



Henrique Ajuz Holzmann
João Dallamuta
(Organizadores)

Impactos das Tecnologias na Engenharia Mecânica 2

Atena
Editora
Ano 2019

Henrique Ajuz Holzmann
João Dallamuta
(Organizadores)

Impactos das Tecnologias na
Engenharia Mecânica
2

Atena Editora
2019

2019 by Atena Editora

Copyright © da Atena Editora

Editora Chefe: Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

Diagramação e Edição de Arte: Lorena Prestes e Geraldo Alves

Revisão: Os autores

Conselho Editorial

Prof. Dr. Alan Mario Zuffo – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul
Prof. Dr. Álvaro Augusto de Borba Barreto – Universidade Federal de Pelotas
Prof. Dr. Antonio Carlos Frasson – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Prof. Dr. Antonio Isidro-Filho – Universidade de Brasília
Profª Drª Cristina Gaio – Universidade de Lisboa
Prof. Dr. Constantino Ribeiro de Oliveira Junior – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Drª Daiane Garabeli Trojan – Universidade Norte do Paraná
Prof. Dr. Darllan Collins da Cunha e Silva – Universidade Estadual Paulista
Profª Drª Deusilene Souza Vieira Dall’Acqua – Universidade Federal de Rondônia
Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Prof. Dr. Fábio Steiner – Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul
Prof. Dr. Gianfábio Pimentel Franco – Universidade Federal de Santa Maria
Prof. Dr. Gilmei Fleck – Universidade Estadual do Oeste do Paraná
Profª Drª Girlene Santos de Souza – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia
Profª Drª Ivone Goulart Lopes – Istituto Internazionele delle Figlie de Maria Ausiliatrice
Profª Drª Juliane Sant’Ana Bento – Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Prof. Dr. Julio Candido de Meirelles Junior – Universidade Federal Fluminense
Prof. Dr. Jorge González Aguilera – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul
Profª Drª Lina Maria Gonçalves – Universidade Federal do Tocantins
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Profª Drª Paola Andressa Scortegagna – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Drª Raissa Rachel Salustriano da Silva Matos – Universidade Federal do Maranhão
Prof. Dr. Ronilson Freitas de Souza – Universidade do Estado do Pará
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista
Prof. Dr. Urandi João Rodrigues Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará
Prof. Dr. Valdemar Antonio Paffaro Junior – Universidade Federal de Alfenas
Profª Drª Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande
Profª Drª Vanessa Lima Gonçalves – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Prof. Dr. Willian Douglas Guilherme – Universidade Federal do Tocantins

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) (eDOC BRASIL, Belo Horizonte/MG)

I34 Impactos das tecnologias na engenharia mecânica 2 [recurso eletrônico] / Organizadores Henrique Ajuz Holzmann, João Dallamuta. – Ponta Grossa (PR): Atena Editora, 2019. – (Impactos das Tecnologias na Engenharia Mecânica; v. 2)

Formato: PDF

Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader

Modo de acesso: World Wide Web

ISBN 978-85-7247-247-0

DOI 10.22533/at.ed.470190504

1. Automação industrial. 2. Engenharia mecânica – Pesquisa – Brasil. 3. Produtividade industrial. 4. Tecnologia. I. Holzmann, Henrique Ajuz. II. Dallamuta, João. III. Série.

CDD 670.427

Elaborado por Maurício Amormino Júnior – CRB6/2422

O conteúdo dos artigos e seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva dos autores.

2019

Permitido o download da obra e o compartilhamento desde que sejam atribuídos créditos aos autores, mas sem a possibilidade de alterá-la de nenhuma forma ou utilizá-la para fins comerciais.

www.atenaeditora.com.br

APRESENTAÇÃO

A Engenharia Mecânica pode ser definida como o ramo da engenharia que aplica os princípios de física e ciência dos materiais para a concepção, análise, fabricação e manutenção de sistemas mecânicos

Nos dias atuais a busca pela redução de custos, aliado a qualidade final dos produtos é um marco na sobrevivência das empresas. Nesta obra é conciliada duas atividades essenciais a um engenheiro mecânico: Projetos e Simulação.

É possível observar que na última década, a área de projetos e simulação vem ganhando amplo destaque, pois através de simulações pode-se otimizar os projetos realizados, reduzindo o tempo de execução, a utilização de materiais e os custos finais.

Dessa forma, são apresentados trabalhos teóricos e resultados práticos de diferentes formas de aplicação e abordagens nos projetos dentro da grande área das engenharias.

Trabalhos envolvendo simulações numéricas, tiveram um grande avanço devido a inserção de novos softwares dedicados a áreas específicas, auxiliando o projetista em suas funções. Sabe-los utilizar de uma maneira eficaz e eficiente é um dos desafios dos novos engenheiros.

Neste livro são apresentados vários trabalhos, alguns com resultados práticos, sobre simulações em vários campos da engenharia industrial, elementos de maquinas e projetos de bancadas práticas.

Um compendio de temas e abordagens que constituem a base de conhecimento de profissionais que se dedicam a projetar e fabricar sistemas mecânicos e industriais.

Boa leitura

Henrique Ajuz Holzmann
João Dallamuta

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1	1
RESOLUÇÃO DA EQUAÇÃO DA DIFUSÃO UNIDIMENSIONAL COM SOLUÇÃO SUAVE UTILIZANDO MALHA ADAPTATIVA	
<i>Gabriel Marcos Magalhães</i>	
<i>Hélio Ribeiro Neto</i>	
<i>Aristeu da Silveira Neto</i>	
DOI 10.22533/at.ed.4701905041	
CAPÍTULO 2	14
USO DE MALHAS NÃO-ESTRUTURADAS NA RESOLUÇÃO DA EQUAÇÃO DA DIFUSÃO	
<i>Gabriel Marcos Magalhães</i>	
<i>Alessandro Alves Santana</i>	
DOI 10.22533/at.ed.4701905042	
CAPÍTULO 3	29
MÉTODOS NUMÉRICOS: DIFERENÇAS FINITAS E GUIA DE ONDAS DIGITAIS 1D E 2D - COMPARATIVO DE FREQUÊNCIAS	
<i>Brenno Lobo Netto Peixoto</i>	
<i>Marlipe Garcia Fagundes Neto</i>	
DOI 10.22533/at.ed.4701905043	
CAPÍTULO 4	43
INFLUÊNCIA DA DISCRETIZAÇÕES ESPACIAL E TEMPORAL EM PROBLEMA PURAMENTE ADVECTIVO	
<i>Thiago Fernando Santiago de Freitas</i>	
<i>Andreia Aoyagui Nascimento</i>	
DOI 10.22533/at.ed.4701905044	
CAPÍTULO 5	53
FRONTEIRA IMERSA PARA CORPOS ESBELTOS	
<i>João Rodrigo Andrade</i>	
<i>Aristeu Silveira Neto</i>	
DOI 10.22533/at.ed.4701905045	
CAPÍTULO 6	61
MATHEMATICAL AND NUMERICAL MODELLING OF GAS-SOLID TURBULENT FLOWS IN COMPLEX GEOMETRIES	
<i>Stella Rodrigues Ferreira Lima Ribeiro</i>	
<i>Letícia Raquel de Oliveira</i>	
<i>João Marcelo Vedovoto</i>	
<i>Aristeu da Silveira Neto</i>	
DOI 10.22533/at.ed.4701905046	
CAPÍTULO 7	69
ESTUDO NUMÉRICO DA DISTRIBUIÇÃO DE TEMPERATURA TRANSIENTE EM PLACAS	
<i>William Denner Pires Fonseca</i>	

*Táisa Santos Machado
Eduardo Mendonça Pinheiro
José Felipe Lopes de Carvalho
Sidney da Conceição Alves
Thiago Santana de Oliveira*

DOI 10.22533/at.ed.4701905047

CAPÍTULO 8 83

IDENTIFICAÇÃO EXPERIMENTAL E PROJETO DE UM PID PARA UM SERVOMECANISMO

*Wesley Pereira Marcos
Rodrigo Hiroshi Murofushi
Bruno Luiz Pereira*

DOI 10.22533/at.ed.4701905048

CAPÍTULO 9 98

MODELAGEM ESTOCÁSTICA DE ESTRUTURAS COMPÓSITAS CONTENDO SHUNT RESISTIVO PARA O CONTROLE PASSIVO DE VIBRAÇÕES

*Lorrane Pereira Ribeiro
Antônio Marcos Gonçalves de Lima
Victor Augusto da Costa Silva*

DOI 10.22533/at.ed.4701905049

CAPÍTULO 10 114

PROJETO E ANÁLISE DE VIBRAÇÕES POR ELEMENTOS FINITOS DE UM CHASSI TIPO SPACE FRAME MINI-BAJA

*Marcos Claudio Gondim
Ellberlandyo Lima Grangeiro
Antonio Eurick Soares Campelo
Lucas Rodrigues Oliveira
Bruno de Oliveira Carvalho*

DOI 10.22533/at.ed.47019050410

CAPÍTULO 11 126

SIMULAÇÕES DOS ESFORÇOS VIBRACIONAIS DO CABO CAA 795 MCM (TERN) ATRAVÉS DE MÉTODOS ANALÍTICOS E NUMÉRICOS DE VIBRAÇÃO

*Jhonattan Dias
Rodrigo Canestraro Quadros
Marcos Jose Mannala
Marcio Tonetti*

DOI 10.22533/at.ed.47019050411

CAPÍTULO 12 133

PROJETO E CONSTRUÇÃO DE UM SISTEMA DE FREIO APLICADO A UM VEÍCULO OFF-ROAD DO TIPO BAJA-SAE

*Felipe Alencar Motta
Lucas Rocha Dias da Silva*

DOI 10.22533/at.ed.47019050412

CAPÍTULO 13	146
OTIMIZAÇÃO DA ESCOLHA DA RELAÇÃO DE TRANSMISSÃO DE VEÍCULOS AUTOMOTORES ATRAVÉS DE MODELAGEM MATEMÁTICA: O PROJETO BAJA SAE	
<i>Pedro Melo Biz</i> <i>Leonardo Gomes</i> <i>Antônio Brasil</i>	
DOI 10.22533/at.ed.47019050413	
CAPÍTULO 14	157
ANÁLISE CINEMÁTICA DE SUSPENSÃO TRAILING ARM COM CAMBER LINKS PARA VEÍCULO OFF-ROAD	
<i>Francisco José Rodrigues de Sousa Júnior</i> <i>João Lucas Jacob Araújo</i> <i>Gustavo Luis dos Santos Silva</i> <i>Antônio Ítalo Rodrigues Pedrosa</i>	
DOI 10.22533/at.ed.47019050414	
CAPÍTULO 15	169
APLICAÇÃO DE EQUAÇÕES DIFERENCIAIS DE 2ª ORDEM EM SUSPENSÃO VEICULAR	
<i>Alaí de Souza Machado</i> <i>Pedro Henrique Rodrigues Taveira</i> <i>Filipe Gomes Soares</i> <i>Domingos dos Santos Ponciano</i> <i>Marcus Victor de Brito Rodrigues</i> <i>João Lucas Jacob Araújo</i> <i>Gean Carlos Moura Mota</i>	
DOI 10.22533/at.ed.47019050415	
CAPÍTULO 16	178
ANÁLISE AERODINÂMICA: SIMULAÇÃO FLUIDO DINÂMICA DO PROTÓTIPO EC-05 DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DA EQUIPE COYOTE	
<i>Paulo Henrique Pereira Araujo</i> <i>Josué Alves Rodrigues Junior</i> <i>Thaiane Mayara Marques Licar</i>	
DOI 10.22533/at.ed.47019050416	
CAPÍTULO 17	190
APLICAÇÃO DE SISTEMAS NEURO-FUZZY NA PREDIÇÃO DO COEFICIENTE DE SUSTENTAÇÃO DO AEROFÓLIO NACA 1412	
<i>Vitor Taha Sant'Ana</i> <i>Bruno Luiz Pereira</i> <i>Tobias Moraes</i> <i>Roberto Mendes Finzi Neto</i>	
DOI 10.22533/at.ed.47019050417	

CAPÍTULO 18	195
AVALIAÇÃO DA IMPLEMENTAÇÃO DE TÉCNICAS DE CONTROLE ATIVO DE RUÍDO EM VENEZIANAS ACÚSTICAS COM CONFIGURAÇÕES DISTINTAS VIA ELEMENTOS FINITOS	
<i>Geisa Arruda Zuffi</i>	
<i>Fabiana Alves Pereira</i>	
<i>Marcus Antonio Viana Duarte</i>	
DOI 10.22533/at.ed.47019050418	
CAPÍTULO 19	203
ABSORVEDORES ACÚSTICOS DE RUÍDO: MODELAGEM NUMÉRICA	
<i>Fabiana Alves Pereira</i>	
<i>Geisa Arruda Zuffi</i>	
<i>Israel Jorge Cárdenas Nuñez</i>	
<i>Marcus Antonio Viana Duarte</i>	
DOI 10.22533/at.ed.47019050419	
CAPÍTULO 20	211
INVESTIGAÇÃO DA INFLUÊNCIA DA ESCOLHA DAS DIMENSÕES DO RECEPTOR NO MÉTODO DO TRAÇADO DE RAIOS ACÚSTICOS	
<i>Henrique Gebran Silva</i>	
<i>Marlipe Garcia Fagundes Neto</i>	
<i>Pollyana Alves Resende</i>	
DOI 10.22533/at.ed.47019050420	
SOBRE OS ORGANIZADORES	228

ANÁLISE CINEMÁTICA DE SUSPENSÃO TRAILING ARM COM CAMBER LINKS PARA VEÍCULO *OFF-ROAD*

**Francisco José Rodrigues de Sousa
Júnior**

Instituto Federal do Piauí – IFPI
Teresina - Piauí

João Lucas Jacob Araújo

Instituto Federal do Piauí – IFPI
Teresina - Piauí

Gustavo Luis dos Santos Silva

Instituto Federal do Piauí – IFPI
Teresina – Piauí

Antônio Ítalo Rodrigues Pedrosa

Instituto Federal do Piauí – IFPI
Teresina – Piauí

RESUMO: A suspensão automotiva desempenha papel fundamental no controle da estabilidade dos carros, isolamento das vibrações provenientes da pista e conforto dos passageiros e aumento da segurança. O desenvolvimento de um bom projeto e a análise prévia do seu desempenho antes de sua manufatura permite aos desenvolvedores melhor previsão do comportamento do sistema. Sendo assim, este artigo tem o intuito de desenvolver a metodologia utilizada para o projeto cinemático da suspensão traseira do veículo baja da equipe IFPI Baja SAE. Utilizou-se o software Lotus Suspension Analysis para complementar a análise cinemática.

PALAVRAS-CHAVE: Suspensão, Baja, Análise

ABSTRACT: The automotive suspension plays a key role in controlling the stability of the cars, isolating vibrations from the runway, providing passenger comfort and increasing safety. The development of a good design and the prior analysis of its performance before its manufacture allows the developers to better predict the behavior of the system. Therefore, this article intends to develop the methodology used for the kinematic design of the rear suspension vehicle of the IFPI Baja SAE team. Lotus Shark Analysis software was used to complete the kinematic analysis.

KEYWORDS: Suspension, Baja, Analysis

1 | INTRODUÇÃO

A Sociedade de Engenheiros da Mobilidade (SAE) é uma entidade sem fins lucrativos que associa pessoas físicas como engenheiros, técnicos e executivos com o fim de produzir e disseminar conhecimentos e técnicas ligadas à tecnologia da mobilidade. Dentre as atividades desenvolvidas por essa instituição, destaca-se o programa Baja SAE Brasil. Nesse programa, um desafio é lançado aos estudantes de Engenharia: desenvolver um veículo off road desde sua concepção, projeto detalhado, construção até os testes. Oferecendo, assim, a chance de aplicar na prática os conhecimentos

adquiridos em sala de aula.

O projeto de um carro baja pode ser dividido em subprojetos que representam os subsistemas do carro. Dentre esses, a suspensão é a responsável por: promover ótima dirigibilidade, estabilidade e conforto para o piloto, manter o maior contato possível entre pneu-solo, isolar o chassi das vibrações e impactos gerados pelas condições do terreno e resistir à rolagem do chassi.

Segundo Gillespie (1992), as suspensões automotivas são geralmente divididas em dois grupos: eixos rígidos e suspensões independentes. Sendo que cada grupo possui funcionalidade diferentes. As de eixo rígido são caracterizadas por possuírem as rodas montadas no final de um eixo, portanto, o movimento de uma das rodas é transmitido para a oposta. Já as independentes permitem que cada roda se mova verticalmente sem interferir no movimento da outra. Dentre as suspensões independentes, a trailing arm com camber links, é obtida a partir de uma mudança da configuração da suspensão trailing arm. Ela caracteriza-se por possuir um trailing arm regular e dois links na direção lateral para controlar a variação de camber e suportar carregamentos laterais durante o curso da suspensão, como observa-se na Fig. (1).

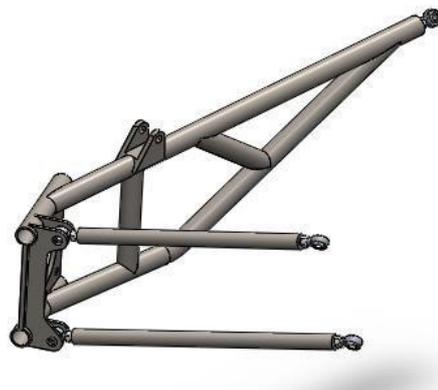


Figura 1. Suspensão trailing arm com camber links

As principais vantagens dessa configuração são: melhor capacidade de suportar cargas laterais, melhor controle de camber durante o trabalho da suspensão, melhores características anti's e menor número de componentes. Em contrapartida, sua complexidade de projeto é alta o que pode aumentar o seu custo. Para suspensões traseiras, os principais parâmetros cinemáticos são o camber e o toe. Segundo Dixon (2009), camber representa a inclinação entre o eixo central do pneu e o eixo vertical na vista frontal do carro, ele influencia em alguns parâmetros como o contato pneu-solo durante o curso da suspensão. Ocorre camber negativo quando a parte superior do pneu é mais interna que a parte inferior, sendo o oposto no caso positivo. Toe refere-se ao ângulo entre o as linhas do plano central das rodas e o eixo longitudinal do veículo, gerando geometrias convergentes (quando o plano central das rodas se encontram na frente do veículo), ou divergentes (quando os planos não se cruzam). Sendo assim, o presente artigo trata do projeto cinemático da suspensão traseira do protótipo Baja da

equipe IFPI Baja SAE.

2 | METODOLOGIA

A análise cinemática da suspensão traseira foi realizada através dos passos da Fig. (2):



Figura 2. Passos do processo iterativo

Formando-se um processo iterativo até que os parâmetros ótimos sejam encontrados.

2.1 Parâmetros do carro:

No início do projeto, através de uma pesquisa benchmarking e definição de metas, admitiu-se os dados de entrada alvo que foram organizados na Tab. 1:

Entre eixo	1500 mm
Curso de compressão (Bump)	100 mm
Curso de decompressão (Rebound)	70 mm
Bitola traseira	1320 mm
Raio do Pneu	266,70 mm
Altura do eixo de saída de transmissão	358,94 mm
Variação de Toe	-3° até 3°
Variação de Camber	-3° até 3°
Altura do centro de gravidade	600 mm
Amortecedores	Fox Float 3 Factory Series

Tabela 1. Parâmetros de entrada

2.2 FVSA (Front View Swing Arm)

A Front View Swing Arm representa a vista frontal da suspensão, ela é responsável por controlar variações na altura do centro de rolagem e mudanças no ângulo de camber. A FVSA foi definida através do método dos centros instantâneos, como segue em Fig. (3), Fig. (4) e Fig (5). Ou seja, prolongou-se as linhas correspondentes aos braços de suspensão e ao semieixo até um ponto em comum, o centro instantâneo, mas respeitando-se as restrições dos dados de entrada.

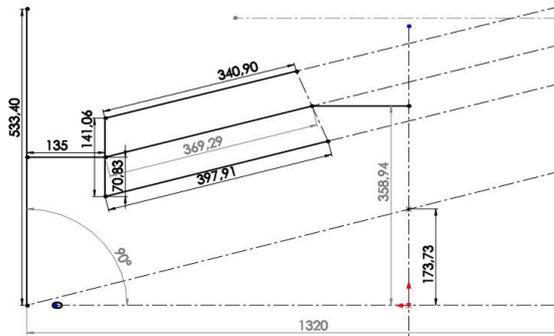


Figura 3. Front View da suspensão

Observa-se que as restrições de bitola e altura do eixo de saída foram respeitadas. Além disso, o centro de rolagem encontra-se a 173 mm do chão.

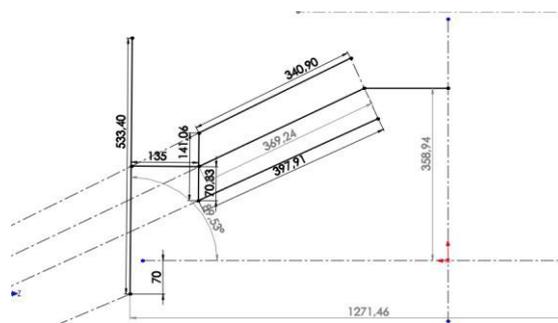


Figura 4. FVSA da suspensão em Rebound

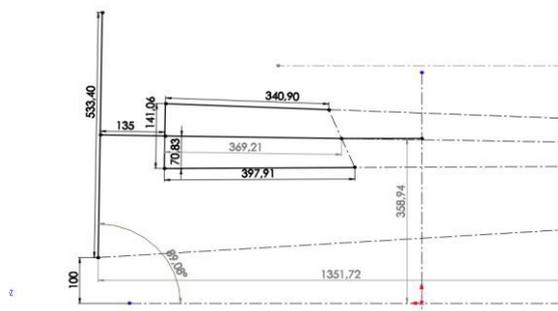


Figura 5. FVSA da suspensão em Bump

2.3 SVSA (Side View Swing Arm)

A Side View Swing Arm, representa a vista lateral da suspensão. Ela controla as características anti's do carro, tais como: anti-dive e anti-squat.

Segundo Milliken & Milliken (1995), anti-squat nas suspensões reduzem seu movimento de descida durante a aceleração em carros com tração traseira. A porcentagem de anti-squat é dada por:

$$\%Anti - Squat = \tan(\theta R) / \left(\frac{h}{l}\right)$$

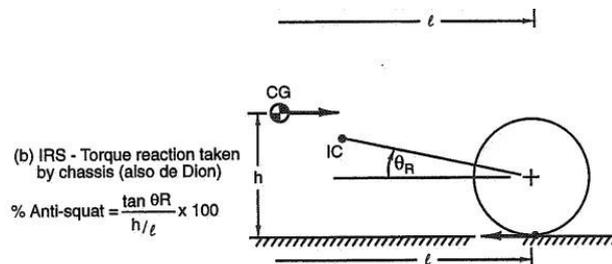


Figure 17.15 Rear anti-squat, (a) solid axle and (b) independent rear suspens

Figura 6. Fórmula para anti-squat

Onde, conforme Fig. (6): θR = ângulo, em radianos, entre o trailing arm e a horizontal a partir do centro do pneu

h = altura do centro de gravidade

l = distância entre os eixos

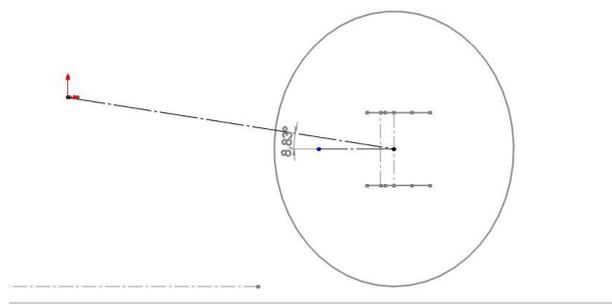


Figura 7. Ângulo do trailing arm

Conforme a Fig. (7), $\theta R = 8,83^\circ$, tem-se:

$$\% \text{ Anti - Squat} = \tan \left[\left(\frac{8,83 \times 2 \times \pi}{360} \right) \times \left(\frac{600}{1500} \right) \right] = 38,84 \% \text{ de Anti-Squat}$$

2.4 Posicionamento do amortecedor

Ainda na SVSA, como parâmetro de entrada, escolheu-se os amortecedores Fox Float. Ele possui como característica principal o amortecimento progressivo durante o seu curso, ou seja, quanto mais comprime-se sua mola, maior será a força gerada. Possui como curso máximo, 6 polegadas. Utilizou-se o amortecedor com a pressão de 60 psi, como segue na Fig. (8).

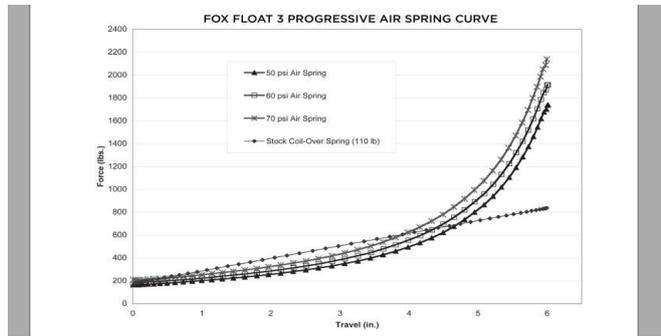


Figura 8. Tabela de força por deslocamento do amortecedor

O seu posicionamento foi encontrado através de um método geométrico que atendesse às restrições de curso tanto do amortecedor, quanto da suspensão. Milliken & Milliken (1995), explicam que a taxa de instalação é um conceito geométrico que relaciona a mudança no comprimento ou ângulo de um dispositivo que gera força, como amortecedores e molas, com a mudança no movimento vertical do centro da roda, como demonstrado na Fig. (9).

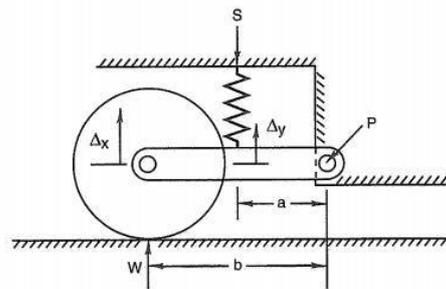


Figure 16.2 Installation ratio for a simple suspension.

Figura 9. Exemplo para taxa de instalação

Sendo assim, a fixação do amortecedor no trailing arm foi encontrada através da relação entre o comprimento total do trailing arm e o comprimento entre o pivô de rotação do trailing e o ponto de fixação.

$$\text{Taxa de instalação} = \frac{\text{Comprimento pivô até fixação do amortecedor}}{\text{Comprimento total do Trailing Arm}}$$

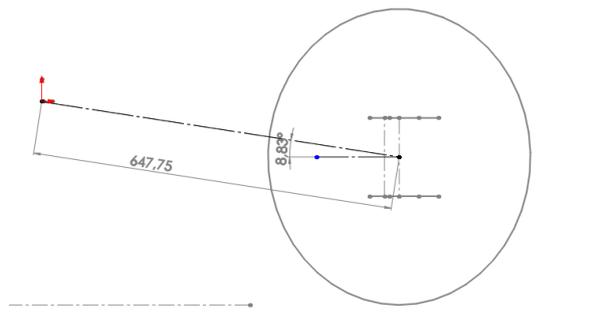


Figura 10. Comprimento do trailing arm

Após iterações, estabeleceu-se a taxa de instalação como 0,726 para que, através dela, fosse encontrado o ponto de fixação do amortecedor. Sendo o comprimento total do trailing arm = 647,75 mm, como segue na Fig. (10), tem-se:

$$0,726 = \frac{\text{Comprimento pivô até fixação do amortecedor}}{647,75}$$

$$\text{Comprimento pivô até fixação do amortecedor} = 0,726 * 647,75 = 470,27 \text{ mm}$$

Ressalta-se que o trailing arm movimenta-se gerando um arco. Da mesma forma, o ponto de fixação do amortecedor irá gerar um arco que acompanha todo o curso da suspensão. Sendo assim, é necessário que a fixação inferior do amortecedor esteja nesse arco enquanto o ponto central do pneu movimenta-se verticalmente (curso de rebound e bump). A fixação superior não irá movimentar-se pois está ligada ao chassi do carro.

Então, colocou-se a suspensão em descompressão (rebound), na Fig. (11), admitiu-se a inclinação de 55° entre o plano do chão e a linha central do amortecedor e, com o seu comprimento total, encontrou-se a fixação superior do amortecedor.

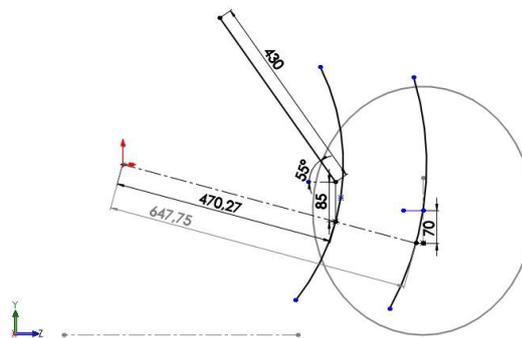


Figura 11. SVSA da suspensão em Rebound

Em seguida, conforme a Fig. (12), posicionou-se a suspensão em repouso, verificando-se a variação no comprimento do amortecedor caracterizando o curso de rebound.

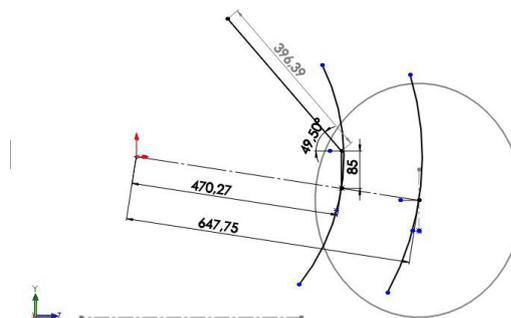


Figura 12. SVSA da suspensão em repouso

Por último, colocou-se o subsistema em compressão (bump) e verificou-se a variação no comprimento total, obtendo-se o curso de bump na Fig. (13).

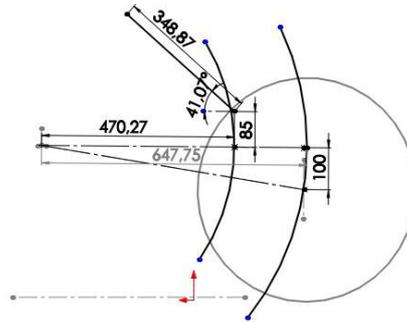


Figura 13. SVSA da suspensão em Bump

Sendo assim, obteve-se a Tab. 2:

Curso de Rebound	33,61 mm	1,32 pol
Curso de Bump	47,52 mm	1,87 pol
Curso total	81,13 mm	3,19 pol

Tabela 2. Curso da suspensão

2.5 Modelo 3D da suspensão

Sobrepondo-se a FVSA e a SVSA, obtém-se o modelo 3D da suspensão na Fig. 14.

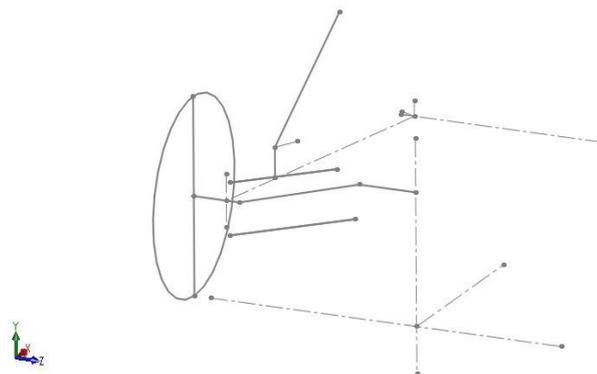


Figura 14. Modelo 3D preliminar da suspensão

Admitindo-se a origem em um ponto no solo, na FVSA que passa no meio da bitola do carro, tem-se os harpoints na Tab. 3:

		X (mm)	Y (mm)	Z (mm)
Ponto 1	Pivô trailing arm	563,8	366,18	260
Ponto 2	Pivô interno link inferior	-89,35	295,71	139,82

Ponto 3	Pivô externo link inferior	-60	195,87	525
Ponto 5	Pivô interno link superior	-85,16	421,68	194,8
Ponto 7	Pivô externo link superior	-60	336,92	525
Ponto 8	Fixação inferior amortecedor	145,98	377,09	484,55
Ponto 9	Fixação superior amortecedor	341,94	695,08	379,23
Ponto 16	Pivô superior da mola	341,94	695,08	379,23
Ponto 17	Pivô inferior da mola	145,98	377,09	484,55
Ponto 18	Ponto do eixo da roda	0	266,70	525
Ponto19	Centro da roda	0	266,70	660

Tabela 3. Hardpoints preliminares

Então, utilizou-se o software Lotus Shark Analysis Suspension Version 4.03, a fim encontrar as variações cinemáticas dos parâmetros de projeto. Para isso, é necessária uma mudança no eixo de coordenadas devido à diferença de alguns componentes.



Figura 15. Eixos coordenados

Portanto, após a alteração no eixo de coordenadas seguindo a Fig. (15), obtém-se a Tab. 4:

		X (mm)	Y (mm)	Z (mm)
Ponto 1	Pivô trailing arm	-563,8	260	366,18
Ponto 2	Pivô interno link inferior	89,35	139,82	295,71
Ponto 3	Pivô externo link inferior	60	525	195,87
Ponto 5	Pivô interno link superior	85,16	194,8	421,68
Ponto 7	Pivô externo link superior	60	525	336,92
Ponto 8	Fixação inferior amortecedor	-145,98	484,55	377,09
Ponto 9	Fixação superior amortecedor	-341,94	379,23	695,08
Ponto 16	Pivô superior da mola	-341,94	379,23	695,08
Ponto 17	Pivô inferior da mola	-145,98	484,55	377,09
Ponto 18	Ponto do eixo da roda	0	525	266,70
Ponto19	Centro da roda	0	660	266,70

Tabela 4. Hardpoints após mudança de eixos coordenados

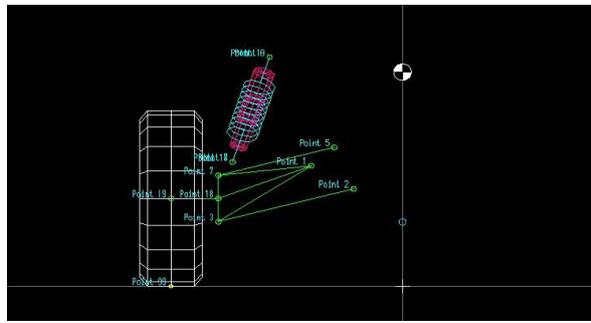


Figura 16. FVSA da suspensão no software Lotus

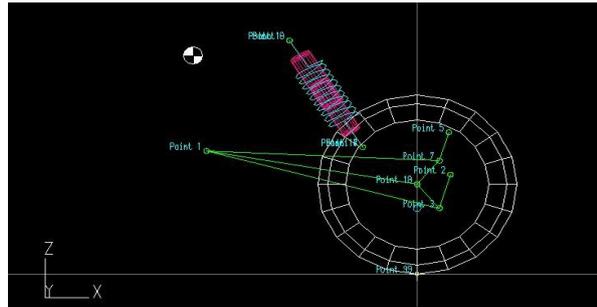


Figura 17. SVSA da suspensão no software Lotus

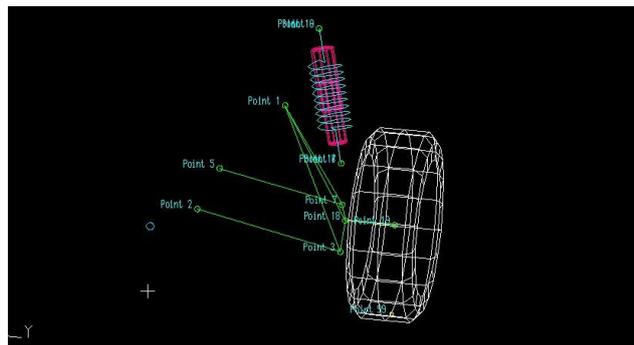


Figura 18. Modelo 3D da suspensão no software Lotus

3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

Após a análise cinemática no software Lotus, obteve-se as seguintes variações de parâmetros durante o curso da suspensão:

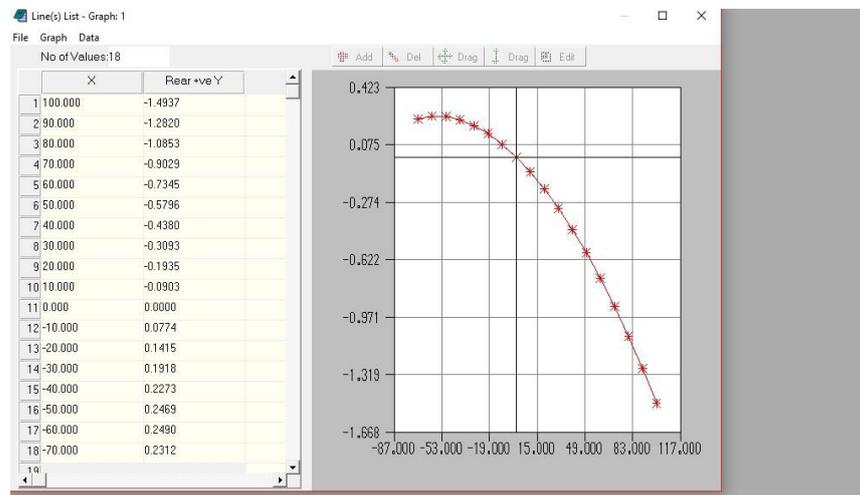


Figura 19. Variação de camber com o trabalho da suspensão

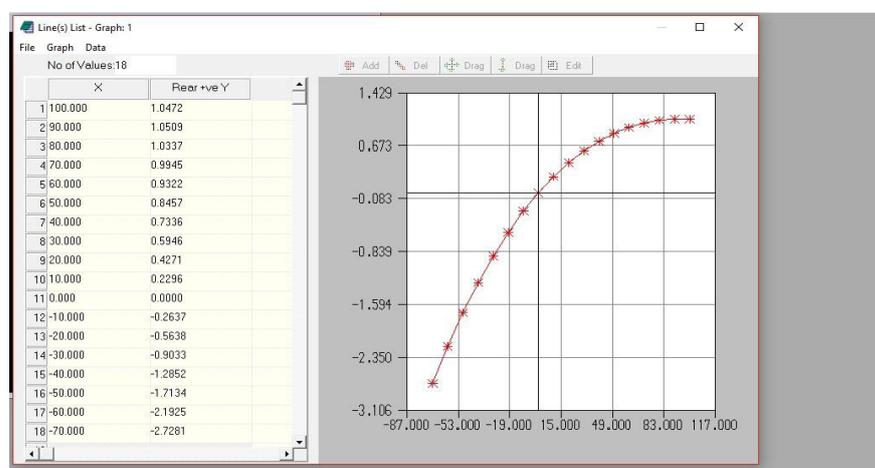


Figura 20. Variação de toe com o trabalho da suspensão

Observa-se que ocorreram as seguintes variações:

	Camber	Toe
Rebound	0,2312°	-2,7281°
Repouso	0°	0°
Bump	-1,4937°	1,0472°
Variação Total	-1,4937° até 0,2312°	-2,7281° até 1,0472°

Tabela 5. Variações de camber e toe

4 | CONCLUSÃO

Através da análise dos dados encontrados e a comparação com os parâmetros estipulados na fase inicial do projeto, conclui-se que a geometria encontrada atende a todos os requisitos cinemáticos do projeto. Portanto, a metodologia utilizada mostrou-se confiável uma vez que as variações dos parâmetros da suspensão geradas no

software Lotus encontram-se dentro das variações estipuladas.

REFERÊNCIAS

GILLESPIE, T.D. **Fundamentals of Vehicle Dynamics**. Society of Automotive Engineers, 1992.

MILLIKEN, F. M.; MILLIKEN, D. L. **Race Car Vehicle Dynamics**. Warrendale: Society of Automotive Engineers, 1995.

LOTUS. ENGINEERING: **Getting Started with Lotus Suspension Analysis**. Norwich: Lotus Cars, 2012.

DIXON, John C. **Suspension geometry and computation**. Chichester: Wiley, 2009. 407 p.

SOBRE OS ORGANIZADORES

Henrique Ajuz Holzmann - Professor assistente da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR). Graduação em Tecnologia em Fabricação Mecânica e Engenharia Mecânica pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Mestre em Engenharia de Produção pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Doutorando em Engenharia e Ciência dos Materiais pela Universidade Estadual de Ponta Grossa. Trabalha com os temas: Revestimentos resistentes a corrosão, Soldagem e Caracterização de revestimentos soldados.

João Dallamuta - Professor da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR). Engenheiro de Telecomunicações pela UFPR. Especialista em Inteligência de Mercado pela FAE Business School. Mestre em Engenharia pela UEL. Trabalha com os temas: Inteligência de Mercado, Sistemas Eletrônicos e Gestão Institucional.

Agência Brasileira do ISBN
ISBN 978-85-7247-247-0

