

# **SISTEMA DE SUSPENSÃO VEICULAR OTIMIZADO ATRAVÉS DE UM CONTROLE ELETROME CÂNICO DO CONJUNTO MOLA E AMORCEDOR**

José Vitor Mendes da Silva Oliveira<sup>1</sup>, Luan Júnior Silva da Cunha<sup>2</sup> e Rodrigo Dias Valente<sup>3</sup>  
Yuri Franklin Machado De Abreu<sup>4</sup>

## **RESUMO**

O sistema de suspensão de um veículo é diretamente responsável por filtrar as acelerações impostas pelas imperfeições dos pavimentos e de outras fontes de excitações, além de garantir estabilidade, dirigibilidade e performance. Esse sistema vem sendo aperfeiçoado continuamente, e tornou-se tema de grande interesse de engenheiros e projetistas devido a sua grande amplitude e possibilidades de configurações. Este trabalho propõe um projeto de controle eletromecânico para otimizar o sistema de suspensão de um veículo MiniBAJA SAE (Equipe AEDBaja, da Faculdade de Engenharia de Resende – AEDB), que resultará em uma melhora significativa com relação à performance, sem abrir mão dos compromissos de conforto e segurança. O projeto proposto baseia-se na possibilidade de selecionar estágios de pré-carga das molas, e no controle do fluxo do fluido do amortecedor através de válvulas solenoides durante a realização de curvas. Alguns conceitos básicos de dinâmica veicular também serão abordados, para o embasamento do projeto. Os parâmetros e os resultados serão demonstrados e comprovados através de testes experimentais, e comparações com modelos matemáticos utilizados em softwares de simulação virtual.

Palavras-chave: Suspensões. Válvulas solenoides. Dinâmica veicular. Simulação virtual.

---

<sup>1</sup> Bacharelado em Engenharia de Produção com ênfase em Automotiva pela AEDB - Faculdade de Engenharia de Resende. E-mail: j.vitor.oliveira88@gmail.com

<sup>2</sup> Bacharelado em Engenharia de Produção com ênfase em Automotiva pela AEDB - Faculdade de Engenharia de Resende. E-mail: luan.cunha@eng.aedb.br

<sup>3</sup> Bacharelado em Engenharia de Produção com ênfase em Automotiva pela AEDB - Faculdade de Engenharia de Resende. E-mail: rodrigo.valente84@gmail.com

<sup>4</sup> Mestre em Engenharia Mecânica pelo Instituto Militar de Engenharia. Professor na AEDB - Faculdade de Engenharia de Resende. E-mail: yuri.fr@ig.com.br

## **1. Introdução**

O sistema de suspensão veicular começou a ser estudado e desenvolvido desde o princípio da fabricação de automóveis, com o intuito de tornar o veículo mais confortável e seguro para os passageiros, devido à péssima qualidade das estradas do passado.

Inicialmente foram utilizadas suspensões do tipo feixes de molas para ambos os eixos do veículo, devido à simplicidade na manufatura e baixo custo. Posteriormente as suspensões de feixes de molas passaram a ser utilizadas apenas nos eixos traseiros dos veículos, e iniciou-se a aplicação de molas helicoidais nos eixos dianteiros.

Atualmente o sistema de suspensão vem sendo de grande interesse de diversas áreas da engenharia. A necessidade de melhorar a segurança, o conforto e desempenho é o que impulsiona o desenvolvimento tecnológico de suspensões, como por exemplo, as suspensões ativas, que controlam os movimentos verticais das rodas através de um sistema eletrônico. Ao contrário do sistema de suspensão comum, que trabalha de acordo com a rodagem, a suspensão ativa corrige as imperfeições da pista com mais eficiência que, por sua vez, dá mais estabilidade e desempenho ao veículo, seja em curvas, aceleração ou frenagem, e facilita o controle do condutor.

### **1.1. Objetivo**

Este trabalho busca elaborar e desenvolver um dispositivo de controle eletromecânico, que tem como finalidade otimizar o comportamento dinâmico do sistema de suspensão, proporcionando maior estabilidade, conforto aos ocupantes e segurança ao veículo em curvas. O dispositivo de controle atuará nas calibrações das forças impostas ao veículo pelos elementos de mola e amortecedor.

Os parâmetros utilizados e os resultados serão demonstrados após testes experimentais e comparações com modelos matemáticos através da utilização de programas de simulação virtual (Matlab®/Simulink® da Mathworks).

### **1.2. Justificativa**

A produção deste trabalho apoia-se na necessidade de desenvolver um compromisso entre os parâmetros de conforto, estabilidade, e dirigibilidade em um veículo. O objeto de estudo é um veículo de competição monoposto e *off-road*, denominado como MiniBAJA

SAE, escolhido devido a complexidade do seu projeto, e a exigência de que se atinja altas performances nas rigorosas provas dinâmicas durante as competições.

É importante ressaltar que a utilização de recursos que demandem baixo investimento e pouca mão-de-obra é extremamente importante para esse estudo de caso, além de diversas limitações técnicas serem impostas pelas regulamentações da competição. Desta forma, fica inviabilizada a utilização de sistema de suspensão semi-ativa, ou ativa.

## **2. Revisão da literatura**

### **2.1. Fundamentação histórica**

As estradas dos séculos XVIII e XIX não dispunham de infraestrutura adequada, por este motivo os construtores de carruagens passaram a equipar os seus produtos com os inovadores sistemas de suspensão, visando melhorar o conforto de seus clientes. O primeiro automóvel movido à gasolina, originado em 1886 por Gottlieb Daimler, usou um par de feixes de mola em cada eixo dispostos nos extremos, fixando o eixo na parte de baixo da mola e o chassi na parte de cima (BARRETO, 2005).

A partir da década de 70 deu-se o início nas pesquisas sobre sistemas de suspensão ativa, inovando completamente a área da dinâmica veicular. A proposta desse novo sistema de suspensão aumentaria o desempenho, a performance do veículo, o conforto, e a segurança dos passageiros. Para isso eles foram expressos em funções que poderiam representar o comportamento que se desejava, podendo citar o espaço de trabalho da suspensão, a força aplicada aos pneus e a aceleração vertical do veículo (ALVES, 1998).

Ultimamente, com o auxílio do computador, os sistemas de suspensão têm sido analisados mais detalhadamente. É possível avaliar as características da suspensão e seus componentes através de softwares de análises de sistemas multi-corpos, além disso, é possível também verificar as respostas do sistema através de estudo do modelo de veículo completo. (BARRETO, 2005)

A melhoria dos sistemas de suspensão veicular é um assunto de intensa pesquisa e desenvolvimento, devido à alta competitividade industrial. Este fato tem basicamente duas motivações: comercial e científica. O aumento da atividade comercial foi ocasionado pelo crescente interesse dos fabricantes de veículos e fornecedores de componentes, que desejam melhorar o desempenho e a qualidade dos seus produtos, para conquistar novos clientes e fidelizar os já existentes. O desenvolvimento do controle de uma suspensão é uma tarefa

complexa, sobretudo pela quantidade de parâmetros que devem ser atendidos, para que haja um bom desempenho (ANDRADE, 2002).

As características desejáveis são (ANDRADE, 2002):

- Isolar a massa suspensa dos impactos produzidos pelas imperfeições das estradas;
- Reduzir a perda de aderência entre o pneu e o solo;
- Garantir o contato dos pneus com o solo em todas as quatro rodas.

Em diversas situações essas características são contraditórias, ou subjetivas, ou não são conhecidas em um sistema de suspensão convencional sob todas as condições de operação. As características desejáveis podem ser estudadas através de modelos matemáticos lineares, ou não lineares, e simulações com diferentes níveis de complexidade de um sistema de suspensão veicular.

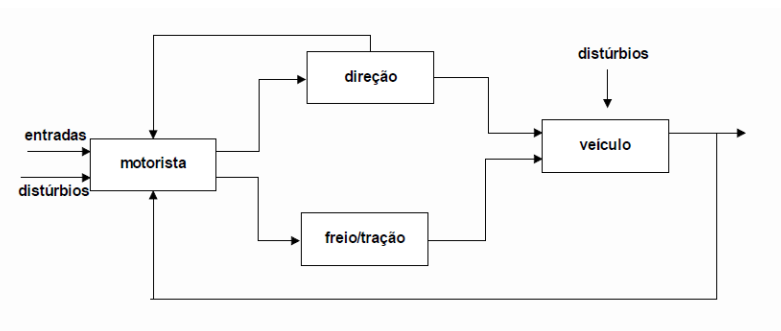
### 3. Revisão teórica

#### 3.1. Fundamentação teórica

##### 3.1.1. Dinâmica veicular

A dinâmica veicular, de forma geral, trata da relação entre o veículo e o ambiente onde está se trafegando, e aos comandos impostos pelo condutor, de acordo com a sua necessidade. São estudados os movimentos dos corpos que compõem um veículo, e os esforços que os originam. Os movimentos são divididos em: posições, velocidades e acelerações. Os esforços são originados por dois fenômenos: forças e momentos (BARBIERI, 2011).

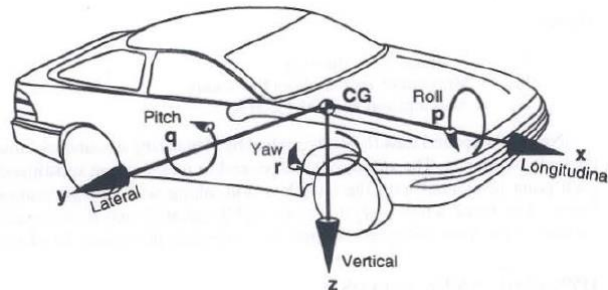
**Figura 1 - Interações na Dinâmica Veicular**



Fonte: BARBIERI, 2011

O estudo proposto por esse trabalho considera o eixo de coordenadas da SAE, que pode ser descrito conforme a Figura 2.

**Figura 2 - Eixo de coordenadas e os momentos possíveis em cada direção**



**Fonte: GILLESPIE, 1992**

A dinâmica veicular é comumente dividida em três áreas:

- Lateral: estuda a estabilidade e o comportamento do veículo em condições de esterçamento em baixa, ou alta velocidade. Envolve o movimento lateral ( $y$ ), e as rotações em torno de  $z$  (*yaw*) e  $x$  (*roll*).
- Vertical: estuda os movimentos verticais ( $z$ ) e as rotações em torno de  $x$  (*roll*) e  $y$  (*pitch*), em função das irregularidades da pista. Nessa área a segurança e o conforto são levados em consideração.
- Longitudinal: estuda os movimentos longitudinais ( $x$ ) e as rotações em torno de ( $y$ ), em função dos torques aplicados durante a aceleração, ou durante a frenagem do veículo. São considerados os desempenhos em aceleração e frenagem, e a capacidade de vencer rampas.

### **3.1.2. Centro de gravidade**

Centro de gravidade (C.G.) é um ponto geométrico e imaginário onde os movimentos e os esforços estão concentrados. Para o estudo das dinâmicas laterais e longitudinais considera-se que todas as massas estão concentradas do no C.G., com propriedades inerciais adequadas. Na análise da dinâmica vertical, normalmente é necessário dividir os veículos como dois corpos: massa suspensa (corpo do veículo), e massa não suspensa (pneus, rodas, e suspensão) (GILLESPIE, 1992).

### **3.1.3. Massa suspensa e massa não suspensa**

A massa suspensa [*sprung mass*] é definida como todas as massas que estão sobre o sistema de suspensão do veículo, ou seja, toda a carroceria e seus itens internos. A massa não suspensa [*unsprung mass*] é o somatório das massas de todos os componentes que estão ligados à suspensão, mas não são suportados diretamente por ela, ou seja, os pneus, as rodas, os eixos, os freios e o próprio sistema de suspensão (JAZAR, 2008).

#### **3.1.4. *Bounce, pitch, yaw e roll***

O *bounce* corresponde ao movimento vertical puro, determinado somente pela dinâmica vertical. O deslocamento de *bounce* gera vibrações e frequências internas nos órgãos dos humanos, assim como o *pitch*. A tolerância na direção vertical depende da região analisada: na cavidade abdominal, de 4 a 8 Hz; na cabeça, de 10 a 20 Hz (BARBIERI, 2011).

O *pitch* corresponde ao movimento de acoplamento das dinâmicas vertical e longitudinal. O movimento de *pitch* provoca vibrações na massa não suspensa, resultando em frequências internas nos órgãos dos seres humanos, aumentando o desconforto. A tolerância de frequência que o homem suporta no sentido longitudinal é de 1 a 2 Hz. A tolerância longitudinal é bem menor do que na direção vertical (BARBIERI, 2011).

O *yaw* é denominado como o movimento que o veículo realiza em torno do eixo “z” (eixo de coordenadas da SAE), e o movimento de *roll* é basicamente o acoplamento das dinâmicas vertical e lateral. Acontece através do *roll axis* (BARBIERI, 2011).

#### **3.1.5. *Roll center/Roll axis***

O *roll center* [centro de rolagem] da suspensão dianteira, ou da suspensão traseira é o centro de rotação da massa suspensa com relação ao solo, ou seja, é o ponto onde as forças laterais são aplicadas durante as curvas. O *roll axis* [eixo de rolagem] do chassi de um veículo, e é obtido a partir da ligação dos pontos do *roll center* da suspensão dianteira e da suspensão traseira (JAZAR, 2008).

A rolagem da massa suspensa ocorre devido à atuação de uma força centrífuga, que é produzida durante uma curva, principalmente no CG. A intensidade desse momento de rolagem depende basicamente do *rate* da mola da suspensão, e da distância entre o *roll center* e o C.G. (comprimento da alavanca produzida). O *roll center* influencia diretamente na dirigibilidade, no conforto dos ocupantes e na segurança do veículo (BAUER, 2000).

#### **3.1.6. Conforto**

Os parâmetros de velocidade e deslocamento não se relacionam diretamente com a sensação de conforto. O mesmo não pode ser dito quanto à variação e a frequência de oscilação, e a direção da aceleração imposta aos ocupantes de um veículo (CRIVELLARO, 2008).

O sistema de suspensão é o principal responsável por isolar as frequências de vibração que são transmitidas aos passageiros, pois absorvem os impactos e as irregularidades da superfície do solo. Por isso é importante uma correta seleção do tipo das molas e dos amortecedores a serem utilizados no veículo.

A determinação de conforto pode ser objetiva, ou subjetiva. Além da configuração das molas e dos amortecedores, a percepção de conforto é influenciada por diversos fatores que não se relacionam diretamente com o sistema de suspensão, como: se o assento é ergonômico, a temperatura do habitáculo, a ventilação, o espaço do interior do veículo, se há apoio para os braços e mãos, o nível dos ruídos acústicos, etc (GILLESPIE, 1992).

Existem muitas divergências entre os pesquisadores com relação à determinação de níveis de conforto veicular, visto que cada pessoa reage de uma forma. Duas normas são bastante utilizadas para mensurar e garantir o conforto: ISO 2631 e SAE J1490.

### **3.1.7. Estabilidade/Dirigibilidade**

O sistema de suspensão deve garantir um compromisso entre os critérios de conforto e uma boa estabilidade/dirigibilidade, fazendo com que o trabalho de projetistas e engenheiros seja bastante complexo.

A dirigibilidade de um automóvel é um produto das interações entre o pavimento, o veículo e o ambiente (VIEIRA, 2011), podendo ser entendida como capacidade do veículo sair de um movimento em regime permanente e atingir outro movimento. A estabilidade é definida por Barbieri (2011, p.40) como “a tendência decrescente das amplitudes do movimento perturbado de um veículo, após algum tempo do término da perturbação”.

Os termos *cornering* e *handling* são comumente encontrados em literaturas no idioma inglês. O *cornering* trata das grandezas físicas, abordando os parâmetros de uma forma mais objetiva. O *handling* aborda as sensações do motorista com relação ao pavimento e ao comportamento do veículo, ou seja trata da parte subjetiva (BARBIERI, 2011).

### **3.1.8. Suspensões**

O projeto de uma suspensão deve ser definido basicamente para filtrar as acelerações verticais impostas pelas características da pista onde se está trafegando, resultando em uma redução das amplitudes de vibração da massa suspensa (ganho na percepção de conforto). Além disso, a suspensão deverá garantir a performance e a segurança do veículo (PERSEGUIM, 2006). A suspensão é composta, de forma generalizada, por um conjunto mola/amortecedor.

O sistema de suspensão pode ser classificados de acordo com a presença ou não de fontes adicionais de energia em passivas, semi-passivas e ativas (ANDRADE, 2002):

- Suspensão passiva: é um sistema convencional de fontes não controladas de energia, tais como molas e amortecedores.
- Sistema semi-ativo: é observado um controle sobre o fator de amortecimento que pode ser variável de acordo com as necessidades e cargas que atual sobre o sistema.
- Suspensão ativa: é caracterizada pela substituição dos componentes passivos por atuadores e sensores.

### **3.1.9. Função da mola no ride**

A mola tem como função principal armazenar toda a energia brusca proveniente da transposição de algum obstáculo pelo veículo, sem transmitir toda essa energia para a massa suspensa, e evitar deslocamentos severos na mesma (PERSEGUIM, 2006).

No veículo AEDBaja são utilizadas molas helicoidais de compressão com 18 espiras de fio redondo com 8 mm de espessura. O rate de amortecimento dessas molas é de 25 N/mm.

### **3.1.10. Função do amortecedor no ride**

De acordo com Gillespie (1992, p.156), “ao contrário do que o nome diz, o amortecedor não amortece os impactos provenientes das imperfeições da pista. A suspensão como um todo é responsável por amortecer os impactos, e cabe ao amortecedor apenas dissipar a energia acumulada no sistema” (tradução livre dos autores).

O AEDBaja utiliza um amortecedor hidráulico telescópico de dupla ação, que utiliza nitrogênio industrial como fluido de trabalho. O coeficiente de amortecimento desse dispositivo é de 1500 Ns/m.



### **3.1.11. Válvula solenoide**

É composta basicamente por duas partes: o corpo e a bobina solenoide. Elas podem ser aplicadas em sistemas que tenham como fluídos a água, ar, gases, óleo, e outros (JEFFERSON).

Esses componentes funcionam da seguinte forma: No interior da válvula existe uma bobina que é eletrizada para controlar o acionamento do pino que faz a abertura do fluxo do fluído no sistema. A vedação do sistema ocorre quando a bobina deixa de receber a corrente elétrica, entrando em ação a mola de retorno do pino (JEFFERSON).

As válvulas solenoides podem ser classificadas quanto ao seu tipo de ação: ação direta, ou ação indireta. Dentre essa classificação poderão ser encontradas válvulas de diversos modelos, como: válvulas de 2, 3, 4 e 5 vias (JEFFERSON).

## **4. Desenvolvimento**

### **4.1. Introdução**

Devido a uma limitação no sistema de suspensão veicular (mola-amortecedor) em que o mesmo não consegue se adaptar a mais de um tipo de aplicação, esse estudo tende a aprimorar o desempenho e a segurança de qualquer veículo utilizando uma válvula solenoide como meio para criar uma obstrução do fluxo do fluido de trabalho do amortecedor (gás nitrogênio industrial), gerando um dispositivo amortecedor mais rígido quando auto-acionado em situações de curva ou manobras.

### **4.2. Sistema Proposto**

Este dispositivo é composto por um comando fixado na coluna de direção que tem como função acionar o sistema de acordo com o sentido da curva que o piloto quer fazer. Além disto, também é dotado de uma fonte alimentadora (bateria), servo-motores acoplados a uma relação coroa e engrenagem sem fim para ajustar a pré-carga da mola e válvulas solenoides, normalmente aberta, que irão enrijecer os amortecedores.

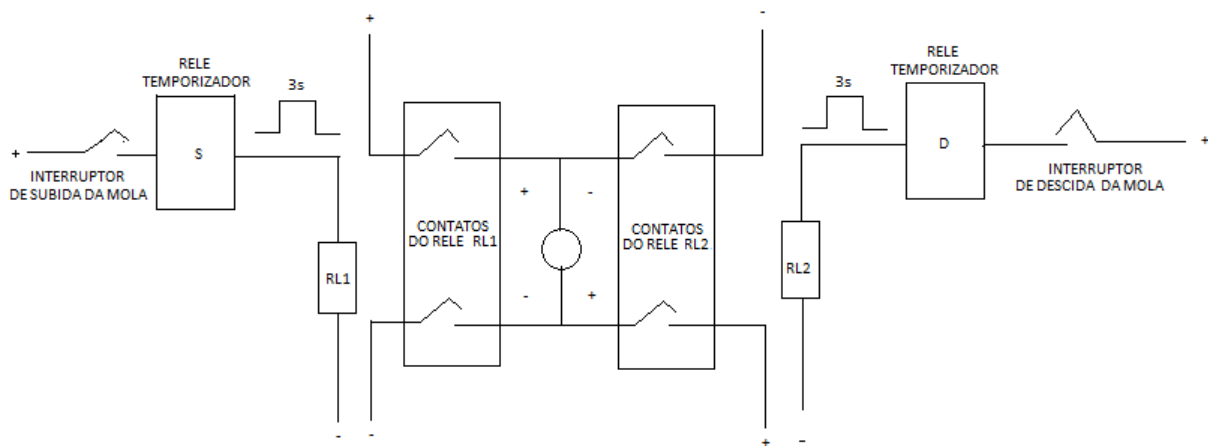
Quando o piloto ou motorista esterçar o volante para qualquer lado, as pistas condutoras do comando na coluna de direção irão enviar um sinal para a válvula solenoide que deverá obstruir instantaneamente a passagem do fluído do amortecedor entre o seu corpo

e o cilindro de expansão do mesmo, por completo. Esta válvula, através de seu retorno por mola, retornará para a posição aberta no momento em que o volante se alinhar.

### 4.3. Funcionamento do sistema

Por intermédio de dois interruptores (um para comprimir e outro para expandir a mola) fixados ao painel do veículo e um relé pré-temporizado, o condutor poderá escolher entre três tipos de configurações pré-determinadas da rigidez da mola. A informação gerada pelo interruptor é enviada ao servo-motor que iniciará o movimento rotacional no limitador superior da mola durante o período de tempo pré-determinado pelo relé. Por ter um contato rosqueado com o corpo do amortecedor, o mesmo irá comprimir ou não a mola resultando em uma alteração no *rate* da mola. O último dispositivo deverá ser acionado apenas com o veículo parado, já que exige um *delay* para realizar o trabalho completo de compressão e expansão da mola, além de requerer um acionamento manual do condutor.

Figura 3 - Esquema elétrico das configurações de rigidez das molas



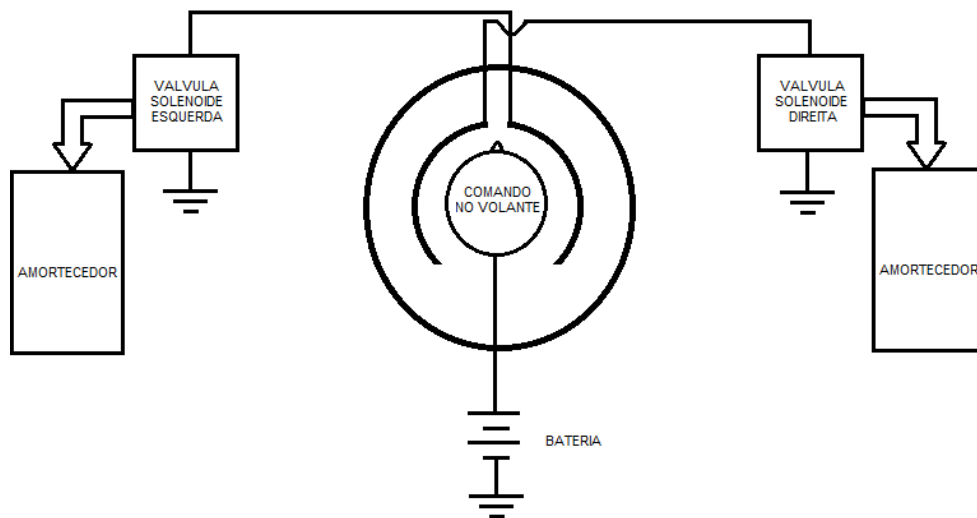
Fonte: Os próprios autores

Quando o interruptor de subida da mola é acionado, energiza o relé temporizador pré-ajustado em 3 segundos. A tensão positiva irá energizar o relé RL1. Os contatos deste relé, que estão normalmente abertos, se fecharão por 3 segundos polarizando o motor no sentido de rotação anti-horário.

Ao acionar o interruptor de descida da mola, o relé temporizador pré-ajustado para 3 segundos irá energizar com uma tensão positiva o relé RL2. Os contatos deste relé, que estão normalmente abertos, se fecharão por 3 segundos polarizando o motor no sentido de rotação horário.

O outro dispositivo funcionará por meio de válvulas solenoides que serão controladas através de um conjunto de pistas de contato situados na coluna de direção, o que garante alta robustez e rapidez da entrada de informação no sistema. O dispositivo em questão entra em ação quando o condutor esterçar o volante para qualquer lado, desta forma o atuador no amortecedor deverá reagir para que o sistema de suspensão do lado oposto da curva se torne mais rígido. O mesmo deverá acontecer quando o volante for esterçado para o outro lado.

Figura 4 - Esquema elétrico das configurações de rigidez dos amortecedores



Fonte: Os próprios autores

## 5. Conclusão

O resultado esperado após as realizações dos testes é uma redução da rolagem [*roll*] do veículo durante o esterçamento das rodas para efetuar uma curva. Desta forma, a força do momento entre o C.G. e o eixo de rolagem do veículo diminuirá, o que resultará em uma maior força de contato entre o pneu e o solo, possibilitando obter ganhos em segurança, estabilidade, e dirigibilidade. Assim, podemos observar que a proposta de aplicação do projeto deste trabalho atende tanto as condições de *rideling*, como de *handling*.

# **VEHICLE SUSPENSION SYSTEM OPTIMIZED USING ELECTROMECHANICAL CONTROL IN THE SPRING AND SHOCK ABSORBER ASSEMBLY**

## **ABSTRACT**

The vehicle suspension system is directly responsible for filtering the accelerations imposed by the imperfections of floors and other sources of excitations, and ensure stability, cornering and performance. The suspensions has been improved continuously, and became a subject of great interest to engineers and designers due to the wide range of configurations and possibilities. This paper proposes a design of electromechanical control to optimize the suspension system of a vehicle MiniBAJA SAE (AEDBaja Team, Engineering College of Resende - AEDB), resulting in a significant improvement of the performance, without compromising the commitments of comfort and safety. The proposed project is based on the possibility to select the load of the springs, and control the flow of the fluid through the shock absorber solenoid valves during the bends. Some basics concepts of vehicle dynamics will be discussed, to understanding the project. The parameters and results will be demonstrated and proven through experimental tests, and comparisons with mathematical models using a virtual simulation software.

Keywords: Suspensions. Solenoid valves. Vehicle Dynamics. Virtual simulation.

## **REFERÊNCIAS**

ALVES, Paulo S. L. **Análise Comparativa do Desempenho de uma Suspensão Veicular Considerando Elementos Passivos e Ativos**. São Paulo, Faculdade de Engenharia Mecânica, 1998 (Dissertação Mestrado em Engenharia Mecânica), 131 p. São Paulo, 1997, Universidade Estadual de Campinas.

ANDRADE, Antonio F. A. **Controle de Suspensões Ativas Utilizando Redes Neurais**. São Paulo, Faculdade de Engenharia Mecânica, 2002 (Dissertação Mestrado em Engenharia Mecânica), 155p. São Paulo, 2001, Universidade Estadual de Campinas.

BARBIERI, Frederico. **Dinâmica Veicular Básica**. São Paulo, 2011, 243 p. **Apostila do curso de Dinâmica Veicular Básica** – Sociedade dos Engenheiros da Mobilidade do Brasil.

BARRETO, Marco A. Z. **Dinâmica Longitudinal: Efeitos da Geometria de Suspensão nas Mudanças de Atitude da Massa Suspensa e Esforços nos Elementos de Suspensão**. São Paulo, Escola de Engenharia de São Carlos, 2005 (Dissertação Mestrado em Engenharia Mecânica), 110 p. São Paulo, 2004, Universidade de São Paulo.

BAUER, Horst. **Bosch Automotive Handbook**. 5ª ed. Robert Bosch GmbH: Stuttgart, 2000.

CRIVELLARO, Cláudio. **Controle robusto de suspensão semi-ativa para caminhonetes utilizando amortecedores magneto-reológicos – v.2**. São Paulo, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2009 (Tese Doutorado em Engenharia Mecânica). 438 p. São Paulo, 2008, Universidade de São Paulo.

GILLESPIE, Thomas D. **Fundamentals of Vehicle Dynamics**. R-114. Warrendale: Society of Automotive Engineers, Inc; 1992.

JAZAR, Reza N. **Vehicle Dynamics: Theory and Application**. 1ª ed. Riverdale: Springer, 2008.

JEFFERSON. **Válvula solenoide**. Disponível em:

<<http://www.jefferson.ind.br/produto/valvula-solenoide.html>>. Acesso em: 22 abril 2014.

PERSEGUIM, Odilon T. **Dinâmica veicular relativa ao *ride* de veículos e métricas para a sua avaliação**. São Paulo, Escola de Engenharia de São Carlos, 2006 (Tese Doutorado em Engenharia Mecânica), 221 p. São Paulo, 2005, Universidade de São Paulo.

SHIGLEY, Joseph E. et al. **Projetos de Engenharia Mecânica**. Porto Alegre: Bookman, 2005.

VIEIRA, Januário L. de M. **Estudo de dirigibilidade de veículos longos combinados**. São Paulo, Escola de Engenharia de São Carlos, 2011 (Dissertação Mestrado em Engenharia Mecânica). 93 p. São Paulo, 2010, Universidade de São Paulo.