

## ANÁLISE DOS ESFORÇOS QUE ATUAM NA SUSPENSÃO DO VEÍCULO FÓRMULA SAE SCUDERIA-UFCG

Brenner Dorneles Medeiros de Moraes (1); Álvaro Barbosa da Rocha (2); André Ribeiro de Oliveira (3); Raimundo Nonato Calazans Duarte (4)

- (1) *Universidade Federal de Campina Grande, brenner.dorneles@gmail.com*  
(2) *Universidade Federal de Campina Grande, alvarobarbosa2@hotmail.com*  
(3) *Universidade Federal de Campina Grande, andre.ribeiro1301@gmail.com*  
(4) *Universidade Federal de Campina Grande, nonatocduarte@hotmail.com*

### Introdução

Desde o início da indústria automobilística ocorreram esforços no que diz respeito aos estudos de dinâmica veicular, mas esses estudos ganharam maior ênfase somente nas últimas décadas, com o objetivo de obter resultados que implicassem em ter um veículo com maior segurança e desempenho em todas as condições no qual o veículo será submetido a prova. A suspensão tem grande importância na segurança de um veículo, pois será esse sistema que irá evitar que as imperfeições do solo sejam transmitidas para o restante do veículo, além de ser muito importante na estabilidade, assim, melhorando as condições de dirigibilidade do veículo.

Com a recente criação do projeto estudantil Fórmula SAE Scuderia da Universidade Federal de Campina Grande surgiram diversos aspectos a serem analisados cuidadosamente no veículo, neste ponto de vista, o crescente avanço da indústria automotiva, principalmente a indústria de competição, está diretamente associado a aplicação de novos conceitos, métodos e tecnologia, durante as fases de projeto e desenvolvimento do produto, de maneira a dar importância a análise de desempenho dos componentes antes da construção do protótipo. Portanto, esta análise associada a melhorias no veículo permitirá o dimensionamento de componentes de acordo com a necessidade, desta maneira, reduzindo o custo final do veículo, assim como, redução de adaptações ocasionadas por falhas de projeto.

Com a necessidade do projeto Scuderia-UFCG, no que diz respeito a aquisição de esforços que atuam na suspensão duplo-A, mais focado no braço de suspensão, para assim, poder reavaliar o projeto e realizar as mudanças necessárias para melhorar o desempenho. Utilizando materiais mais eficientes e se possível mais leves, pois como o veículo é de competição implicará diretamente na redução do tempo nas provas, como: autocross, enduro, skid pad e aceleração.

### Metodologia

O estudo tem como base principal a aquisição dos esforços de entrada que agem desde o primeiro ponto, o pneu, assim, distribui-se por todo o conjunto que compõem uma suspensão veicular do tipo duplo-A, chegando ao braço de suspensão, cujo é o foco deste trabalho.

O ponto de partida para descobrir estes dados de entrada foi usar o método de transferência de carga que ocorre no veículo em situações de curvas. Vale salientar que este trabalho limitou-se a analisar curvas com raio constante, curvas planas e velocidade constante, porém sabemos que a situação crítica real difere do que foi citado, assim, para a situação crítica real, considera-se a realização de curvas com raio variável, velocidade variável e chocar-se contra as chicanes.

A transferência de carga é dada em 4 parcelas, segundo Leal et al. (2001), mas a 3ª parcela que trata da barra estabilizadora foi desconsiderada, pois o Scuderia-UFCG não a utiliza.

(83) 3322.3222

[contato@conapesc.com.br](mailto:contato@conapesc.com.br)

[www.conapesc.com.br](http://www.conapesc.com.br)

No decorrer foram feitas adaptações nos modelos a fim de que o novo ficasse com parâmetros compatíveis com a situação de cada curva, ou seja, as parcelas ficassem em função de parâmetros como velocidade e o raio da curva em questão. Diante destes parâmetros foi dado início a uma nova etapa do trabalho, foi criado um modelo 2D do conjunto da suspensão sem a mola, para assim, descobrir os esforços que são incidentes nas bandejas ou braços de suspensão superior e inferior.

Com a ajuda do Scuderia-UFCG, no que se trata ao fornecimento de dados do veículo, alguns resultados numéricos e gráficos puderam ser obtidos. Para finalizar o trabalho com uma análise real do circuito onde ocorrem algumas provas, foi utilizado uma imagem aérea do circuito com o auxílio do google maps, inserindo, assim, no AutoCad e obtendo os raios das curvas.

- Aquisição de esforços – Transferência de carga;

Como foi citado, o método usado será o de transferência de carga da roda interna para a roda externa, que irá ocorrer em situações de curvas.

1ª parcela: Ação do momento. Durante uma curva há a ação da força centrífuga das massas suspensas em relação ao eixo de rolamento, assim, o veículo tende a inclinar sua carroceria, acarretando no surgimento do ângulo de rolamento. Para determinação da 1ª parcela, será explanado alguns parâmetros, como: a constante da mola “k” que está fixada a uma distância “u” do ponto de fixação no chassi da bandeja superior, “v” é a distância do ponto de fixação da bandeja superior até a manga de eixo e “K” é a constante de mola na rótula do braço.

2ª parcela: Ação da força centrífuga das massas suspensas. Define-se massa suspensa como sendo a massa do veículo sustentada pelas molas. A ação desta força é responsável por uma transferência de carga adicional entre as rodas interna e externa. Esta parcela pode ser obtida por meio do equilíbrio de momentos, no caso usando o ponto de contato da roda dianteira.

4ª parcela: Ação da força centrífuga nas massas não suspensas. Nesta 4ª parcela a força centrífuga irá atuar nas massas não suspensas, que tem por definição como toda a massa veicular que fica entre o solo e as molas de suspensão, como rodas, pneus, discos, manga de eixo e tambores de freio.

- Carga dinâmica nas rodas;

Como foi citado no início deste trabalho, no momento em que o veículo realiza uma curva a carga é transferida da roda interna para a roda externa, de acordo com a situação analisada neste trabalho. Lembrando que a 3ª parcela foi desconsiderada, pois o veículo fórmula SAE Scuderia-UFCG não possui barra estabilizadora. Sendo assim, será o somatório da primeira, segunda e quarta parcelas.

Antes de inserir a transferência total no modelo matemático das forças que os pneus exercerão sobre o solo, vale salientar que o veículo foi considerado simétrico, ou seja, ao fracionarmos o peso total “W” em peso sobre o eixo dianteiro “WI” e peso sobre o eixo traseiro “WII”, acarretará que metade estará na roda interna e a outra metade na roda externa.

Ao realizar uma curva o veículo tende a girar sua carroceria, assim, a roda interna tende a “descolar” do solo e a roda externa tende a ser mais comprimida no solo. Isto ocorre pois, a carga é transferida da roda interna para a roda externa. Portanto, na dianteira, na roda externa a força que os pneus exercerão sobre o solo será a metade do próprio peso dianteiro mais a carga dinâmica de rolagem, por outro lado, na roda interna será subtraído o valor da carga dinâmica de rolagem. De maneira análoga ocorre para as rodas do eixo traseiro, na roda externa acrescenta-se a carga e na interna subtrai-se devido a rolagem.

- Obtenção de dados;

Por motivos de privacidade da equipe os dados numéricos não serão disponibilizados, mas as variáveis estão intimamente ligadas com o modelo proposto. Variáveis cujos valores foram obtidos com a equipe Scuderia-UFCG, para a suspensão dianteira:

Peso total do veículo / Distância do CG ao eixo dianteiro / Distância do CG ao eixo traseiro / Distância entre os eixos dianteiro e traseiro / Deslocamento vertical da suspensão / Distância do ponto de fixação da bandeja superior no chassi ao conjunto mola + amortecedor / Distância do ponto de fixação da bandeja superior até a manga de eixo / Constante de elasticidade da mola / Altura do centro de rolagem dianteiro / Bitola dianteira / Peso das massas não suspensas no eixo dianteiro / Raio dinâmico / Altura do polo dianteiro / Coeficiente de aderência / Ângulo de inclinação da bandeja superior e inferior /  $\overline{AB}$  /  $\overline{FE}$ .

Com toda a parte algébrica concluída, assim como, a obtenção de dados, foi possível realizar análises numéricas e por sua vez gráficos que facilitam o entendimento do comportamento do veículo. Vale salientar que o raio e a velocidade não foram elencados na lista anterior, pois dependem das condições estruturais do circuito e da situação na qual o veículo será submetido, respectivamente.

### Resultados e Discussões

Os resultados obtidos serão mostrados de acordo com cada tipo de circuito e prova.

- Skid Pad

Esta prova analisa o comportamento do veículo ao realizar curvas, ou seja, tem por objetivo analisar se o veículo está preparado para ser submetido, com segurança, ao circuito da competição. O circuito possui o formato do número oito com raio interno 15,25m e raio externo 10,625m.

Para esta prova a velocidade máxima a ser utilizada será 50 km/h (14 m/s), este valor foi usado com base na análise do comportamento do veículo de outras equipes nas edições anteriores da competição pelo Scuderia-UFCG. Por sua vez, o raio utilizado será 9,125 m (raio médio), uma condição ideal na qual o veículo descreverá uma trajetória de raio constante no plano médio da curva. Sendo assim, os resultados obtidos foram, para o eixo dianteiro: A força que o pneu externo exerce sob o solo será de 808,42N, o pneu interno exercerá 479,14N, a força no braço superior da bandeja será de 1095,63N, no braço inferior 1096,17N e a velocidade crítica (velocidade acima da qual a roda interna descolará do solo) foi de 36,97 m/s ou 133,092 km/h.

- Autocross

Para esta prova foi realizada uma análise do autódromo Piracicabano, localizado na cidade de Piracicaba-SP, no que diz respeito a descobrir os raios de cada curva. Com o software AutoCad, foi possível inserir uma imagem aérea do circuito e, assim, obter todos os raios, após ajustar escalas. Foram identificadas 15 curvas e estimativas dos seus respectivos raios, por meio desse método.

Curva 1: R = 12,2 m / Curva 2: R = 10,6 m / Curva 3: R = 16,4 m / Curva 4: R = 14,0 m / Curva 5: R = 8,3 m / Curva 6: R = 8,0 m / Curva 7: R = 7,3 m / Curva 8: R = 8,0 m / Curva 9: R = 9,6 m / Curva 10: R = 22,0 m / Curva 11: R = 10,7 m / Curva 12: R = 9,0 m / Curva 13: R = 8,0 m / Curva 14: R = 7,5 m / Curva 15: R = 10,0 m.

Obtido os raios de cada curva, percebe-se que o menor raio ocorre na curva 7 e o maior na curva 10. Como já foi citado, a transferência de carga é função de vários parâmetros, mas neste ponto do trabalho já possuímos valores para a maioria deles, ficando somente a velocidade e o raio a serem definidos, pois variam para cada situação. Assim, ao admitir o trajeto citado, observou-se uma longa reta que antecede a curva 14, cujo raio diferencia pouco

da curva 7, onde há antes da mesma um trecho de baixa velocidade. Assim, a curva 14 apresentará uma condição mais severa do que a curva 7, no que diz respeito à transferência de carga, devido a possibilidade de obter velocidade maior.

Análise para a curva 14, considerando  $R = 7,5$  m e uma velocidade aproximadamente de 22 m/s (79,2 Km/h), para o eixo dianteiro: A força que o pneu externo exerce sob o solo será de 969,16N, o pneu interno exercerá 318,4N, a força no braço superior da bandeja será de 1313,55N, no braço inferior 1314,13N e a velocidade crítica foi de 33,52 m/s ou 120,67 km/h.

Análise para a curva 10, considerando o raio = 22,0 m e a velocidade de aproximadamente 13 m/s ( 46,8 Km/h): A força que o pneu externo exerce sob o solo será de 756,91N, o pneu interno exercerá 530,66N, a força no braço superior da bandeja será de 1025,87N, no braço inferior 1026,32N e a velocidade crítica foi de 57,41 m/s ou 206,67 km/h.

### Conclusões

Com o desenvolvimento do trabalho foi possível analisar como ocorre a transferência de carga da roda interna para a externa, para cada eixo, assim, avaliando a influência das diversas variáveis envolvidas, principalmente o raio da curva em questão e a velocidade desenvolvida.

A partir da análise e considerações feitas, foi possível obter resultados numéricos e gráficos para a prova Skid Pad, assim como, para o autocross, para esta foi utilizado o software AutoCad para que fosse possível descobrir a velocidade crítica, ou seja, a velocidade na qual a roda interna tenderá a descolar do solo ( $N=0$ ), assim, evidenciando a situação inicial de uma possível capotagem, pois todos os esforços serão transferidos para a roda externa. Os resultados obtidos permitiram a observação de situações específicas de curva. Com as ideias que foram apresentadas, a equipe Scuderia-UFCG pode utilizar os dados para reavaliar o projeto da suspensão, se necessário, assim, acarretando que irão obter um veículo com melhor desempenho e segurança.

**Palavras-Chave:** Suspensão, Duplo-A, esforços, variação de carga

### Referências

COSTA, J. A. **Estudo da Rigidez Torcional do Quadro de um Fórmula SAE por Análise de Elementos Finitos**. 2012. 57f. Monografia (Especialização em Engenharia Automotiva) - Centro Universitário do Instituto Mauá de Tecnologia, São Caetano do Sul, Brasil, 2012, p. 20-25.

ERICSSON, L. G. S. **Estudo da Influência da Rigidez do Quadro na Dirigibilidade de um Veículo de Competição Fórmula SAE em um Ambiente Multicorpos**. 2008. 136f. Dissertação de Mestrado - Universidade de São Paulo, São Carlos, 2008, p. 24-35.

LEAL, L. C. M.; ROSA, E.; NICOLAZZI, L. C. **Uma Introdução à Modelagem Quase-Estática de Veículos Automotores de Rodas**. 2001. 254f. Departamento de Engenharia Mecânica, UFSC, Florianópolis, 2001, p. 218-235.

HOELTGEBAUM, T. **Análise de Dinâmica Longitudinal em um Veículo de Fórmula SAE Elétrico**. 2013. 64f. Trabalho de conclusão de curso - Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2013, p. 18-36.

TORRES, R. N. **Contribuição para o Desenvolvimento de uma Suspensão Aplicada a um Veículo Fórmula SAE**. 2011.158f. Projeto de graduação - Departamento de Engenharia Mecânica, UNB, Brasília, 2011, p. 6-22.

(83) 3322.3222

contato@conapesc.com.br

[www.conapesc.com.br](http://www.conapesc.com.br)