

## **PROJETO E CONSTRUÇÃO DO MECANISMO BASE PARA UMA MÁQUINA DE ENSAIOS DE AMORTECEDORES**

FELIPE FONTANA GRANJA<sup>1</sup>; BRUNO DE PAULA ROSA<sup>2</sup>; FERNANDO MONTANARE BARBOSA<sup>3</sup>;  
FABIANO PAGLIOSA BRANCO<sup>4</sup>; DANIEL JOSE LAPORTE<sup>5\*</sup>

<sup>1</sup> Acadêmico do curso de engenharia mecânica, UCDB, Campo Grande-MS, ffontanagranja@gmail.com;

<sup>2</sup> Me. eng. mecânica, Prof. UCDB, Campo Grande-MS, probrunorosa@gmail.com;

<sup>3</sup> Dr. eng. mecânica, Prof. UCDB, Prof. Adjunto IFMS, Campo Grande-MS, pagliosa@gmail.com;

<sup>4</sup> Dr. eng. mecânica, Prof. UCDB, Campo Grande-MS, montanare@gmail.com

<sup>5</sup> Me. eng. mecânica, Prof. UCDB, Campo Grande-MS, daniel.laporte@ucdb.br

Apresentado no  
Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia – CONTECC'2018  
21 a 24 de agosto de 2018 – Maceió-AL, Brasil

**RESUMO:** A suspensão veicular possui função importante na absorção de vibrações oriundas do pavimento, tendo assim papel fundamental no comportamento dinâmico do veículo. Este trabalho propõe o estudo e desenvolvimento do mecanismo base para a construção de uma bancada de testes de amortecedores, se orientando por modelos já existentes no mercado. Tal dispositivo proporcionará a medição de amortecedores em diferentes configurações, haja vista que o amortecedor é composto por válvulas, e que é possível modificar os componentes destas para se obter diferentes curvas de amortecimento em determinados intervalos de velocidade. Para a construção deste mecanismo foi considerado o mecanismo do tipo Garfo Escocês (*Scotch Yoke*) pela construção simples e por gerar uma senóide perfeita. Foram feitas modelagens em software CAD e simulações em softwares baseados na teoria dos elementos finitos, para verificar a resistência dos componentes do projeto. São mostrados os resultados destas simulações e a estrutura da máquina montada.

**PALAVRAS-CHAVE:** Geotecnologias, capacidade de uso dos solos, restrição de uso do solo, aptidão pedológica.

### **DESIGN AND MANUFACTURING OF A MACHINE FOR MEASURING DAMPING OF SHOCKS ABSORBERS**

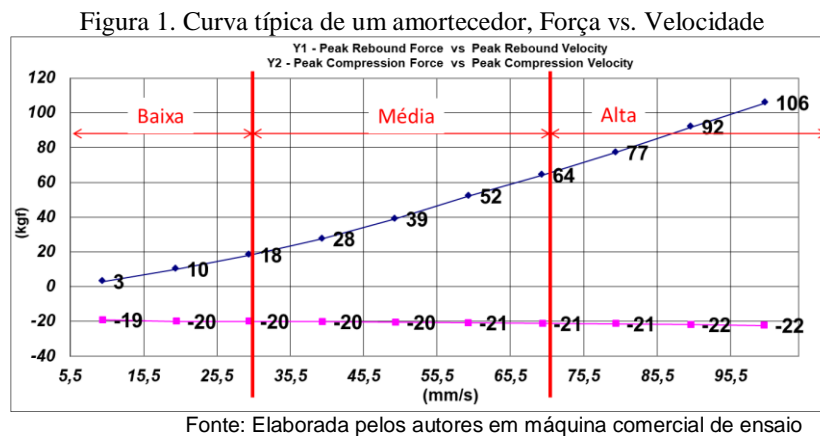
**ABSTRACT:** Vehicle suspension has as its main functionality the absorption of vibrations which comes from the roads, hence, important for vehicle dynamics behavior. This work proposes the study and development of a mechanism which is base for the construction of a damping measurement machine of shocks absorbers, based on benchmarking models. This device is going to allow the damping measurement of shocks absorbers in different setups, by means changing their valves components in order to get different damping curves for each velocity range. The main mechanism of this machine is based on Scotch Yoke, which has been chosen due to its simplicity and because it generates a perfect sine wave. CAD modelling and structural simulations has been done based on finite element theory, in order to confirm the reliability of machine components. The results of these simulations are shown and the full assembly of the machine.

### **INTRODUÇÃO**

A suspensão está ligada à segurança do veículo, visto que sua função é reduzir vibrações oriundas do pavimento, portanto, uma das diretrizes do bom projeto de suspensão visa à redução da variação da força normal no contato dos pneus com o pavimento e conseqüentemente melhoria na aderência do pneu com o solo, de acordo com metodologia descrita em Milliken e Milliken (1995). Outra importante função deste subsistema é a melhoria do conforto, com redução das acelerações de carroceria, em resposta às entradas oriundas da via (Gillespie, 1991).

Tais vibrações são absorvidas por um sistema massa-mola-amortecedor, entre suas funções, esses componentes devem ser projetados para que em conjunto formem um filtro às irregularidades provenientes da pista (Gillespie, 1991).

A curva típica de amortecimento para diferentes velocidades de um amortecedor veicular pode ser dividida em três faixas de velocidade, baixa, média e alta, conforme pode ser visto na figura 1. A velocidade baixa está relacionada com o controle de carroceria e conforto do veículo, ao passo que velocidades média e alta estão ligadas com a segurança e aderência em curvas, frenagem e aceleração, assim sendo, deve-se configurar um amortecedor que atenda a estes critérios, e isto é possível através da modificação da válvula do amortecedor, que é composta por molas, discos e furos (Reimpell, 1996).



Esta curva típica pode ser medida através de máquinas apropriadas, como o projeto mostrado neste trabalho, que auxiliam na obtenção de dados objetivos de medição de amortecimentos após a modificação de configuração interna no amortecedor, como por exemplo, válvulas, a fim de se obter desempenho desejado. Dados fundamentais para o trabalho com protótipo de veículos, como Baja e Fórmula SAE. Notadamente em duas fases do projeto, modelagem do sistema dinâmico em ferramenta de sistemas de multicorpos e refinamento da suspensão através de testes em protótipo final.

Para o primeiro caso, o veículo é modelado em ferramenta de simulações dinâmicas, e a curva de amortecimento conseguida através da máquina de ensaios é inserida como entrada no software, que servirá como base para a definição dos outros parâmetros de projeto da suspensão veicular, de maneira a obter resposta dinâmica adequada em análises feitas com este modelo, sem que haja a necessidade da construção e testes com o veículo. Ou mesmo, a verificação através de resposta do modelo, com a curva de amortecimento proposta (Costa Neto, 2006).

Em um segundo caso, este protótipo de veículo é testado, e existe a necessidade do refinamento da configuração dos amortecedores visando à melhoria da resposta da suspensão nos terrenos para avaliação subjetiva, assim, é fundamental a medição dos diversos amortecedores testados.

## MATERIAL E MÉTODOS

A estrutura da máquina para ensaio de amortecedores foi desenhada em ferramenta de computação gráfica CAD, seu desenho de montagem pode ser visto na figura 2, contemplando as seguintes peças: 1-Garfo Escocês; 2- Volante; 3-Rolete interno do Garfo Escocês; 4-Viga móvel; 5-Eixo transmissor de rotação; 6-Mancais; 7-Chassi da máquina; 8-Guias lineares.

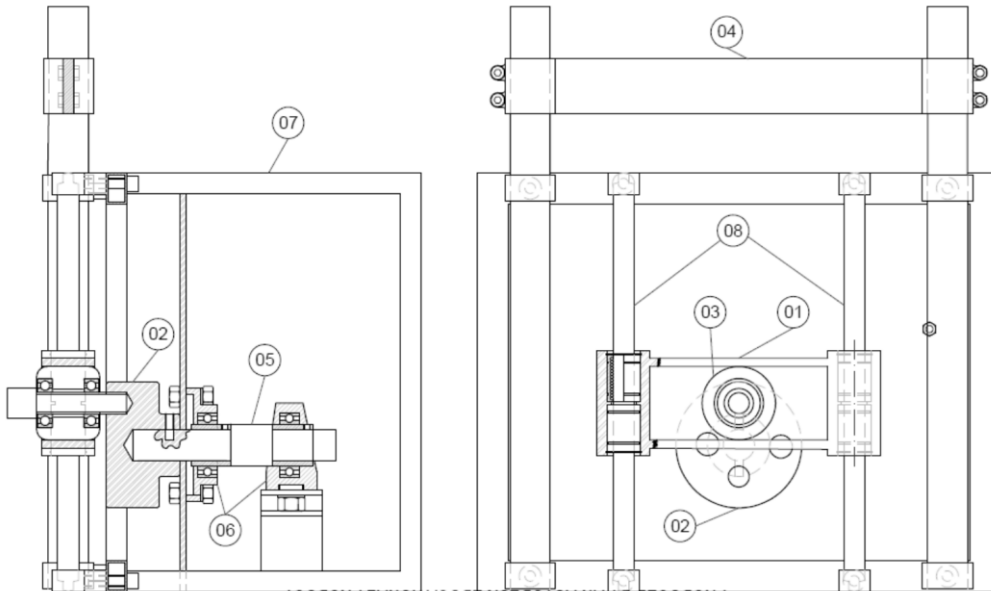
### 1 - Garfo Escocês

O garfo escocês foi o mecanismo escolhido para a transmissão e conversão do movimento angular do motor em movimento linear exercido sobre o amortecedor, devido ao formato simples aliado a uma excelente precisão para coleta de dados por seu comportamento senoidal. É composto por duas placas de 10mm de espessura, espaçadas em 70mm, e dois cubos que servem de assento para os rolamentos lineares, peças em Aço SAE 1020, unidas por solda. Também é constituído de quatro rolamentos lineares separados em pares para cada lateral, os quais deslizam em guias de 20 mm. Na parte superior do garfo é acoplada uma presilha para prender o amortecedor.

## 2- Volante com diferentes cursos

O volante é uma peça maciça feita em aço SAE 1020, composta por assentos de rolamento e diferentes furos para a fixação do rolete, com a função de ajuste de amplitude do movimento oscilatório, 15 mm a 40 mm, para o ensaio do amortecedor. O movimento do motor é transmitido ao volante através de eixo, que por sua vez é acoplado ao volante por união por interferência e atrito.

Figura 2. Desenho de montagem da máquina



## 3- Rolete interno do Garfo Escocês

O rolete é constituído de um rolete de Nylon com rolamento interno para resistência ao desgaste, é fixado ao volante através de uma bucha e um parafuso allen M20 x 2, a superfície girante é inserida no interior do garfo transferindo o movimento do 2-volante para o 1-Garfo escocês.

## 4- Viga Móvel

A viga é uma peça móvel para se ajustar aos diferentes tamanhos de amortecedores, é composta de uma barra chata de aço SAE 1020 com espessura de 10 mm, comprimento 375 mm e altura 50 mm, em suas extremidades estão soldadas cubos bi-partidos para prender a viga aos tubos guia com 38 mm de diâmetro externo, o sistema de aperto é feito com auxílio de parafusos allen M8 x 1,25. Na parte inferior, no centro, é acoplada uma presilha para fixar o amortecedor para o ensaio.

## 5- Eixo transmissor de rotação

O eixo transmissor de rotação tem extremidades fixadas ao motor e ao volante, é apoiado por dois mancais de rolamentos, feito em aço SAE 1020 e escalonado de acordo com os apoios para rolamentos e fixação no volante.

## 6- Mancais

Dois mancais foram usados para suporte do eixo do motor e presos a carcaça da máquina, um mancal do tipo apoio com dois furos de fixação modelo P206 com diâmetro interno de 30 mm e outro do tipo flange com quatro furos de fixação (ou mancal de parede) modelo F206, também com diâmetro interno de 30 mm, ambos com rolamento esférico para cargas radiais e axiais.

## 7- Chassi da máquina

O chassi da máquina é um suporte metálico no qual vão presos os outros componentes da bancada, composta por perfis retangulares e uma chapa de aço frontal onde é preso o mancal “de parede”, modelo F206, e hastes de apoio no seu interior para o segundo mancal, nesses é inserido o eixo transmissor de rotação. Nas barras frontais estão presos os tubos de 38 mm para suporte da viga e

as guias de 20 mm para correr o Garfo Escocês com ajuste de posição, para uma melhor precisão a alinhamento, feito por parafusos allen M10 x 1,5.

### **Dimensionamento estrutural via simulações em software de elementos finitos**

A fim de dimensionamento estrutural da máquina, deve-se conhecer a força nominal máxima que o amortecedor exerce sobre ela, assim, baseado em levantamentos e análise de mercado, foi adotado uma carga nominal máxima de 200 kgf, suficiente para levantar as curvas características da maioria dos amortecedores comerciais existentes no mercado. Também para efeitos de dimensionamento, o fator de segurança de 3 foi adotado, baseado no cálculo e estimativa deste sugerido por Norton (2013) e Shigley (2005).

Foi usado o software *Ansys* em versão estudantil, próprio para modelagem em elementos finitos, nele foram realizados testes de resistência estática e resistência à fadiga nas peças que sofrem sollicitação dinâmica, o garfo escocês e a viga móvel.

A simulação estática procedeu-se através do seguinte método:

- Seleção do material da peça o Aço SAE 1020 em ambas as peças estudadas;
- Condições de contorno: Apoios ou engastamentos e forças aplicadas ao modelo;
- Foi usada uma força de 6.0 kN (200kgf considerando o fator de segurança 3) sobre a superfície interna do garfo nos locais de máxima sollicitação e para viga no onde é preso o amortecedor;
- Foram geradas malhas compostas por elementos tetraédricos em sua grande maioria do domínio e hexaédrica em contornos de furos e concentradores de tensão, para se obter uma maior precisão e convergência nos resultados;
- As peças foram simuladas e os resultados analisados.

Para os estudos de fadiga, foram usados os mesmos resultados das simulações estáticas, entretanto, a tensão de confronto para sollicitações desta natureza foi calculada baseada no tempo de vida (em ciclos) desejado e com o auxílio das curvas S-N de cada material, tensão limite de resistência à fadiga, corrigida pelos coeficientes de entalhes, carregamento, temperatura, dimensional, entre outros.

Assim, pôde-se comprovar a resistência das peças aos esforços, ou até mesmo realizar reforços na estrutural de maneira a corrigir problemas estruturais. O tempo de vida considerado foi de 100000 ciclos, para fadiga de alto ciclo visando o dimensionamento de vida infinita para as peças em questão.

### **RESULTADOS E DISCUSSÃO**

O resultado da simulação estrutural em elementos finitos do garfo escocês pode ser observado na figura 3a, em que é mostrada a tensão de máxima energia de distorção de Von Mises, critério de resistência adequado para materiais dúcteis, conforme Hibbeler (2006). A máxima tensão é encontrada no ponto de aplicação da força que o rolete aplica no garfo escocês, muito devido ao momento fletor causado por esta. O valor encontrado corresponde a 4.9MPa, valor muito abaixo do limite de escoamento de 200MPa, e quando se considera resistência à fadiga, este limite reduz para 48MPa, sendo ainda assim considerado superdimensionado para os esforços sollicitantes.

Através da mesma técnica dos elementos finitos, simulações foram feitas com a viga e podem ser observadas na figura 3b, considerando as mesmas ponderações feitas no parágrafo anterior, o resultado desta simulação, conforme pode ser visto na figura, foi de 0.96MPa, quando comparada à tensão de confronto para resistência à fadiga do material 1020 de 48MPa, verifica-se também o superdimensionamento da estrutura.

Após o projeto e simulações estruturais, as peças foram manufaturadas através de processos convencionais de usinagem e soldagem, conforme pode ser visto na figura 4a.

Na figura 4b e 4c é mostrado o dispositivo montado, conforme previsto no projeto. Este dispositivo servirá como base para a continuidade do projeto, ou seja, instalação do motor e inversor de frequência, para o controle de sua velocidade, instrumentação para a medição de força e velocidade.

Para esta fase do projeto, pôde ser verificada a funcionalidade do dispositivo, ou seja, a transformação do movimento de rotação do volante em movimento linear oscilatório do garfo escocês, para os diferentes cursos, quando alterada a fixação do rolete no volante da máquina.

Figura 3. a) Simulação do garfo escocês; b) Simulação da viga

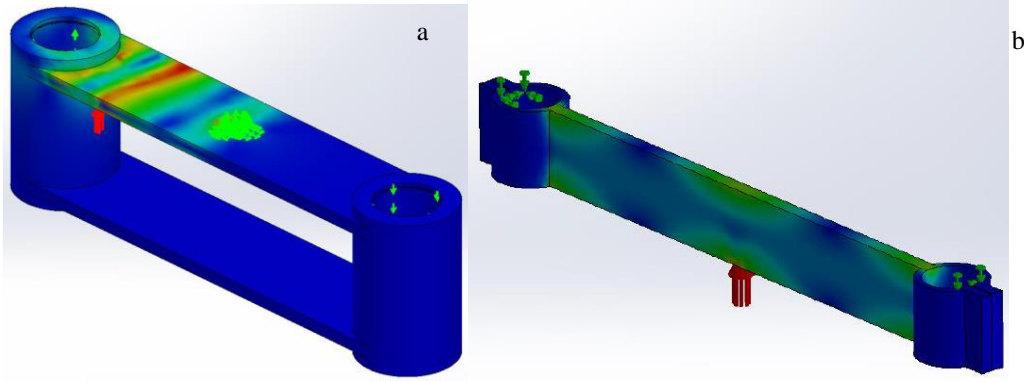
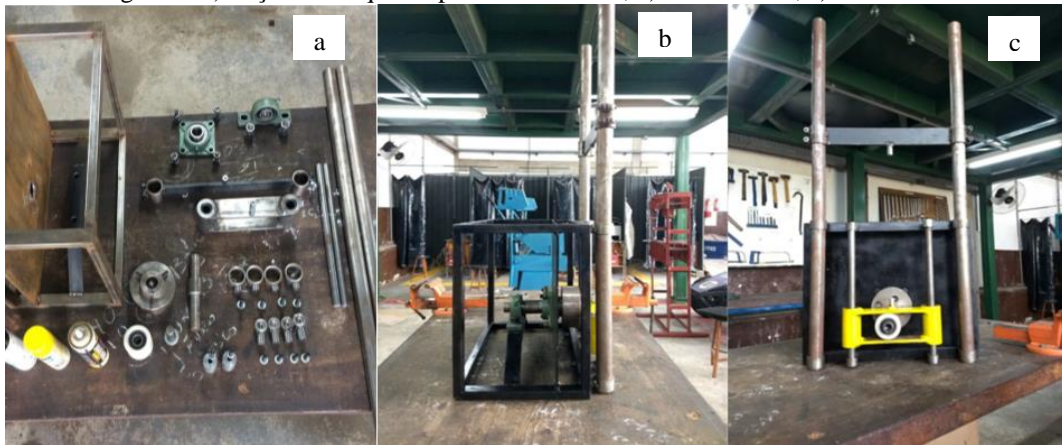


Figura 4. a) Peças da máquina após a manufatura; b) Vista lateral; c) Vista Frontal



## CONCLUSÃO

A bancada para ensaio de amortecedores é bastante útil em se tratando de projetos automotivos, como já elucidado na introdução deste texto.

Existe ainda um cunho didático, podendo ser utilizada no laboratório de Dinâmica para facilitar, ampliar e aprimorar os conhecimentos dos acadêmicos nos cursos de engenharia. Assim, Tal dispositivo será também utilizado nas disciplinas de dinâmica, vibrações e modelagem, visto que com ele será possível executar uma varredura em frequência para um sistema mecânico do tipo massa mola montado nele, e mostrar aos alunos, de maneira prática e didática, o conceito de resposta em frequência, um dos pilares da teoria de dinâmica de sistemas.

Os objetivos desta primeira fase do projeto foram alcançados, que visava à construção do dispositivo que servirá como base para a construção da máquina, tendo como resultado a construção da máquina, pronta para dar-se continuidade no projeto através de sua automação e instrumentação.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a UCDB pelo auxílio financeiro e por ter cedido seus laboratórios de manufatura.

## REFERÊNCIAS

- Costa Neto, A. Dinâmica Veicular, SAE Brasil, 2006.
- Gillespie, T.D., Fundamentals of vehicle dynamics. 2nd Ed. Warrendale, United States: SAE International, 1991.
- Hibbeler, R.C., Resistência dos materiais. 5ª ed. São Paulo: Pearson – Prentice Hall, 2006
- Milliken, William F.; Milliken, Douglas L. Race car vehicle dynamics. Warrendale: Society of Automotive Engineers, 1995.
- Norton, R. L. Projeto de Máquinas. 4ª ed. Porto Alegre: Bookman, 2013.
- Reimpell, J. and Stoll, H., The Automotive Chassis: Engineering Principles, Great Britain, 1996.
- Shigley, Joseph E. et al. Projetos de Engenharia Mecânica. 7ª ed. Porto Alegre: Bookman, 2005.