

# ESTUDO SOBRE SUSPENSÃO AUTOMOTIVA FOCADO EM VEÍCULOS OFF-ROAD

Rogério Bocuzzi Macorin  
E-mail: rogerio.macorin@poli.usp.br

- Marcelo A. de Alves

**Resumo.** Esse projeto visa estudar o sistema de suspensão automotiva, esclarecendo as influências de diversas configurações de geometrias existentes, focando em soluções para veículos off-road. Para a conclusão do estudo será desenvolvida uma bancada onde se pode configurar uma geometria de uma meia suspensão dianteira para diversas possibilidades de dimensões e ângulos (dentro das limitações da geometria da bancada) e simular fisicamente a movimentação das bandejas e rotação da roda, visualizando a resposta da suspensão em movimento.

**Palavras-chave.** suspensão, veículo off-road.

## 1. Introdução

De uma maneira geral, todos os veículos são constituídos pelos mesmos elementos. Tem-se, em quase todos os tipos, um chassi, que é o suporte do veículo; uma cobertura para conduzir os passageiros ou carga, que se chama carroçaria; um conjunto moto-propulsor constituído por um motor e transmissão de movimento, que é capaz de criar a energia para deslocar o veículo.

Há ainda outros elementos com certas funções básicas. Entre eles, os principais são:

- **Direção:** todo veículo deve ter um sistema de direção, que é capaz de fazê-lo deslocar-se para onde se deseja;
- **Suspensão:** o veículo deve possuir ainda um sistema de suspensão, para não transmitir aos passageiros ou carregar as oscilações do veículo, quando passar em terreno irregular.

### • Definição

Diz-se de suspensão o conjunto de peças que adequa a transmissão de energia da excitação de base (uma lombada, por exemplo) e a capacidade de aderência do veículo ao solo. Ela é constituída basicamente por um conjunto de mola e amortecedor. O conjunto suspensão pode ser considerado como um filtro mecânico, pois pode permitir ou rejeitar faixas de freqüências do espectro da excitação do solo. Por isso, carros off-roads e urbanos possuem características dispareces quanto ao desempenho. É pertinente ressaltar que o primeiro, em geral, possui exigências maiores quanto às solicitações mecânicas, tornando o projeto de suspensão mais restritivo.

No eixo dianteiro quase todos os veículos usam suspensão independente. Quando a suspensão não é independente, tem-se um eixo apenas e uma mola em cada roda (ou ainda uma mola única, bem no centro). Na suspensão independente, em vez de um eixo só, tem-se dois meios-eixos e, na ponta de cada um, as rodas. Como resultado, ao passar num buraco, apenas a roda afetada trepida; a outra não. Esta é a grande vantagem da suspensão independente.

O sistema se completa por um amortecedor, cuja função é amortecer as oscilações que a mola criou. Se não houvesse amortecedor, a carroçaria oscilaria para cima e para baixo, e essas oscilações demorariam a acabar. Graças ao amortecedor, essas oscilações diminuem rapidamente, melhorando as condições de conforto dos passageiros.

Em geral, as suspensões permitem ajustes e acertos. Entre eles temos: convergência (toe angle), cambagem (camber), caster, pressão de óleo e molas no amortecedor, vários tipos de rodas e pneus (que também influenciam na ação da suspensão) etc. Enfim, um carro poderá ter um rendimento compatível com o acerto feito, para os mais diversos tipos de traçados e regiões.

### • Tipo de terreno

O tipo de terreno, que pode ser asfalto, terra ou um circuito misto (Rally), definirá a geometria da suspensão do veículo. Grosso modo pode-se dizer que para andar no asfalto ele deverá ter a suspensão baixa para auxiliar na estabilidade e não capotar em curvas de alta velocidade. Para andar na terra o ideal é uma suspensão mais alta, para poder passar por lombadas e desníveis. Já em circuitos mistos, utiliza-se uma altura intermediária.

## 2. Objetivos

Durante o curso de uma suspensão, dependendo do modelo da mesma, podem ocorrer grandes variações de convergência e cambagem, o que não é interessante para o desempenho do veículo. Outros parâmetros que podem ser abordados no projeto de uma suspensão são os ângulos de caster, de pino mestre (king pin), de mergulho (dive), de agachamento (squat) e ainda a distância entre eixos, a distância entre as rodas (total track) e as constantes das molas e amortecedores.

Serviço de Bibliotecas  
Biblioteca de Engenharia Mecânica, Naval e Oceanográfica

O objetivo deste projeto é realizar um estudo sobre suspensão focando em soluções para veículos off-road, além de escolher e modelar um sistema, exemplificando a metodologia de desenvolvimento de uma suspensão e, por fim, construir uma bancada capaz de realizar testes físicos dos modelos estudados no software e sendo ainda extremamente útil didaticamente, para aqueles que estão iniciando seus estudos sobre suspensão.

O sistema escolhido deve possuir uma geometria a qual, ao mesmo tempo, atenda às necessidades de uma suspensão off-road, caracterizada por permitir longos percursos, e ainda seja factível, pois deverá ser testado na bancada a ser construída.

O interessante é desenvolver um modelo que apresente uma solução melhor que as encontradas atualmente no mercado automotivo, isto é, fugir dos modelos tradicionalmente utilizados pelos fabricantes de automóveis e buscar soluções mais otimizadas.

### 3. Metodologia

O primeiro passo do projeto foi a realização de um estudo dos modelos de suspensão (onroads e offroads) que poderiam ser utilizados tanto para a dianteira quanto para a traseira.

A dianteira possui basicamente duas opções, que seriam a MacPherson (apenas uma bandeja) e a de Bandeja Dupla (ou duplo A). Na traseira as opções principais seriam Monochoque, onde as suas rodas movem-se juntas, Bandeja Simples, Bandeja Dupla ou ainda a Facão, onde se tem apenas três pontos de apoio para a roda: um do conjunto mola-amortecedor, um do próprio eixo de transmissão e um terceiro ponto que serve apenas de apoio.

Estudadas as possibilidades e focando no objetivo de desenvolver uma suspensão com um curso interessante, minimizando as variações indesejadas como alinhamento, cambagem, etc. o modelo de suspensão escolhido, tanto para dianteira quanto para a traseira, é o de bandeja dupla. Esse modelo é o que garante maior precisão de movimento. Os dois pontos fracos mais significativos, e que influenciam a indústria automobilística a não utilizá-lo são fato de ser um modelo que normalmente apresenta mais peso (no caso o projeto prioriza o desempenho da suspensão e não a velocidade a ser atingida) e a questão de ocupar mais espaço, o que não é prejudicial para um veículo offroad, que é normalmente utilizado em competições. No caso, a bandeja superior será representada apenas por uma barra, que facilita tanto o dimensionamento quanto a construção.

Deve-se ainda, verificar o peso médio de um veículo como este e estimar o baricentro do veículo montado, o que é essencial para o dimensionamento das molas e amortecedores e para a definição de uma geometria de suspensão viável.

Inicia-se então a modelagem em sistema, feita com auxílio do software ADAMS. Nesse software, utilizando o ADAMS/Car é possível “carregar” as opções de suspensão traseira e dianteira, montar um veículo, alterar os parâmetros desejados e gerar gráficos de simulações dinâmicas da resposta do veículo, sujeitando-o a movimentações verticais e ainda rotações da roda (simulação de resposta em curvas).

Figura 1. Modelo de suspensão dianteira carregado no ADAMS/Car.

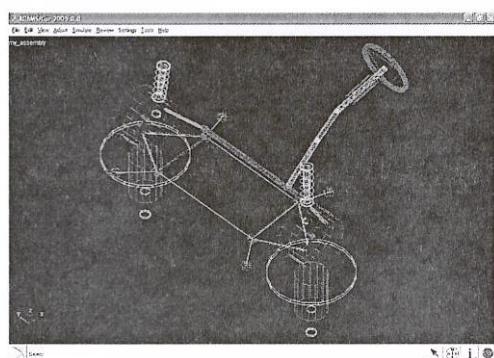


Figura 2. Tela de processamento de dados do software. No caso esta sendo processado uma simulação de movimentação vertical da suspensão.

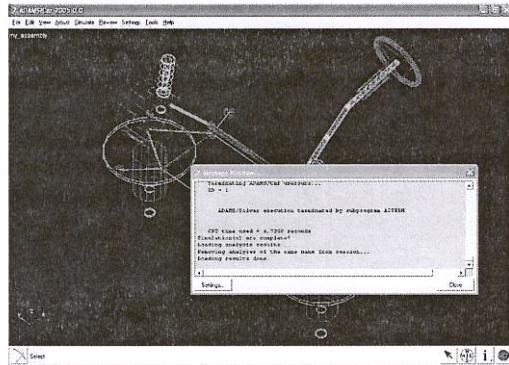


Figura 3. Tela de simulação dinâmica da movimentação vertical da suspensão.

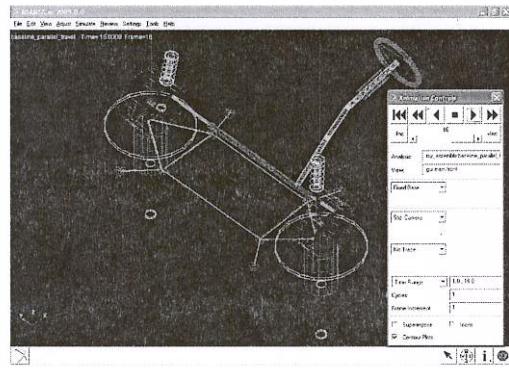
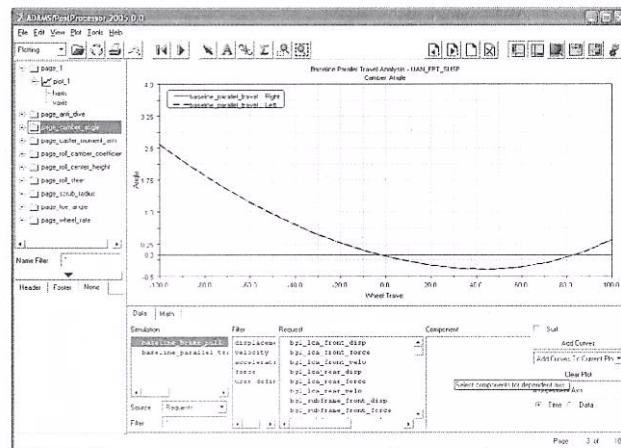


Figura 4. Tela de pós-processamento do software, onde é possível avaliar os resultados em gráficos. No caso, segue um gráfico da variação da cambagem em função da movimentação vertical da suspensão avaliada.



Com a geometria de suspensão definida é possível iniciar o dimensionamento das molas e amortecedores. Caso os valores obtidos nesse dimensionamento não sejam satisfatórios, pode ser necessário reiniciar o processo de definição da geometria da suspensão.

As molas de um veículo são dimensionadas partindo-se da freqüência que se deseja obter no veículo, uma vez que a freqüência é justamente uma função da constante de elasticidade da mola e da massa apoiada na mesma, conforme a equação:

$$f = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{k}{m}} \quad (1)$$

Para definir o valor do fator de amortecimento (C) dos amortecedores deve-se, primeiro, escolher a razão de amortecimento (R) em função do fator de amortecimento crítico que se pretende utilizar. Valores baixos (próximos a 0,3) garantem maior conforto enquanto valores altos (como 0,7) proporcionam melhor desempenho. O fator de amortecimento crítico pode ser obtido pela seguinte fórmula:

$$C_{crit} = 2\sqrt{k \cdot m} \quad (2)$$

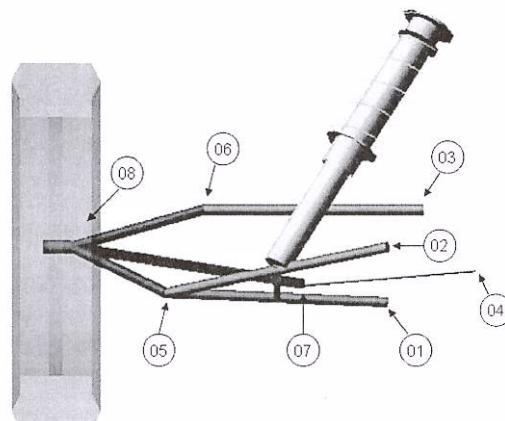
E teremos então:

$$\frac{C}{C_{crit}} = R \quad (3)$$

#### 4. Projeto Físico

Para a elaboração de uma bancada que permita testar diversas possibilidades de geometrias de suspensão, é preciso que ela permita a liberdade espacial (nos três eixos) para todos os pontos (definidos como hardpoints) da suspensão, identificados numericamente na figura a seguir.

Figura 5. Visão frontal da suspensão dianteira a ser modelada em bancada.



Os pontos definidos pelos números 01, 02, 03 e 04 são posicionados espacialmente pela estrutura da bancada a partir de movimentações nos três eixos, possibilitadas pelo deslizamento de tubos de  $1 \frac{1}{4}$ " concentricamente a tubos de  $\frac{3}{4}$ ", separados por buchas torneadas em poliuretano. A posição é fixada por parafusos que se alojam em porcas soldadas nos tubos de  $1 \frac{1}{4}$ " e pressionam a bucha contra o tubo de  $\frac{3}{4}$ ".

Os demais pontos são definidos pela alteração dos comprimentos das barras que representam as bandejas e barra de direção (também pelo sistema de buchas e parafusos de fixação) e pela definição da peça que representa a manga de eixo.

Figura 6. Visão completa da bancada.

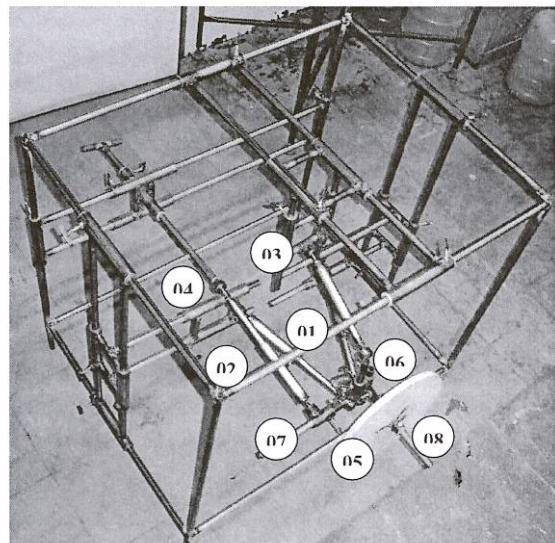
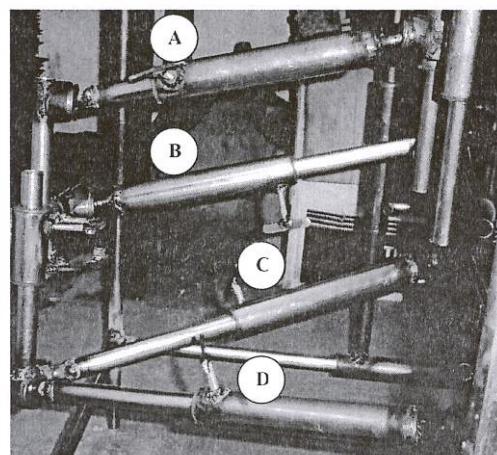
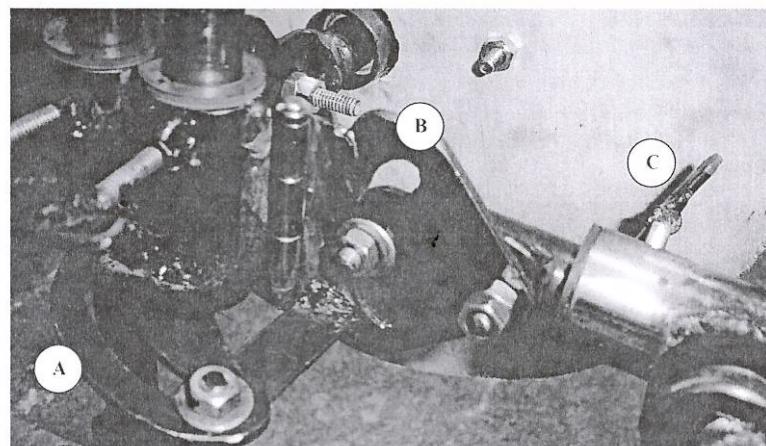


Figura 7. Na figura, A representa a bandeja superior, B a barra de direção e C e D a bandeja inferior.



No detalhe da peça que faz as vezes da manga de eixo pode-se notar em A e B as liberdades de rotação e em C a regulagem da distância para se definir o ângulo de ackerman.

Figura 8. Detalhe da manga de eixo.



## 5. Conclusões

Neste trabalho foram apresentados os procedimentos utilizados para o desenvolvimento de um modelo de suspensão, os quais podem ser aplicados para qualquer tipo de veículo que as necessite.

Partindo-se dos gráficos de resposta do sistema utilizado, sabendo-se modificar os parâmetros necessários tais como tamanho de bandeja, pontos de fixação, ângulo de caster, etc. e com uma correta interpretação dos resultados obtidos pode-se, empiricamente, chegar aos valores ideais para o tipo de suspensão que se deseja criar.

Os métodos de obtenção de constantes de elasticidade e de fatores de amortecimento também podem ser utilizados de forma reversa (como premissas do projeto), desenhando-se então uma suspensão específica para os parâmetros que se têm.

A partir da bancada desenvolvida é possível facilmente se estudar possíveis geometrias de suspensão fisicamente, antes de uma aproximação a partir de softwares, facilitando a visualização, principalmente para aqueles que estão iniciando seus estudos acerca de suspensões. Ela pode, portanto, ser usada como método didático de estudo.

## 6. Agradecimentos

Agradeço a todos os membros da Equipe POLI de Mini Baja por todo o conhecimento que tive a oportunidade de dividir com cada um deles, não apenas sobre suspensão como também sobre diversos outros subsistemas automotivos e principalmente sobre trabalho em equipe. Agradeço em especial aos professores Roberto Ramos Junior e Marcelo Augusto Leal Alves, que tanto contribuíram para o crescimento dessa equipe.

## 7. Referências Bibliográficas

- KAMINSKI, P.C. **Desenvolvendo produtos, planejamento, criatividade e qualidade.** LTC Editora S.A., 1. ed. Rio de Janeiro, 2000.
- SERVIÇO DE BIBLIOTECAS DA EPUSP. **Diretrizes para apresentação de trabalhos Finais.** São Paulo, 2005.  
Site <http://pt.wikipedia.org>, acessado em 11/03/2006.  
Site <http://www.planetaoffroad.com.br>, acessado em 18/03/2006.  
Site <http://www.mecanicaonline.com.br>, acessado em 8/04/2006

## 8. Direitos Autorais

### Automotive Suspension Study Focused on Off-Road Vehicles

Rogério Bocuzzi Macorin

E-mail: rogerio.macorin@poli.usp.br

*Abstract. This project main purpose is to study the automotive suspension system, clarifying the influences of many existing geometries configurations, focusing on off-road vehicles solutions. At the end of this study, a bench will be manufactured, where a half front geometry can be configured with many possibilities of sizes and angles (respecting the bench limitations) and a physical test of the suspension vertical movement and tire rotation could be done, visualizing this way the suspension reaction for the geometry implemented.*

*Keywords. Suspension, Off-Road Vehicle*