

PROJETO DE UMA SUSPENSÃO VEICULAR COM CONTROLE DE CAMBAGEM E AMORTECIMENTO.

Renan Destéfani Monteiro
renand.monteiro@hotmail.com

Orientador: Prof. Dr. Marcelo Augusto Leal Alves
malalves@usp.br

Resumo: O presente trabalho tem como objetivo projetar e modelar uma suspensão integrada à roda, com controle de cambagem e de amortecimento. Este trabalho é uma parte de outras duas conclusões de curso para projetar um novo conceito em veículo. Baseado no eCorner, o novo conceito integra ao conjunto de rodas, motor elétrico, freio, direção e suspensão. Além do projeto da nova suspensão, que envolve o estudo de todos os seus parâmetros cinemáticos, este trabalho busca também aplicar uma lei controle capaz de melhorar o desempenho do veículo em dirigibilidade, conforto e segurança, atuando sobre o amortecimento e sobre o ângulo de cambagem.

Palavras chave: suspensão ativa, amortecedor ativo, autonomous corner modules, eCorner.

1. Introdução

Conforto, dirigibilidade e segurança são características conflitantes de um veículo. No projeto de suspensões passivas busca-se uma relação de compromisso entre estas. Mas quando comparado com suspensões ativas é notável alguma melhora no desempenho desses 3 objetivos. Inspirado no novo conceito eCorner, este trabalho tenta integrar a suspensão do veículo à roda, dimensionando e analisando seus parâmetros, e projetar algum controle capaz de otimizar um ou mais dos 3 objetivos citados.

2. Modelo com Atuador

O modelo aparenta ser um modelo duplo A, mas possui características diferentes, como a posição das molas e os graus de liberdade das bandejas. A bandeja inferior é fixa e a bandeja superior é de tamanho variável, onde está o atuador que fará a variação de cambagem. As molas se integram ao conjunto de rodas. O modelo foi construído em sistema multicorpos utilizando o Software MSC/Adams. Nesse modelo, com a geometria da suspensão, será possível estudar todos os seus parâmetros e aplicar funções de controle no atuador verificando o seu funcionamento.

O eixo onde as molas trabalham é o próprio “kingpin”, onde está instalado o sistema direção. Para que as molas trabalhem em paralelo, a mola inferior deve ser de compressão e a mola superior de tração. A mola superior não foi utilizada, ao invés disso, a mola inferior teve seu curso aumentado.

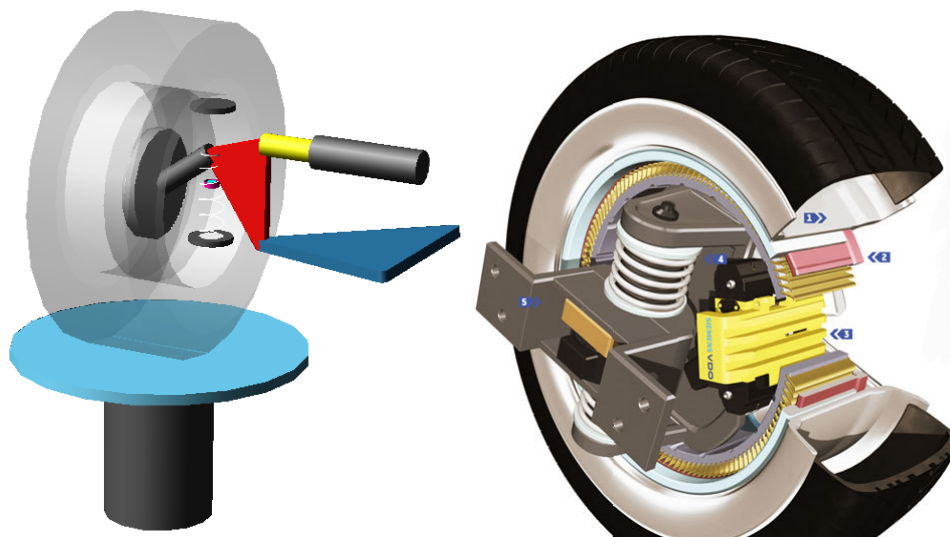


Figura 1. Modelo com atuador e modelo do eCorner da Siemens VDO.

3. Modelo ¼ de veículo

Um modelo massa mola com dois graus de liberdade foi construído no software Matlab/Simulink, que representa ¼ do veículo. Nesse modelo foi aplicado o controle do amortecimento utilizando o conceito do Sky Hook Damper.

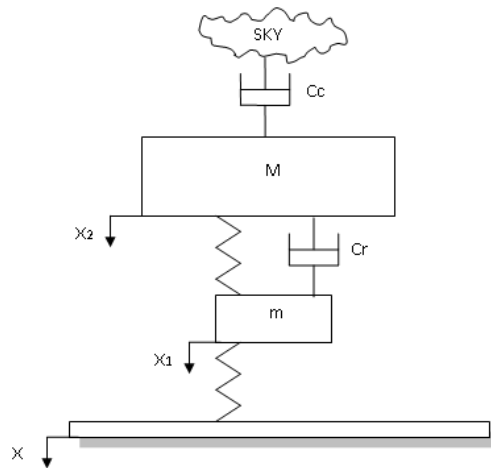


Figura 2. Modelo de 1/4 de veículo com o conceito do Sky Hook Damper.

O controle Sky Hook utiliza as velocidades da carroceria e da roda, aplicando ganhos proporcionais. Esse controle aparentemente é muito limitado, mas seu conceito é muito forte, tornando o controle muito eficiente.

Dessa Forma é possível obter um coeficiente de amortecimento “ideal” para cada massa, mas com um único amortecedor atuando entre a roda e a carroceria, sendo a força no amortecedor da seguinte forma:

$$F_a = (\dot{x}_1 - \dot{x}_2) \cdot C_r - \dot{x}_2 \cdot C_c \quad 3.1$$

4. Controle da cambagem

O ângulo de cambagem pode aparecer de duas formas, a primeira é devido ao deslocamento das rodas, isto é, determinado pela cinemática do mecanismo da suspensão durante seu curso. A segunda é quando o veículo está realizando uma curva que, devido à aceleração lateral, causa uma inclinação da carroceria, fazendo com que as rodas inclinem também. Dessa forma foi construído um controle proporcional que leva em consideração esses dois fatores, como pode ser visto na Fig. (3).

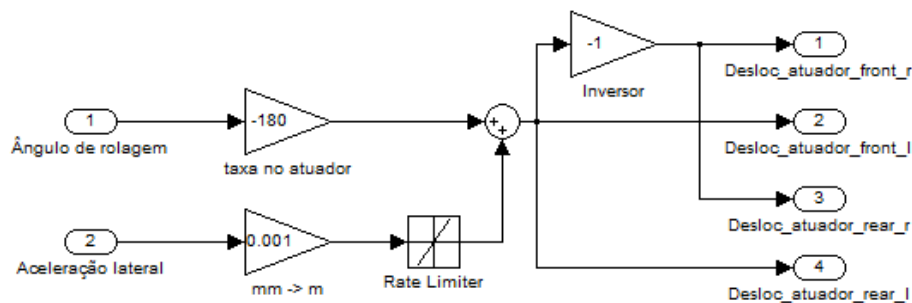


Figura 3. Bloco de controle da cambagem.

O intuito desse controle é que a força lateral gerada pela cambagem contribua para a força lateral total do pneu, o que não ocorre nos sistemas passivos, quando a cambagem é negativa, gerando uma força contrária que além de diminuir a capacidade de força lateral do pneu, faz com que a área de contato pneu/solo atinja a banda lateral, comprometendo o desempenho e a segurança do veículo.

5. Interação Adams/Matlab

O veículo completo foi montado no software Adams/Car e foram definidas as variáveis de estado, bem como quais seriam as entradas e saídas para o controle. Os dados utilizados para construção do modelo são similares aos de um veículo de passeio pequeno. Na suspensão foram incluídos os batentes, a mola tem rigidez linear e o modelo de pneu é o PAC89, que utiliza a “Magic Formula” do Pacejka, apesar de ser um dos modelos mais simples dele, já caracteriza bem algumas não linearidades do pneu.

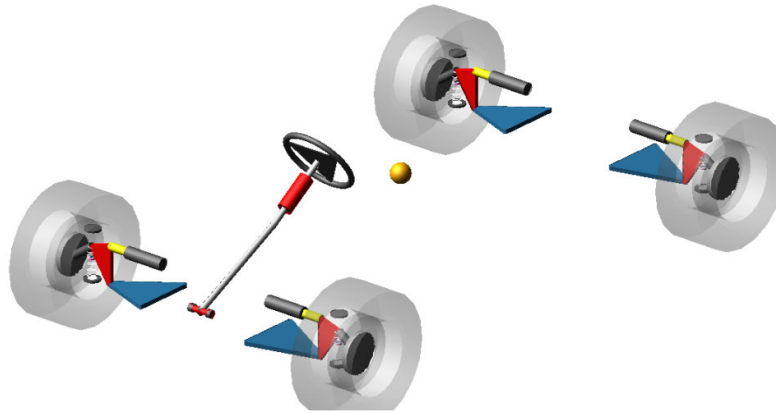


Figura 4. Modelo completo do veículo montado no software Adams/Car.

Para aplicar as leis de controle foi feita uma interação com software Matlab/Simulink. No modelo são controlados o amortecimento, a cambagem e a direção esterçando as quatro rodas.

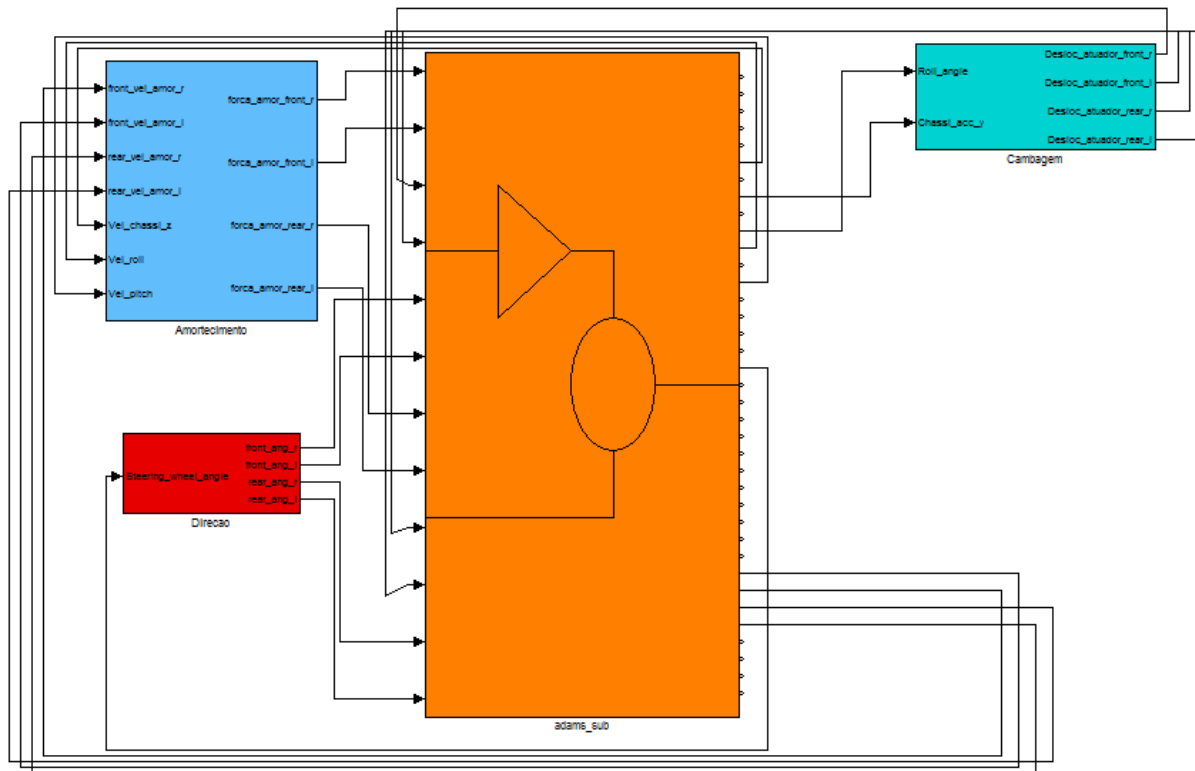


Figura 5. Bloco com os subsistemas de controle e a interface com modelo do Adams/Car.

O bloco em laranja representa o modelo do veículo no Adams, com as entradas e saídas das variáveis de estado desejadas para o controle. Em azul, lado esquerdo, se encontra o controle do amortecimento, sendo alimentado pelas velocidades da carroceria e da roda. O bloco verde do lado direito faz o controle da cambagem, sendo alimentado pelo ângulo de rolagem e a aceleração lateral que está sendo imposta na carroceria. O controle direcional se encontra no bloco vermelho.

6. Análise Cinemática

Foram realizadas análises da suspensão para avaliar o seu funcionamento e a variação dos parâmetros, como centro de rolagem, variação da bitola, deslocamento do atuador e força do atuador.

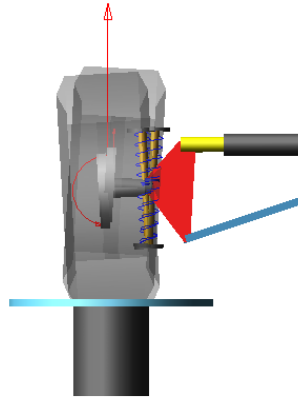


Figura 6. Ação do Atuador.

As análises feitas são estáticas e com a variação da cambagem apenas. Na Figura (7) é possível observar o funcionamento do mecanismo na variação do ângulo de cambagem devido à ação do atuador. O atuador se move na posição estática do veículo. A figura 3 mostra a relação entre o deslocamento do atuador e a respectiva variação do ângulo de cambagem. Verifica-se que posicionamento do mecanismo permite considerar uma relação linear entre as duas variáveis, facilitando o uso do controle proporcional.

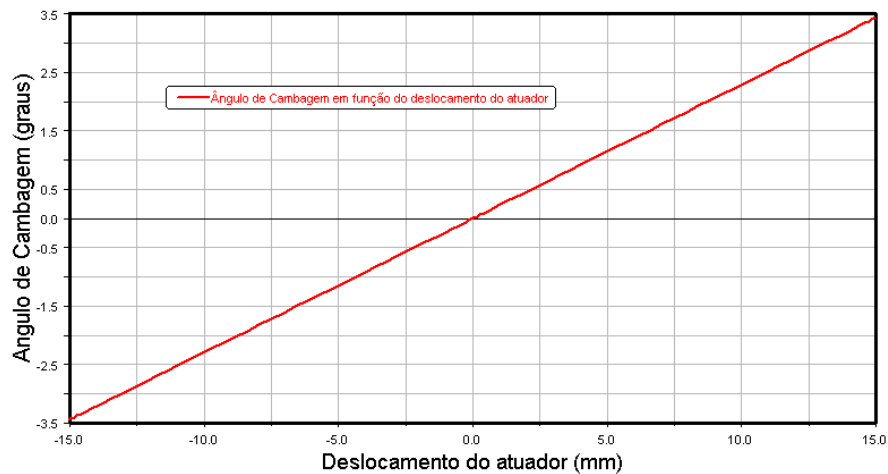


Figura 7. Ângulo de Cambagem em função do deslocamento do Atuador.

A força que atuador faz não é constante, durante uma manobra ou com o veículo em marcha passando por obstáculos, a força no atuador deve variar consideravelmente, sabendo que ele também é um elemento estrutural no mecanismo. Porém essa força deve ser prevista para dimensionamento do atuador.

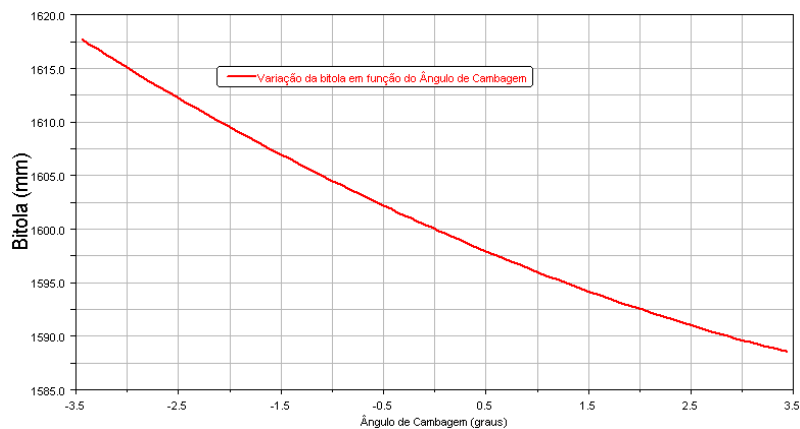


Figura 8. Variação da bitola em função do Ângulo de Cambagem.

Outro fator que não é desejável é a variação da bitola. Esta variação gera esforços desnecessários na suspensão, que com certeza tem uma parcela importante na força que o atuador realiza. Esse arrasto lateral também irá provocar um desgaste do pneu em longo prazo. A variação pode ser observada na Fig (9).

O centro instantâneo de rotação da roda vai para o infinito, pois o curso da suspensão faz a roda se deslocar sobre uma reta vertical, conferindo uma curva de raio infinito. Dessa forma a altura do Centro de Rolagem do veículo não variará com o curso da suspensão, mas terá uma variação devido à cambagem, como mostrado na Fig (10), que também é linear.

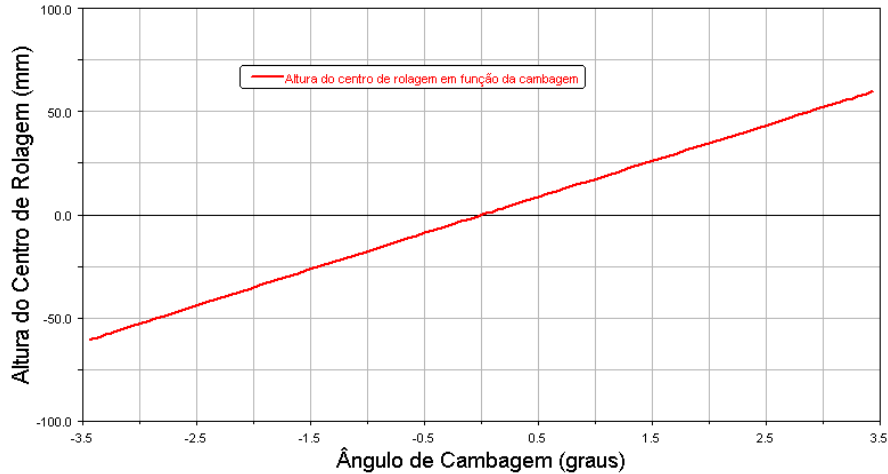


Figura 9. Variação da Altura do Centro de Rolagem em função do Ângulo de Cambagem.

7. Análise Dinâmica

As simulações foram feitas com dois tipos de manobra utilizando um veículo normal sem controle e um veículo com o controle atuando. A primeira manobra é uma “Iso Lane Change”, que seria uma ultrapassagem numa estrada, a velocidade da manobra foi a 60 km/h, onde será possível analisar o controle da cambagem. A segunda simulação é em linha reta, porém com uma entrada degrau de 100 mm, a 30 km/h, para avaliar o controle do amortecimento.

No controle da cambagem foram simuladas condições diferentes, uma somente com o controle sobre a rolagem, ou seja, tentando sempre manter o pneu perpendicular com pista e a segunda foi com a rolagem mais uma compensação devido à aceleração lateral, para ajudar o veículo na curva. A Fig (10) é uma simulação de ultrapassagem, mostrando a variação do ângulo de rolagem e o controle da cambagem tentando mantê-lo sempre próximo de zero, é possível verificar também o deslocamento do atuador alterando a cambagem.

A Figura (11) também é uma simulação de ultrapassagem, mas dessa vez o controle, além de atuar devido ao ângulo de rolagem, leva-se em consideração a aceleração lateral do veículo, tentando compensar um pouco com um ângulo de cambagem, que contribui para a força lateral total no pneu.

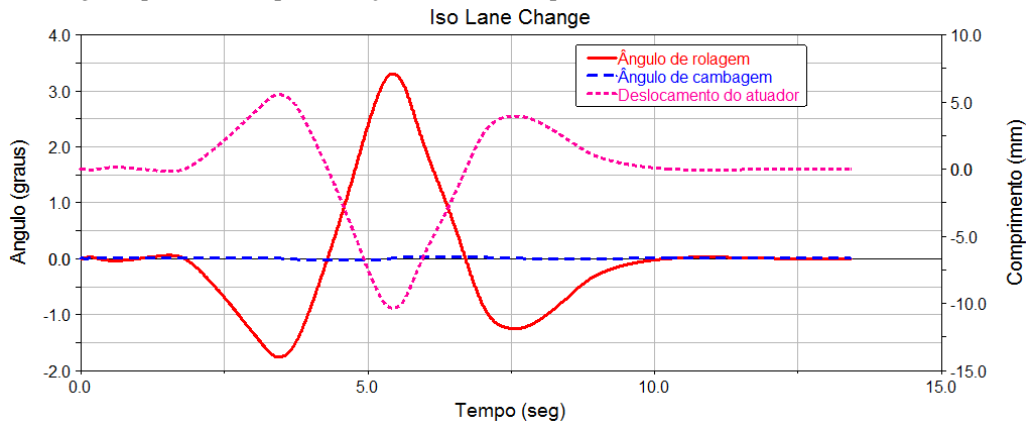


Figura 10. Controle da cambagem levando em conta somente a rolagem do veículo, tentando manter o pneu sempre perpendicular com a pista.

Ainda na Figura (11), as curvas em azul são sem controle, e as curvas em vermelho as simulações com o controle de cambagem. Os ângulos de rolagem dos dois modelos são bem próximos, a diferença é devida ao ângulo de cambagem que altera o centro de rolagem do veículo. Na situação normal e na com controle, verifica-se que a cambagem são opostas, isso mostra que o controle além de corrigir a cambagem devido à rolagem, também acrescentou uma compensação devido à aceleração lateral.

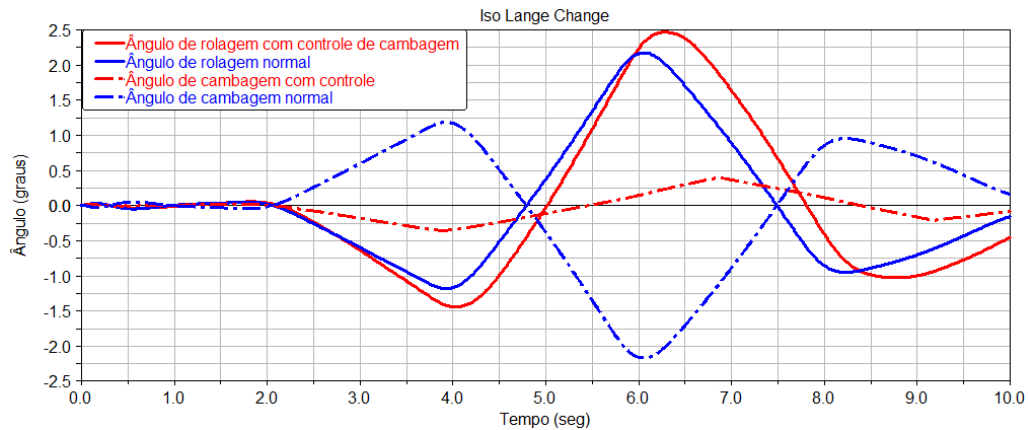


Figura 11. Controle da cambagem com compensação devido à aceleração lateral do veículo.

Na simulação em linha reta com entrada degrau observa-se, devido ao controle do amortecimento, tanto uma convergência mais rápida como menores amplitudes das oscilações. Na Fig (12) os dois picos seguidos no início são as entradas do degrau das rodas dianteiras e das rodas traseiras, respectivamente. O ângulo de "Pitch" pode ser observado na Fig (13). A melhora da resposta do controle é facilmente observada em ambos os casos.

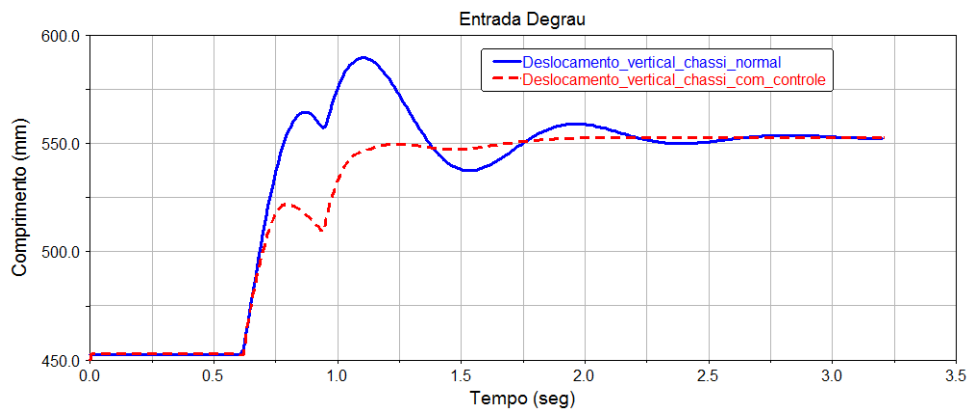


Figura 12. Resposta do deslocamento vertical da carroceria devido à entrada degrau.

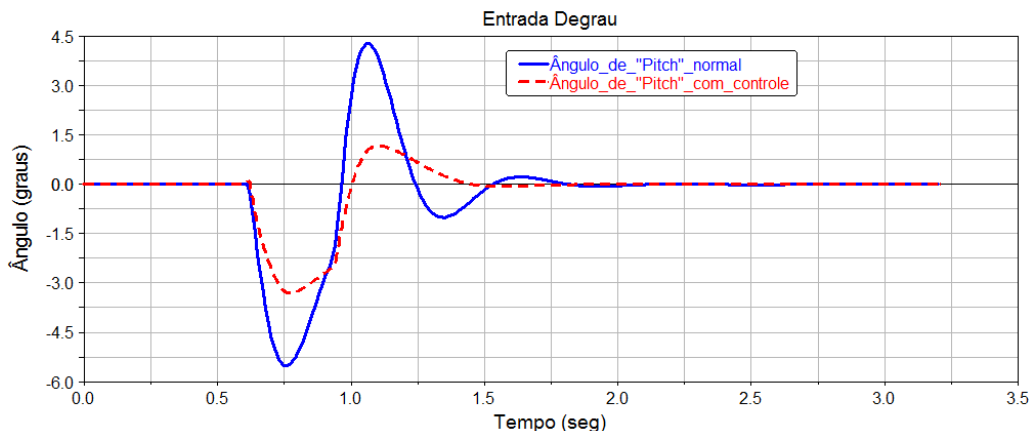


Figura 13. Resposta do ângulo de "Pitch" devido à entrada degrau.

8. Conclusão

Nesse trabalho foi possível unir a suspensão à roda e construir um modelo com atuador para variação de cambagem. Nessa geometria, a roda sobe e desce numa linha vertical, sem variação da bitola, do centro de rolagem, da convergência e claro da cambagem que é a variável de controle. Porém trabalhar com a suspensão dentro da roda implica em espaços reduzidos, o que limita o trabalho da suspensão.

O controle do amortecimento com $\frac{1}{4}$ de veículo e da cambagem demonstraram ótimos resultados nas simulações. A cambagem aumenta a capacidade de aceleração lateral do veículo, o que é bom para a segurança. O controle do amortecimento proporcionou maior estabilidade e conforto, visto que houve uma grande redução no tempo de acomodação, bem como uma redução das amplitudes dos deslocamentos.

Outros dois trabalhos de conclusão de curso também utilizam esse novo conceito, porém seus objetivos são controlar a estabilidade do veículo utilizando os freios e no outro utilizando os ângulos de esterçamento.

DESIGN OF VEHICLE SUSPENSION CONTROL OF CAMBER AND DAMPING.

Renan Destéfani Monteiro
renand.monteiro@hotmail.com

Orientador: Prof. Dr. Marcelo Augusto Leal Alves
malalves@usp.br

Abstract: This paper aims to designing and modeling a suspension system integrated in the wheel, with control of camber angle and suspension damping. This work is part of two other final papers that design a new concept vehicle. Based on eCorner, the new concept couple the wheels, electric motor, brakes, steering and suspension systems. In addition to the suspension of the new project, which involves the study of all its parameters, this work also seeks to apply a control system to increase the performance of the vehicle in handling, comfort and safety.

Keywords: active suspension, active damper, autonomous corner modules, eCorner.