

CONEM 2016
CONGRESSO NACIONAL DE
ENGENHARIA MECÂNICA

21-25
AGOSTO DE 2016
FORTALEZA - CEARÁ

APLICAÇÃO DE UM MÉTODO ESTATÍSTICO PARA O CÁLCULO DO ANTI-DIVE A PARTIR DOS VALORES CAMBER, CASTER E TOE

Guilherme Vinicius Smaniotto Bernardi, guivinicius@unochapecp.edu.br¹

Márcio Antônio Fiori, fiori@unochapeco.edu.br²

André Luiz Grando Santos, andreluizgrando@unochapeco.edu.br³

¹Universidade Comunitária da Região de Chapecó, Av. Senador Atilio Fontana, 591-E, Efapi, CEP: 89809-000.

Resumo: O processo de cálculo de alguns parâmetros da suspensão de um veículo é muito complicado e em certos momentos é difícil decidir qual parâmetro deve ser alterado para melhorar seu desempenho. Neste trabalho foi aplicado um método matemático estatístico para facilitar a definição dos valores do Anti-dive, que é um dos parâmetros que mais influencia na suspensão dianteira e é calculado sem muita exatidão. Foi empregado o método planejamento experimental fatorial completo do tipo estrela, com o objetivo de se obter equações que correlacionem os valores de camber, caster e toe com os valores do Anti-dive.

Palavras-chave: Cálculo de Anti-dive, Cálculo do Anti-dive por método estatístico, Cálculo de camber, Cálculo de caster e Cálculo de toe.

1 INTRODUÇÃO

A suspensão é um dos sistemas mais importantes de um veículo por garantir o conforto, a dirigibilidade e a estabilidade do conjunto. Há diversos tipos de suspensão, dependendo do tipo e do conceito do veículo. A suspensão do tipo duplo A Rockwell é usada em carros do tipo Fórmula, presentes nos veículos fórmula 1 e fórmula SAE, que são utilizados para disputas de conhecimento e de melhor desempenho, por exemplo.

O dimensionamento e o projeto da suspensão são etapas muito importantes no planejamento de um veículo. Muitos parâmetros são relevantes nessa etapa para definir as particularidades do projeto. Uma informação extremamente importante é a definição do *Anti-dive* a partir dos ângulos de camber, de caster e de toe. O *Anti-dive* é significativo porque a partir dos seus valores é definida a porcentagem de força de reação contra o mergulho do carro, sofrido pela parte frontal durante a ação de frenagem.

O ângulo camber é o ângulo que influencia na inclinação do pneu a partir da vista frontal do veículo. O caster influencia na dirigibilidade do carro e é definido na manga do eixo. Já o toe é o ângulo de inclinação do conjunto roda/pneu em relação à vista superior do carro.

O cálculo do *Anti-dive* a partir dos valores de camber, caster e toe é realizado geralmente com o auxílio de um software denominado *Lotus suspension analisys*. A aplicação do *Lotus* é normalmente uma operação muito trabalhosa e delicada, porém importante no projeto.

Porém, em certas situações de dimensionamento, são necessárias soluções práticas e rápidas, e nem sempre é possível acessar softwares de simulações para decidir com exatidão. Nesse sentido, surge a necessidade de calcular esses ângulos de forma prática e que sejam de fácil edição para o cálculo do *Anti-dive*, que é um dos parâmetros mais importantes da suspensão.

O método empregado, bem como o modelo obtido neste trabalho, é avaliado em comparação com os resultados obtidos com o software *Lotus Suspension Analisis (Lotus)*. O trabalho tem como objetivo avaliar e validar a eficiência do método sem a pretensão de substituir o *Lotus*, mas de ser aplicado como uma ferramenta versátil que auxilie no cálculo de *Anti-dive* em situações de impossibilidade do uso do *Lotus* ou até mesmo em situações que não exigem exatidão.

2 SUSPENSÃO DUPLO A

A suspensão duplo A é geralmente empregada em carros de alta performance, como nos supercarros, hipercarros e nos fórmulas 1. A sua principal característica é a alta precisão de seus ângulos e parâmetro de desenvolvimento, que permitem melhor controle do veículo em percursos curvilíneos e retilíneos, além de agregar grande eficiência de direção.

Sua estrutura é definida por duas barras estabilizadoras, superior e inferior, um conjunto *Rockwell*, um balancim, tirante e amortecedor/ mola, o braço de direção, a manga de eixo e o cubo de roda presentes no conjunto roda/pneu. O conjunto *Rockwell* é mais usado em carros do tipo fórmula nas duas variações de *Pull Rod* (puxar haste) e *Push Rod* (empurrar haste) Fig. 1.

Dentre esses parâmetros e ângulos encontram-se o *camber*, o *caster*, o *toe* e o *Anti-dive*, sendo os ângulos de inclinação do conjunto roda/pneu e manga de eixo e o *Anti-dive* um dos efeitos ‘anti’ gerados pela suspensão na reação a uma força, nesse caso de frenagem na suspensão dianteira. (Torres, 2011).

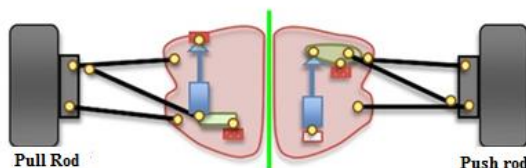


Figura 1. Geometria de suspensão duplo A do estilo Pull Rod (puxar haste) e Push Rod (empurrar haste)

2.1 *Anti-dive*

O parâmetro *Anti-dive* é da suspensão dianteira e está relacionado com o efeito de anti-mergulho que ocorre durante a ação de uma frenagem. A condição adequada desse parâmetro garante o não mergulho da dianteira do veículo. Para isso, o valor de *Anti-dive* deve estar entre 40% e 60%, de modo a não sobrecarregar os braços da suspensão e otimizar a reação da mola perante esse efeito. (Miliken *et al.*, 1995).

2.2 Ângulo caster

O ângulo de *caster* define a rigidez da direção, o combate às forças laterais na curva e torna o comportamento do pneu mais retilíneo ao longo do percurso. É definido na manga de eixo da suspensão e na vista lateral do carro, Fig. 2(a). Quando a inclinação do *caster* estiver para a traseira do carro, o ângulo é considerado positivo; o inverso é negativo. (Fernandes, 2005).

2.3 Ângulo *camber*

O ângulo *camber* é o ângulo de inclinação do conjunto roda/pneu em relação à vista frontal, como representado na Fig. 2(b). Se a parte superior da roda possui uma inclinação na direção do chassi, o ângulo é negativo, já em sentido oposto, o ângulo é positivo. Esse ângulo influencia no desempenho do veículo, principalmente durante a realização de curvas. É o parâmetro responsável pelo contato do pneu com o solo em curvas. O valor do ângulo muito alto provocará intensa instabilidade do veículo em trajetos retilíneos. Quando o carro entra em curva, a rolagem no chassi faz com que a roda incline na direção oposta à curva, aumentando o ângulo de *camber* positivo e reduzindo o contato do pneu, o que gera grande instabilidade no veículo. (Miliken *et al.*, 1995).

2.4 Ângulo *toe* ou divergente e convergente

O ângulo *toe* define a inclinação da roda em relação à vista superior em relação a horizontal da suspensão, como mostrado na Fig. 2 (C). Esse ângulo define a estabilidade da direção do veículo nas curvas, sendo que a sua variação deve ser pequena para não favorecer a instabilidade da direção. O ângulo *toe* também interfere na posição da caixa de direção e do braço da direção na suspensão dianteira e da barra estabilizadora na suspensão traseira. (Miliken *et al.*, 1995).

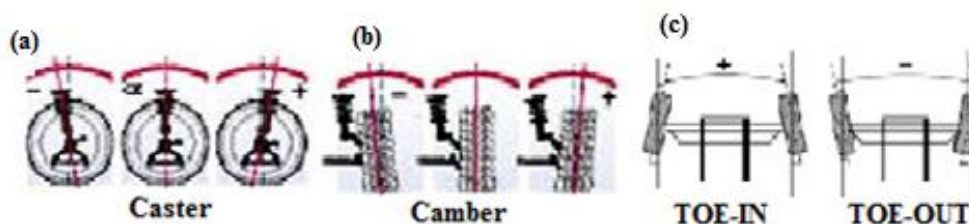


Figura 2. Ângulos caster (a), ângulos camber (b) e ângulos toe e suas derivações de acordo com a posição do pneu(c), elaborado pelo autor.

3 EXPERIMENTAL FATORIAL 2^k

O experimento fatorial 2^k é considerado um dos mais importantes planejamentos de experimentos e permite tratamentos e análises estatísticas importantes, como a avaliação do efeito dos fatores e das suas interações. Os níveis estabelecidos para os fatores de interesse podem ser quantificados de acordo com o experimento, com tipo, tempo e velocidade, ou qualitativos. (Montgomery *et al.*, 2004).

Em particular, neste trabalho, foi empregado o planejamento experimental fatorial 2^3 estrela, também conhecido como experimental fatorial completo estrela ou experimental fatorial completo estrela composto geral.

3.1 Planejamento fatorial completo estrela

O experimental fatorial completo estrela é aplicado para avaliar o efeito conjunto de três fatores em uma resposta. É representado como 2^3 e possui 6 condições experimentais distribuídas na forma de estrela, constituindo um total de 16 experimentos. Para o estudo do efeito dos fatores na resposta, o método prevê uma sequência de operações elementares de análises estatísticas, conforme a sequência demonstrada na Figura 3. (Montgomery *et al.*, 2004).

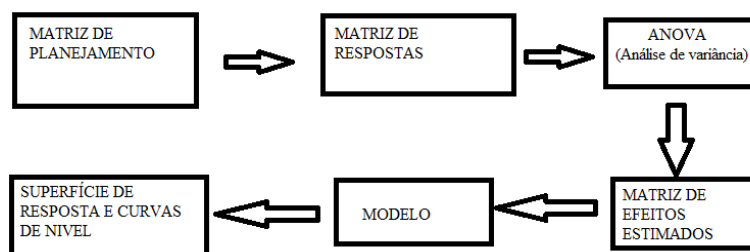


Figura 3. Sequência de operações fundamentais na análise estatística das respostas em função dos fatores em um planejamento experimento fatorial, elaborado pelo autor.

4 MÉTODO

Desde o desenvolvimento da suspensão, os valores de *Anti-dive* são parâmetros de extrema importância. Com o avanço das tecnologias esses cálculos são realizados com o auxílio de *softwares* de dinâmica veicular, como o *Lotus suspension analysis* (Lotus). No Lotus são desenvolvidos os sete parâmetros importantes para o cálculo do *Anti-dive* que definem o comportamento ao longo do curso da suspensão, bem como a transferência de carga que deve suportar na frenagem do carro.

Como método alternativo, neste trabalho foi elaborado um método estatístico empregando um modelo de correlação linear, obtido a partir do planejamento experimental fatorial estrela. O método estatístico foi implementado e validado com os resultados obtidos com o Lotus de *Anti-dive*, com a aplicação de diferentes ângulos de camber, caster e de toe.

4.1 Aplicação do planejamento experimental fatorial estrela

Para a aplicação do planejamento experimental foram estabelecidos valores para os limites inferior e superior de cada fator de interesse. Para o camber (CB) foi estabelecido como limite inferior o valor -10 e como limite superior o valor +10. Para o caster (CT) foi estabelecido como limite inferior o valor -5 e superior o valor +5. Para os respectivos valores de toe os valores de -10 e de +10.

Os valores para os limites inferior e superior de cada fator foram estabelecidos adotando os seguintes critérios: (i) valores fora do limite estabelecido para o camber geram instabilidade do pneu, pois a área de contato com o solo é muito pequena; (ii) valores fora do limite para o caster geram perdas da eficiência do ângulo durante o percurso do pneu nas curvas e maior instabilidade na direção, gerando péssima dirigibilidade e (iii) valores fora do limite de toe

provocam grande desgaste de pneu em curvas, prejudicam a entrada da roda nas curvas, além de reduzirem o ângulo de Ackerman (amplitude do arco de roda).

Com os limites estabelecidos para cada fator e empregando a metodologia de planejamento experimental foi possível obter as condições experimentais, representadas na matriz de planejamento na Tab. 1. Foram obtidas 16 condições experimentais.

Para cada condição experimental foi aplicado o *software Lotus* para o cálculo do *Anti-dive*. Nessas condições não foram ajustados os demais parâmetros previstos pelo *Lotus*, de modo a se obter respostas considerando apenas o efeito dos três fatores de interesse. As respostas obtidas foram comparadas entre si empregando a análise de variância (ANOVA), com vistas a avaliar a significância estatística das respectivas variações entre os valores de *Anti-dive*.

Tabela 1. Matriz de planejamento

Experimentos	Camber (Grau)	Caster (Grau)	Toe (Grau)
1	-10	-5	-10
2	-10	-5	10
3	-10	5	-10
4	-10	5	10
5	10	-5	-10
6	10	-5	10
7	10	5	-10
8	10	5	10
9	-5	0	0
10	5	0	0
11	0	-2,5	0
12	0	2,5	0
13	0	0	-5
14	0	0	5
15	0	0	0
16	0	0	0

A partir das análises estatísticas foi obtido um modelo estatístico correlacionando o *Anti-dive* com os fatores caster, camber e toe. A eficiência desse modelo foi obtida a partir da comparação com os valores obtidos com o *Lotus* para condições de ângulos aleatórias. Essa etapa permitiu a validação do modelo estatístico em relação ao modelo classicamente empregado (*Lotus*). Para a validação foram realizados 20 testes de comparação entre os valores de *Anti-dive* obtidos com a equação do modelo estatístico e com o modelo *Lotus*. Da mesma forma, foi obtido o erro e a eficiência do modelo estatístico.

Após essas etapas, foi demonstrada uma aplicação do modelo obtido, com a intenção de prevenir futuras dúvidas de seu uso e benefício na hora de projetar uma geometria de suspensão, na qual se seleciona os ângulos de camber, caster e toe através do modelo, depois se observa com ajuda do *Lotus* seu comportamento dinâmico ao longo do curso de movimento da suspensão.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A Tabela 2 mostra a matriz de respostas obtidas para os valores de *Anti-dive* associados com os valores de ângulos camber, caster e toe. Os valores de *Anti-dive* foram obtidos com a aplicação do *software Lotus suspension analysis*.

Os resultados indicam que alguns ângulos não apresentam grande influência nos valores do *Anti-dive*. Já o valor de camber gera grandes variações do *Anti-dive*. Porém, os valores de ângulo de caster e de toe geram menores efeitos nos valores de *Anti-dive*. A matriz de resposta indica uma provável dependência do *Anti-dive* com os valores de ângulos de toe e de caster.

A análise de variância para os valores de *Anti-dive*, obtidos para cada condição experimental, é apresentada na Tab. 3 e a respectiva matriz de efeitos estimados na Tab. 4. Com o limite de confiabilidade de 99% ($p < 0,01$) é possível afirmar que apenas os valores de camber (CB) e suas interações são estatisticamente significativos para a determinação dos valores de *Anti-dive*. O camber é um fator que tem um efeito linear e negativo nos valores de *Anti-dive*, porém os seus efeitos são influenciados pelos valores de caster e toe. A dependência dos valores de camber com os valores de caster e toe (interações) gera um efeito positivo para os valores de *Anti-dive*.

Os resultados indicam que o maior efeito no *Anti-dive* ocorre com os menores valores de ângulo do camber. O ângulo de camber tem efeito negativo, sendo assim, se os valores de camber forem aumentados os valores de *Anti-dive* serão diminuídos, ou seja, os valores de *Anti-dive* são inversamente proporcionais aos valores de camber.

Embora as contribuições sejam menores, a interação do caster com o camber e do toe com camber geram efeitos positivos. Fisicamente esses efeitos demonstram que as variações do camber podem ser influenciadas pelo ajuste dos ângulos de caster e de toe, mas geram pequenos efeitos positivos.

Tabela 2. Matriz de respostas associando os valores de *Anti-dive* com os valores de ângulos de camber, caster e de toe, determinados com o software *Lotus suspension analysis*.

Experimentos	Camber (Grau)	Caster (Grau)	Toe (Grau)	<i>Anti-dive</i> (%)
1	-10	-5	-10	46,06
2	-10	-5	10	45,76
3	-10	5	-10	45,51
4	-10	5	10	45,21
5	10	-5	-10	41,24
6	10	-5	10	41,5
7	10	5	-10	41,24
8	10	5	10	41,97
9	-5	0	0	44,61
10	5	0	0	42,78
11	0	-2,5	0	43,52
12	0	2,5	0	43,74
13	0	0	-5	43,68
14	0	0	5	43,68
15	0	0	0	43,68
16	0	0	0	43,68

Tabela 3. ANOVA para os valores de *Anti-dive* apresentados na Tab. 2 – R² = 0,997

Fatores	SS	df	MS	F	P
CB(L)	36,05000	1	36,05000	2191,567	0,000000
CB(Q)	0,00085	1	0,00085	0,052	0,827713
CT(L)	0,03181	1	0,03181	1,934	0,213717
CT(Q)	0,00690	1	0,00690	0,420	0,541039
Toe(L)	0,01789	1	0,01789	1,088	0,337143
Toe(Q)	0,00001	1	0,00001	0,001	0,980591
1L by 2L	0,30811	1	0,30811	18,731	0,004940
1L by 3L	0,31601	1	0,31601	19,211	0,004653
2L by 3L	0,02761	1	0,02761	1,679	0,242716
Error	0,09870	6	0,01645		
Total SS	36,90337	15			

SS: somas de quadrados; df: graus de liberdade; Ms: Quadrados médios; F: teste F; P: probabilidade de Ho; CB: Ângulo do camber; CT: ângulo do caster; Toe: ângulo do toe; 1L by 2L: interação linear camber com caster; 1L by 3L: interação linear camber e toe; 2L by 3L: interação linear caster e toe; (L): contribuição linear; (Q): contribuição quadrática.

Tabela 4. Matriz de efeitos obtida para os experimentos apresentados na Tab. 2.

Fator	Efeito	Std. Err	t(6)	p	(-99) % Cnf.Limt	(+99%) Cnf.Limt	Coeff.	Std. Err. Coeff
Mean/Interc	43,67862	0,048422	902,0369	0,000000	43,49910	43,85814	43,67862	0,048422
CB (L)	-2,05941	0,043991	-46,8142	0,000000	-2,22251	-1,89632	-1,02971	0,021996
CB (Q)	0,03377	0,148533	0,2273	0,827713	-0,51691	0,58444	0,01688	0,074267
CT (L)	-0,06118	0,043991	-1,3907	0,213717	-0,22427	0,10192	-0,03059	0,021996
CT (Q)	-0,09623	0,148533	-0,6479	0,541039	-0,64691	0,45444	-0,04812	0,074267
Toe (L)	0,04588	0,043991	1,0430	0,337143	-0,11721	0,20898	0,02294	0,021996
Toe (Q)	0,00377	0,148533	0,0254	0,980591	-0,54691	0,55444	0,00188	0,074267
1L by 2L	0,09812	0,022673	4,3279	0,004940	0,01407	0,18218	0,04906	0,011336
1L by 3L	0,09937	0,022673	4,3831	0,004653	0,01532	0,18343	0,04969	0,011336
2L by 3L	0,02938	0,022673	1,2956	0,242716	-0,05468	0,11343	0,01469	0,011336

Std. Err: Estimativa de erro; t: teste t; P: probabilidade de Ho; Cnf. Limt: confiabilidade limite; Coeff: Coeficiente; Std. Err. Coeff: estimativa de erro do coeficiente; CB: Ângulo do camber; CT: ângulo do caster; Toe: ângulo do toe; 1L by 2L: interação linear camber com caster; 1L by 3L: interação linear camber e toe; 2L by 3L: interação linear caster e toe; (L): contribuição linear; (Q): contribuição quadrática.

A partir da matriz de efeitos estimados é possível estabelecer uma equação de correlação linear entre o *Anti-dive* e os fatores camber, caster e toe. Os resultados na Tab. 4 indicam que os valores de camber (contribuição linear), a

interação de camber e caster (contribuição linear) e a interação de camber e toe (contribuição linear) têm efeitos significativos no *Anti-dive*, nos intervalos de ângulos estudados. Assim, é possível definir os coeficientes da equação de correlação linear entre esses fatores estatisticamente significativos, sendo o coeficiente de termo independente $\beta_0 = 43,68$, o coeficiente do camber (contribuição linear) $\beta_1 = -1,03$, o coeficiente da interação de camber e caster (contribuição linear) $\beta_7 = 0,05$ e o coeficiente da interação de camber e toe (contribuição linear) $\beta_8 = 0,05$.

A equação de correlação linear pode ser escrita da seguinte forma Eq. (1).

$$AD(cb, ct, toe) = (43,68 \pm 0,05) + (-1,03 \pm 0,02) * X_{CB} + (0,05 \pm 0,02) * X_{CB} * X_{CT} + (0,05 \pm 0,02) * X_{CB} * X_{TOE}$$

Onde:

X_{CB} : Valores do ângulo camber

X_{CT} : Valores do ângulo caster

X_{TOE} : Valores do ângulo toe

Esse modelo correlaciona os valores de *Anti-dive* com os ângulos camber, caster e toe para o intervalo de ângulos especificado na Tab. 1. A partir desse modelo é possível prever, com relativa simplicidade, os valores de *Anti-dive* considerando apenas os valores de camber, caster e toe. Na teoria é sabido que outros parâmetros do projeto influenciam nos valores de *Anti-dive*, porém em situações práticas é possível prever com precisão de no mínimo 99% os valores de *Anti-dive* apenas com os ângulos considerados.

A Figura 4 mostra a relação entre os valores de *Anti-dive* determinados pelo *software Lotus* e os valores determinados pelo modelo de correlação linear, considerando apenas os efeitos dos ângulos de camber, caster e toe. O resultado mostra excelente ajuste do modelo, com coeficiente de correlação (R^2) de 0,997. Os valores preditos pelo modelo são muito próximos dos valores determinados pelo *software Lotus* e com pequenos valores de resíduos. É possível, assim, considerar o modelo como sendo muito bom para a predição dos valores de *Anti-dive* quando considerados apenas os efeitos de camber, caster e toe.

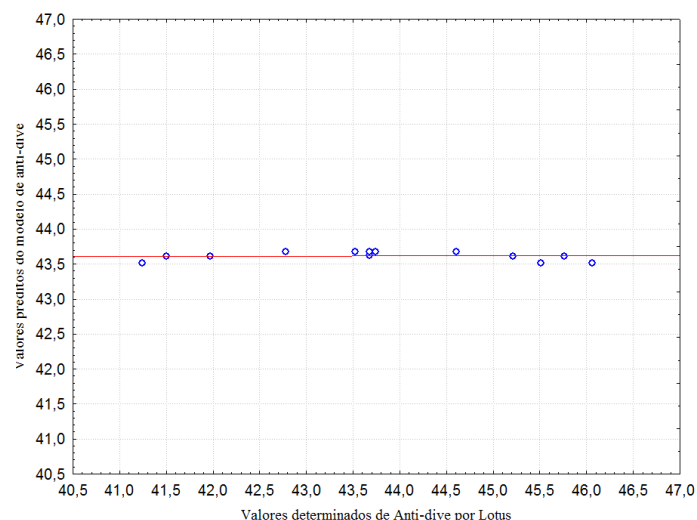


Figura 4. Relação entre os valores de *Anti-dive* determinados pelo *software Lotus* e os valores determinados pelo modelo de correlação linear, considerando apenas os efeitos dos ângulos de camber, caster e toe.

O caster e o toe não possuem grande influência sobre o valor de *Anti-dive*, pois estes ângulos não interferem na área de contato do pneu com o solo, sendo assim não interferem no ângulo *pitch*, que é utilizado para calcular o *Anti-dive*, mas interferem no comportamento de outros parâmetros que definem o desempenho do *Anti-dive*.

Já o valor de camber, quando os demais ângulos forem zero, gera grandes variações do *Anti-dive*, pois possui grande interferência na área de contato do pneu com o solo.

Com a obtenção do modelo estatístico apresentado na Eq. (1) é possível realizar análises gráficas para o comportamento do *Anti-dive*, demonstradas nas Fig. 5(a), 5(b) e 6(a), 6(b). Na superfície de resposta apresentada na Fig. 5 o ângulo do toe é mantido igual a 5° e apenas o camber e o caster são variados. Na Fig. 6, o ângulo caster é mantido constante no valor de 2,5°, enquanto o camber e o toe são variados.

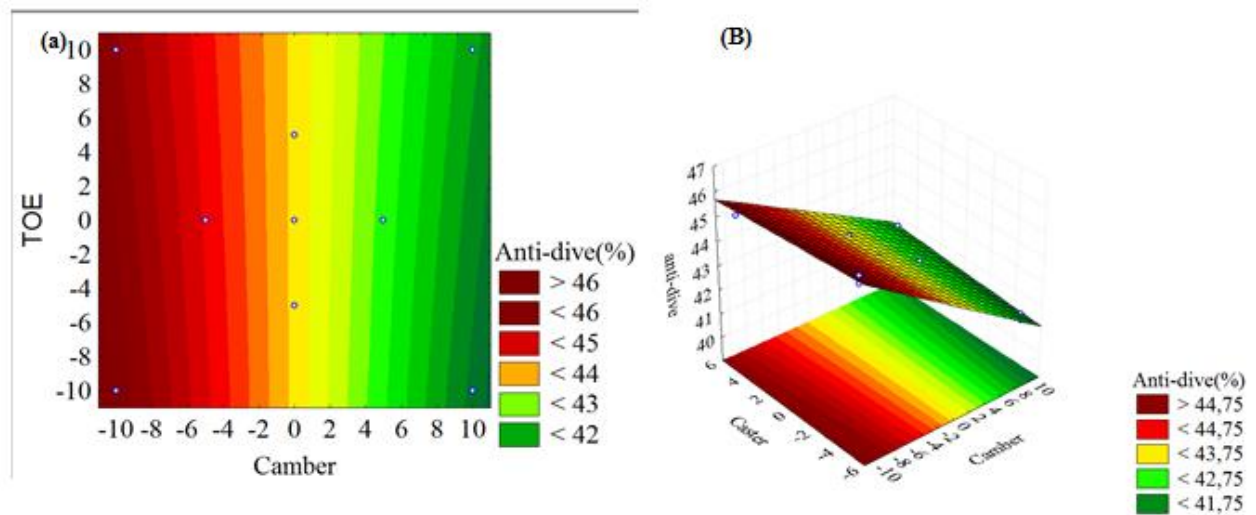


Figura 5. (a) Curva de nível e (b) superfície de resposta para o modelo de correlação considerando o valor de ângulo toe de 5°

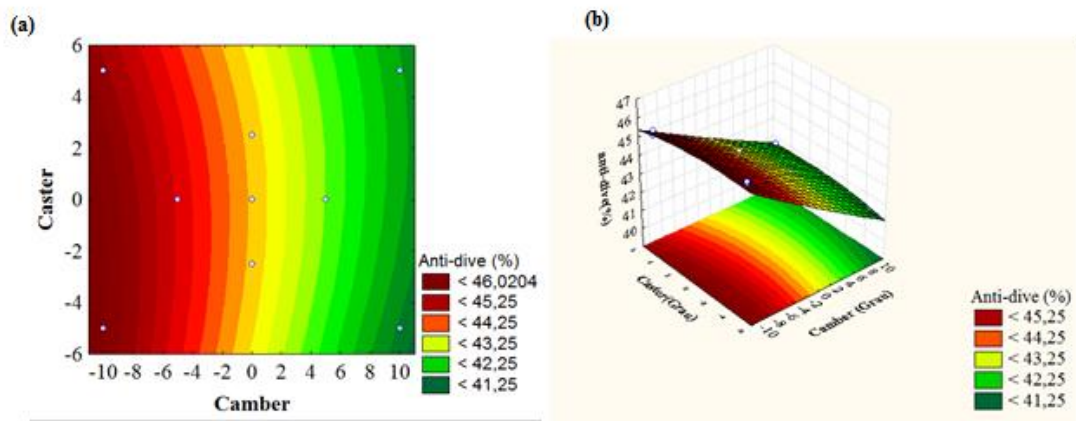


Figura 6. (a) Curva de nível e (b) superfície de resposta para o modelo de correlação considerando o valor de ângulo caster de 2,5°

5.1 Validação do modelo

Na Fig. 7 é apresentada a comparação entre valores de *Anti-dive* calculados com a completa metodologia do *Lotus suspension analisys* e os valores calculados a partir do modelo estatístico obtido neste trabalho. Na Figura 8 é apresentado o erro relativo entre os dois experimentos.

Os resultados indicam pequenas variações entre os valores, conforme já esperado. O modelo estatístico obtido considera apenas o efeito do camber, caster e do toe nos valores do *Anti-dive*, enquanto a metodologia do *Lotus* é completa. Porém, os erros médios encontrados são da ordem de 10%, o que pode ser considerado um erro relativamente pequeno considerando o ganho de simplicidade para o cálculo do *Anti-dive* empregando o método estatístico simplificado.

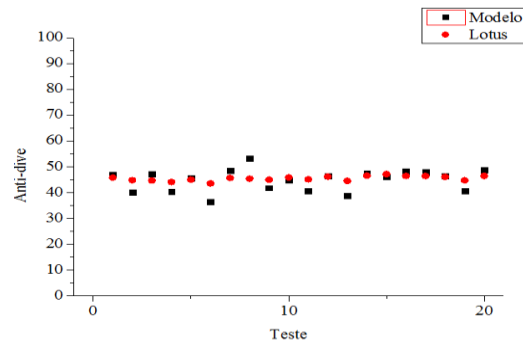


Figura 7. Gráfico de comparação do método com o *Lotus* demonstrando a margem de aproximação das respostas obtidas pelo modelo em relação às repostas do *Lotus*.

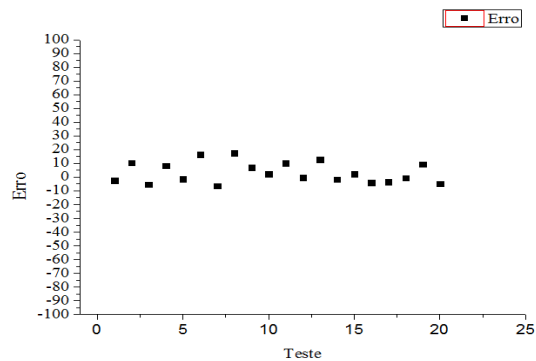


Figura 8. Intervalo do percentual de erro encontrado a partir da análise do percentual de erros encontrados na comparação das repostas do modelo em relação às respostas do *Lotus*.

5.2 Aplicação do modelo

Com o modelo presente neste trabalho se desenvolveu um exemplo de aplicação numa situação, para demonstrar seu uso e benefício ao ser utilizado. Para isso, foram escolhidos valores para os três ângulos usados neste trabalho, sendo o valor do *camber* -4, o do *caster* 2,2 e o do *toe* 1.

Com a escolha desses valores, que foram aplicados na Eq. (1), obteve-se um valor de *Anti-dive* para o ponto estatístico de uma suspensão (onde não há variação de movimento), com isso foi utilizado o *software Lotus* para a observação do comportamento dinâmico do valor de *Anti-dive* obtido com a variação dos ângulos no curso de uma suspensão, definido por 26 mm de avanço e -26 mm de retorno. O comportamento dos ângulos e do *Anti-dive* no curso de suspensão escolhido está demonstrado nas Fig. 9, 10 e 11.

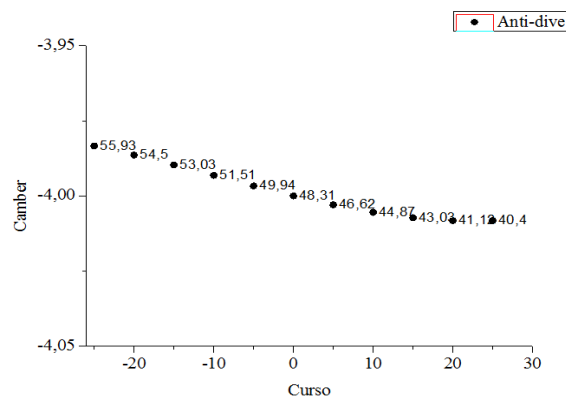


Figura 9. Gráfico do comportamento do *Anti-dive* em função do *camber* retirado do *software Lotus*.

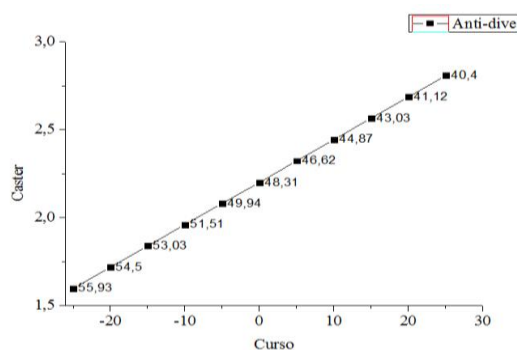


Figura 10. Gráfico do comportamento do *Anti-dive* em função do caster retirado do Lotus.

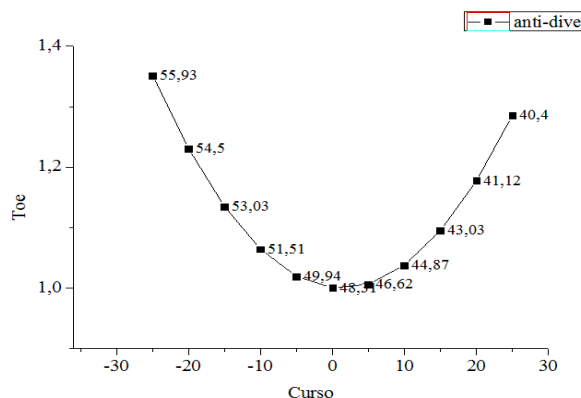


Figura 11. Gráfico do comportamento do *Anti-dive* em função do toe retirado do Lotus.

Após a aplicação, observa-se que o modelo se torna uma ferramenta que facilita o cálculo do *Anti-dive*, pois fornece os ângulos que permitiram o *Anti-dive* permanecer nos valores de 40% a 60% durante todo o curso da suspensão.

6 CONCLUSÃO

Conclui-se que o modelo desenvolvido é útil para o cálculo e dimensionamento dos pontos da suspensão no cálculo de *Anti-dive*. A sua aplicação facilita a escolha dos ângulos para a organização da suspensão e do seu desempenho. Também, proporciona maior confiabilidade sobre os valores dos ângulos escolhidos de camber, caster e toe.

É possível concluir que o modelo atende as aplicações básicas de auxílio no cálculo do *Anti-dive* antes do uso do software Lotus.

Apesar de já existirem programas comerciais, a utilização desse modelo não se torna dispensável. O método apresenta algumas vantagens, principalmente do ponto de vista econômico, já que tem baixo custo computacional e dispensa a obtenção de licença, o que torna seu uso indicado para equipes de projetos acadêmicos como o Baja SAE e o Fórmula SAE.

O modelo apresentado beneficia seu usuário com valores de *Anti-dive* dentro do limite exigido, com rapidez e facilidade, através dos ângulos camber, caster e toe que possuem alteração num simples ajuste de porcas e parafusos.

7 REFERÊNCIAS

- Fernandes, M.A., 2005, “Estudo em Sistema de Direção Veicular”, Dissertação de Mestrado, Universidade de São Paulo, São Paulo, Brasil.
- Miliken, W.F. e Miliken D., 1995, “Race Car Vehicle Dynamics”, SAE International, Warrendale, PA, EUA.
- Montgomery, D.C. e Runger, G.C., 2004, “Estatística Aplicada à Engenharia”, 2. ed. Rio de Janeiro, Brasil.
- Torres, R.N., 2011, “Contribuição para o Desenvolvimento de uma Suspensão Aplicada a um Veículo de Fórmula SAE”, Projeto de Graduação em Engenharia Mecânica, Universidade de Brasília, Brasília, Brasil.

8 DIREITOS AUTORAIS

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo do material impresso incluídos no seu trabalho.

APPLICATION OF A METHOD ESTATISTICAL FOR THE CALCULUS OF ANTI-DIVE FROM THE VALUES CAMBER, CASTOR AND TOE

Guilherme Vinicius Smaniotto Bernardi, guivinicius@unocahecp.edu.br¹

Marcio Antônio Fiori, fiori@unochapeco.edu.br

André Luiz Grando Santos, andreluizgrando@unochapeco.edu.br

¹Universidade Comunitária da Região de Chapeco, Av. Senador Attílio Fontana 591-E, Efapi, CEP: 89809-000

Abstract. *The suspension of a vehicle has a process of calculus of some his parameters very complicated and uncertain moments it is difficult to decide which debit to be altered to improve this performance. In this work statistical mathematical method was applied to make easy the definition of the values of the Anti-dive, which is one of the parameters that more influence the front suspension and is calculated without much exactness. The method was employed and experimental projection complete factorial of the type stars, like the objective to there is obtained equation that correlate the values of camber, castor and toe with the values of the Anti-dive.*

Keywords: *Calculation of Anti-dive, Calculation of the Anti-dive for statistical method, Calculation of camber, Calculation castor and calculation toe.*