos teóricos

da dinâmica veicular. Essa área de estudo é subdividida em três pilares principais: a dinâmica lateral, a dinâmica vertical e a dinâmica longitudinal, sendo esta última a mais relevante para o sistema de freio.

Foram levados em consideração os conceitos de transferência longitudinal de carga e torque de frenagem para descrever o processo de frenagem de um veículo. A equação que descreve a frenagem de um veículo pode ser derivada a partir da Segunda Lei de Newton, aplicada na direção do deslocamento do veículo. O enunciado desta lei, conforme descrito por Halliday [6], estabelece que a aceleração de um corpo é diretamente proporcional às forças que atuam sobre ele e inversamente proporcional à sua massa. Na figura 1, é apresentado o diagrama de corpo livre de um veículo.

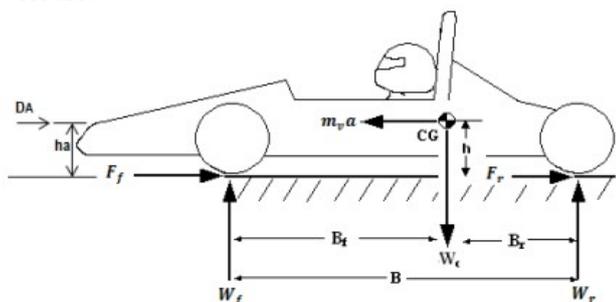


Figura 1 - Diagrama de Corpo Livre para um Veículo FSAE

A equação 1.1 descreve os esforços que estão diretamente relacionados à desaceleração do veículo durante o processo de frenagem, conforme representado na figura 1.

$$m_v a = F_f + F_r + D_a \quad (1.1)$$

Conforme indicado pela equação 1.1, três forças desempenham um papel na desaceleração do veículo. As forças F_f e F_r representam os esforços de frenagem atuando no eixo dianteiro e traseiro, respectivamente. Enquanto isso, a força D_a está associada à resistência aerodinâmica.

As forças de frenagem F_f e F_r estão diretamente relacionadas ao torque de frenagem em cada eixo, bem como à resistência à rolagem dos pneus, ao atrito nos rolamentos e à resistência do sistema de transmissão como um todo. Portanto, para calcular com precisão a força de frenagem, é necessário ter conhecimento de todos os esforços mencionados anteriormente.

De acordo com Gillespie [7], medições experimentais indicam que a contribuição para a desaceleração resultante das forças mecânicas de resistência à rolagem é da ordem de $0.01g$ ($0.1m/s^2$) e, portanto, pode ser negligenciada no dimensionamento de um sistema de frenagem. Esta estimativa não inclui o efeito do freio motor, que é definido como o torque necessário para manter o motor funcionando a uma determinada rotação.

O torque de frenagem pode ser conceituado como a "potência de frenagem" do veículo. Mais precisamente, ele é calculado como a medida da força de atrito no pneu (força de frenagem em cada eixo, representada genericamente como F) multiplicada pelo raio do pneu e pelo produto da soma dos momentos de inércia e das velocidades angulares das partes girantes.

$$T_p = F R_p + I_w \alpha_w \quad (1.2)$$

Além dessas equações, diversas outras premissas foram levadas em consideração no dimensionamento do sistema de freio como um todo no veículo. Isso inclui a desaceleração desejada, o torque de frenagem desejado, a relação de pedal de freio almejada e a relação entre o cilindro mestre e a pinça de freio, que se destacou como um fator crucial para a alteração da pinça de freio em relação ao protótipo anterior.

Após a análise de todos os cálculos e das relações entre as diferentes partes do sistema, torna-se possível selecionar as geometrias e componentes mais adequados. Essas escolhas são baseadas nos resultados obtidos e devem ser capazes de suportar as forças que o veículo enfrentará durante o movimento, especialmente as forças de frenagem.

Resultados e discussão

No protótipo anterior, como já citado, o travamento das quatro rodas não foi alcançado como desejado e exigido no regulamento da FSAE Brasil, isso se deu pelo fato de haver componentes que foram mal dimensionados e que não foi levado em consideração todo o memorial de cálculo necessário para a seleção de tais componentes.

Diante dessa percepção, foi avaliado quais os pontos que mais necessitavam de uma mudança drástica de componentes em todo o sistema, então foi feita a troca

previamente a troca para a pinça de freio em estudo, pois sem essa troca não seria possível dimensionar a pinça de freio ideal para corresponder a necessidade para o conjunto de freio do veículo. Essas trocas foram feitas com base nos cálculos feitos para o dimensionamento do sistema, em que os resultados são expressos na figura 2.

Dinâmica veicular		
Descrição	Resultados	Unidade
Velocidade Angular	16,5512	rad/s ²
Torque de frenagem dianteiro	333	N.m
Torque de frenagem traseiro	278	N.m
Razão do pedal de Freio	4,5	-
Força para o cilindro mestre ser acionado	445	N
Razão entre pistão do cilindro mestre e pinça de freio	1,92	-
Diametro do aeroquip (Linha de freio flexível)	3/13"	in
Força de atrito entre pastilha e disco	2750	N
Velocidade da relação de transmissão	32,778	m/s
Desaceleração (Frenagem)	4,097 (0,41)	m/s ² (G)
Diametro nominal do Pneu	505,2	mm
Coefficiente de atrito da pastilha	0,45	-

Figura 2 – Resultados dos cálculos necessários para o dimensionamento da pinça de freio

Com base nos resultados obtidos, ficou evidente que o pistão da pinça de freio deve ter um diâmetro de $\varnothing 32,3\text{mm}$. Essa informação serviu como um parâmetro crítico para a modelagem 3D da pinça de freio. A geometria selecionada para este projeto, levou em consideração os pontos de fixação e as interações com os demais componentes e sistemas integrados ao protótipo.

Conclusões

O sistema de frenagem desenvolvido neste estudo alcançou com êxito os objetivos técnicos, de design e de segurança estabelecidos. Os objetivos técnicos foram cumpridos por meio do cálculo preciso do torque necessário pelo sistema, de acordo com os princípios teóricos, e pela proposição dos componentes necessários para atender a esse requisito. Os objetivos de design foram devidamente atendidos com o desenvolvimento de uma pinça de freio que resultou em uma significativa redução de peso. Por último, os objetivos de segurança foram garantidos mediante análises que comprovam a capacidade do sistema de suportar desaceleração (Frenagem) de $4,097\text{ m/s}^2$ (0,41 G), capaz de travar as quatro rodas e, assim, estar em conformidade com os regulamentos da competição Fórmula SAE.

Agradecimentos

Agradeço aos meus pais e aos familiares que me apoiaram e dedicaram parte das suas vidas a contribuir para meu crescimento e aprendizagem.

Agradeço ao meu orientador Professor Leonardo Albergaria Oliveira pela orientação e ensinamentos transmitidos ao longo da elaboração deste Projeto.

Agradecimentos à UNIFEI e ao corpo docente do departamento de engenharia mecânica por me mostrar a arte da engenharia.

Agradeço aos meus colegas de curso que sempre me apoiaram e compartilharam dos melhores e piores momentos no desenvolvimento desse projeto. Em especial aos companheiros da equipe Iron Racers de Fórmula SAE que estiveram presentes na primeira experiência prática em engenharia mecânica.

Agradeço ao órgão financiador da minha bolsa a CNPq que contribuiu com o auxílio necessário para o desenvolvimento dessa pesquisa.

Referências

- LIMPERT, R. Brake Design and Safety, 3a Ed., USA, SAE International, 2011. [1]
- OSHIRO, D. Brake Article, USA, 1994. [2]
- BUDYNAS, Richard G. Elementos de máquinas de Shigley. 10. ed. Porto Alegre: AMGH Editora. 27 de janeiro de 2016.
- PUHN, Fred. Brake Handbook. HP Trade, 1987. [3]
- SANTOS, Gustavo Carvalho Martins dos. Projeto e dimensionamento de um sistema de freios aplicado a um veículo Fórmula SAE. Monografia (Graduação em Engenharia Mecânica) - Departamento de Engenharia Mecânica, Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2014. [4]
- CRUZ, Igor Rodrigues da. Dimensionamento do sistema de frenagem para veículo Fórmula SAE. Niterói, RJ, Engenharia Mecânica da Universidade Federal Fluminense, 2022. [5]
- HALLIDAY, David. Fundamentos de Física - Mecânica - Volume 1. 10ª ed. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, 1983. [6]
- GILLESPIE, Thomas D. Fundamentals of Vehicle Dynamics. SAE International, fevereiro de 1992. [7]