

DIMENSIONAMENTO DE MANGA DE EIXO DIANTEIRO PARA VEÍCULO BAJA SAE

Guilherme Ribeiro de Sá, guilherme_sa@id.uff.br¹

Sergio Cordero Calvimontes, sergio.cordero.calvimontes@hotmail.com¹

Antonio José Oliveira Cabral, ajoc@metal.eeimvr.uff.br¹

Adauto Martins de Assis, adauto@metal.eeimvr.uff.br¹

¹Universidade Federal Fluminense, Avenida dos Trabalhadores, nº 420, Vila Santa Cecília, Volta Redonda, RJ. CEP. 27255-125

Resumo: Este trabalho traz etapas de modelamento para manga de eixo de um veículo mini baja SAE. A concepção de peças mecânicas na maior parte das vezes é um processo iterativo devido a grande quantidade de variáveis presentes. Neste trabalho a primeira etapa consistiu em realizar um pré modelamento de peça levando em conta os esforços estáticos a qual a peça está submetida e a redução de massa, que está diretamente relacionada ao preço final da peça e no desempenho do veículo. Algumas medidas não poderiam ser alteradas pois influenciariam diretamente na dinâmica do veículo. A segunda etapa consistiu no dimensionamento à fadiga das peças pré modeladas, ajustes foram realizados para otimização da peça para resistir a falha prematura por fadiga. Para a realização dos objetivos propostos nas primeiras etapas, utilizou-se ferramenta do tipo CAE e por fim comparou-se o protótipo dimensionado neste trabalho com peças similares de anos anteriores. Este trabalho demonstra como o processo CAD/CAE pode ajudar durante o projeto de peças.

Palavras-chave: Suspensão, Manga de Eixo, Elementos Finitos, Fadiga

1. INTRODUÇÃO

Por um longo tempo o serviço de mensagens do exército americano era realizado através de homens montados à cavalos, as trilhas íngremes e acidentadas a qual as equipes de mensagem e reconhecimento percorriam não eram recomendadas para diligências e charretes. Com o desenvolvimento da engenharia mecânica e a criação das motocicletas, os animais foram substituídos. As motocicletas do tipo side car, podiam percorrer os mais variados tipos de terrenos acidentados e íngremes porém possuíam limites para o transporte de pessoas e suprimentos. Interessados em um tipo de veículo que pudesse trafegar os diversos tipos de terrenos em missões de reconhecimento, o governo americano em 1940 propôs um desafio aos fabricantes automotivos para que produzissem um veículo leve, rápido e que pudesse trafegar em qualquer tipo de terreno sob qualquer situação climática. As empresas American Bantam Car Company, Willys Overland Company e a Ford Motor Company apresentaram seus protótipos no final do ano de 1940, todos os protótipos eram bem similares uns com os outros. Para acalmar a animosidade entre as empresas o exército americano encomendou 1500 unidades de cada uma das empresas citadas para Segunda Guerra Mundial. No ápice da guerra, o modelo da Willys ganhou a preferência dos militares, e a empresa assinou um contrato de exclusividade com o exército americano, e assim surgiu o mais conhecido dos veículos off Road, o Jeep.

Hoje o desenvolvimento tecnológico de veículos off Road continua em alta, com a fabricação dos modelos Hammer, utilizados pelo exército americano em missões de combate. Veículos Off Road também são utilizado em competições esportivas, onde contato com a natureza aliado a velocidade e a transposição de obstáculos têm ganhado cada vez mais adeptos.

O projeto Baja SAE consiste em um desafio proposto às faculdades de engenharia no qual os alunos têm por objetivo projetar e fabricar um veículo off Road para competição. O projeto possui como finalidade a aplicação de conceitos teóricos de engenharia mecânica em situações práticas, visando assim, complementar a formação do estudante para o mercado de trabalho. Os alunos que participam do projeto devem formar equipes representando a Instituição de Ensino Superior da qual são alunos. O projeto promove a avaliação comparativa entre os projetos de cada universidade, visando assim, a melhoria ano após ano. O projeto e construção de um veículo mini Baja SAE é dividido em 6 áreas: Freio, Estrutura/Acabamento, Powertrain, Eletro-Eletrônica e Suspensão/Direção.

A suspensão é a parte do veículo responsável pela absorção e dissipação das energias devido as irregularidades do terreno garantindo assim o conforto do piloto durante o trajeto. A suspensão está diretamente ligado a estabilidade do veículo, um correto dimensionamento da suspensão garante confiabilidade ao veículo. A direção é responsável pela dinâmica do veículo em curvas. Durante as curvas forças centrífugas atuam no veículo e somado a condições ruins, como terrenos acidentados e ventos laterais, alteram diretamente a estabilidade, podendo assim, afetar a segurança do veículo e do piloto. Todo sistema de suspensão/direção em um veículo Mini Baja SAE é constituído por:

- ♦ Braços de Controle: Hastes ou barras responsáveis pela deflexão de das rodas quando o veículo trafega por irregularidades.

- ◆ Molas: Responsáveis pelo armazenamento de energia mecânica devido as irregularidades do terreno.
- ◆ Amortecedores: Responsáveis por dissipar as energias absorvidas pelas molas.
- ◆ Montantes ou Mangas de Eixo: A manga de eixo é a peça que conecta as rodas aos braços de controle. Pode possuir conexão para a haste de controle do sistema de direção e suportar o sistema de freio. É um dos componentes mais críticos no projeto, devido aos esforços dinâmicos e estáticos presentes durante o percurso.

Abaixo encontra-se a Figura (1) referente a um sistema de suspensão e direção de um veículo Mini Baja SAE.

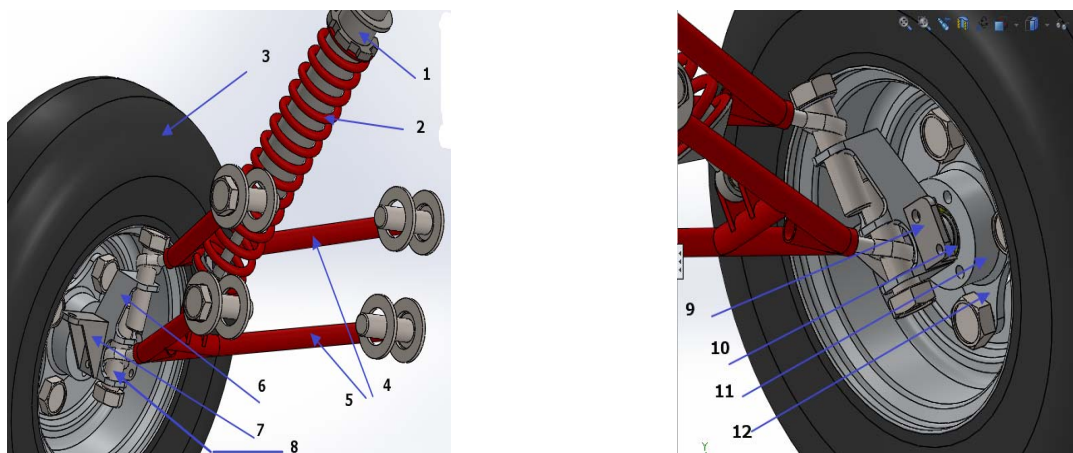


Figura 1. Sistema de montagem do sistema direção-suspensão.

Sendo:

- 1 - Amortecedor: Peça responsável pela dissipação da energia devido a vibração do sistema;
- 2 - Mola: Peça responsável pela absorção de energia devido as irregularidades do terreno;
- 3 - Pneu: Elemento Viscoso que suporta tensões dinâmicas devido a mudança de direção e frenagem do veículo através de deformação.
- 4 - Braço de Controle Superior: Barras que permitem a deflexão vertical do sistema;
- 5 - Braço de Controle inferior: Barras que permitem a deflexão vertical do sistema;
- 6 - Manga de Eixo: Elemento Mecânico onde são conectados os braços de Controle e a pista de rolamentos;
- 7 - Olhal da Direção: Suporte para a barra de mudança de direção;
- 8 - Parafuso de Fixação: Elemento Mecânico responsável pelo acoplamento de componentes;
- 9 - Olhal do Freio: Suporte para o sistema de freio;
- 10 - Rolamento: Elemento mecânico que permite o movimento relativo de rotação entre duas ou mais partes;
- 11 - Cubo de Roda: Elemento que abriga os rolamentos;
- 12 - Flange: Elemento que fixa a roda ao cubo.

Algumas peças podem estar integradas a outras, por exemplo, a ponta de eixo pode estar presente na manga de eixo, ou no cubo de roda ou até mesmo não integrada a nenhuma peça. O cubo pode estar integrado a flange ou não, assim como os suportes para freios, que geralmente não são peças separadas da manga de eixo, porém neste trabalho, foram criados para diminuir a perda de material durante a fabricação da manga de eixo no processo de usinagem.

A Figura (2) traz o modelamento CAD das peças estudadas neste trabalho:

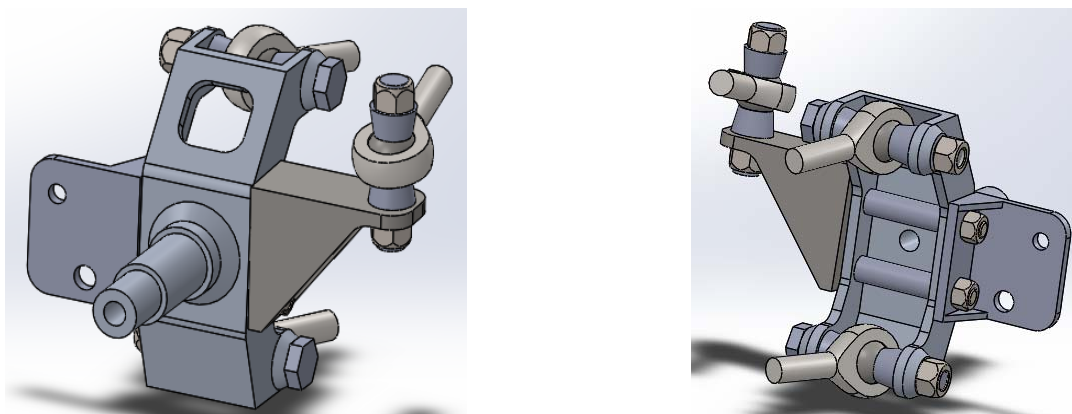


Figura 2. Conjunto estudado (manga de eixo, parafusos, suporte de direção e suporte de freio)

1.1. A Técnica de Elementos Finitos

O método dos Elementos Finitos é um modelo matemático utilizado para resolver problemas complexos de engenharia, onde a abordagem analítica não é muito eficaz devido a complexidade geométrica das peças. O método pode ser aplicado nas mais diversas áreas da engenharia como análises estáticas, dinâmicas, linear ou não linear, de transferência de calor, instabilidade elástica, acústica, magnética, área de fluidos e até mesmo uma combinação de algumas dessas áreas mencionadas. O método consiste em dividir uma estrutura contínua em um número finito de elementos de subestrutura elástica. Os nós dos elementos divididos são pontos que interligam os elementos vizinhos e onde as propriedades dos elementos são estabelecidas, assim como forças aplicadas e condições de contorno, porém as cargas também podem ser aplicadas dentro dos elementos (gravidade, dinâmica, térmica) ou sobre a superfície do elemento(forças de contato).

Os elementos possuem funções polinomiais que são agrupadas em matrizes para facilitar as resoluções dos problemas propostos. Um nó possui graus de liberdade, movimentos de rotação e translação independente que possa existir nó. Com os elementos definidos localmente na forma matricial, os elementos são montados e por seus nós comuns em uma matriz global. Aplica-se as condições de contorno e propriedades dos elementos e resolve-se o problema através do método.

São utilizadas diferentes formas geométricas para os elementos finitos, cada elemento pode ser utilizado para uma aplicação específica. Basicamente os elementos podem ser divididos em elementos lineares, elementos de superfície, elementos sólidos e elementos especiais. Elementos lineares como vigas e barras são utilizados em problemas unidimensionais, como problemas de vigas esbeltas, treliças, em que uma medida espacial é pelo menos cinco vezes maior do que as outras duas medidas. Elementos bidimensionais são utilizados, por exemplo, em análise estática de rotores e distribuição de temperatura em placas, no qual duas dimensões espaciais são bem maiores do que uma das dimensões. Elementos tridimensionais são utilizados em diversos tipos de análise em que as três dimensões do objeto de estudo possuem medidas similares, as medidas não diferem tanto em tamanho umas das outras.

É conhecida por malha a rede de elementos e nós do elemento contínuo estudado. Refinamento de malha é quando é aumentada a quantidade de elementos e consequentemente de nós na malha. Na maior parte das vezes, quanto maior a quantidade de elementos e nós, melhores serão os resultados porém nem sempre um aumento na densidade resulta em uma melhoria nos resultados, para verificar, deve-se refinar novamente a malha, se a variação de tensão for pequena, a solução convergiu, ou seja, qualquer refino de malha apenas aumentará o gasto computacional da análise e o resultado irá variar muito pouco. Em regiões de concentração de tensão é preciso que a malha seja refinada.

Elementos com alteração de geometria, que possuem furos e descontinuidades, possuem uma distribuição complexa de tensões. Refinos de malha são muito aplicados em regiões de alto gradiente de tensões, como por exemplo, em reduções geométricas de eixos rotativos. Em situações como essa, é preciso que a região de concentração de tensão possua uma densidade maior, enquanto nas regiões não concentradas a malha seja menos densa, reproduzindo o que acontece na prática.

2. METODOLOGIA

O projeto iniciou-se com um levantamento de dados iniciais necessários ao dimensionamento da manga de eixo do protótipo VR Baja. Para tanto foram realizados cálculos de forças e momentos que contribuíram para as tensões estáticas e dinâmicas.

Em um segundo momento foi realizada a criação de uma geometria que promovia um real ganho de resistência e que não alterasse de forma significativa a dinâmica do veículo, sem alterar parâmetros já dimensionados pela equipe VR Baja.

Também foram realizados cálculos de tensões estáticas presentes durante a manobra de curva, queda e freio do veículo, além de cálculo das tensões dinâmicas devido a vibração durante provas específicas da competição.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1. Forças e Momentos

Esta etapa diz respeito as forças a serem encontradas para o cálculo de tensões.

3.1.1. Forças Estáticas Devido a Queda do Veículo

Durante o enduro, devido ao terreno altamente acidentado, o veículo sofre constantes quedas devido a declividade associada a velocidade, como pode ser visto na Fig. (3)



Figura 3. Carro em queda segundo <http://www.blogdafei.com.br/infofei>, 2016

Na Figura (3) o veículo é projetado com a roda direita da dianteira contra o solo de modo que a maior parte de seu peso seja direcionada para esta parte do veículo. Para o cálculo desta força vertical, foi utilizado um modelo quarter car com dois graus de liberdade, como pode ser visto na Fig. (4). O modelo foi gerado no software Adams, e foi calculado o valor da força, F_w , sobre o sistema de suspensão. a Figura (5) apresenta os resultados gerados pelo modelo em Adams.

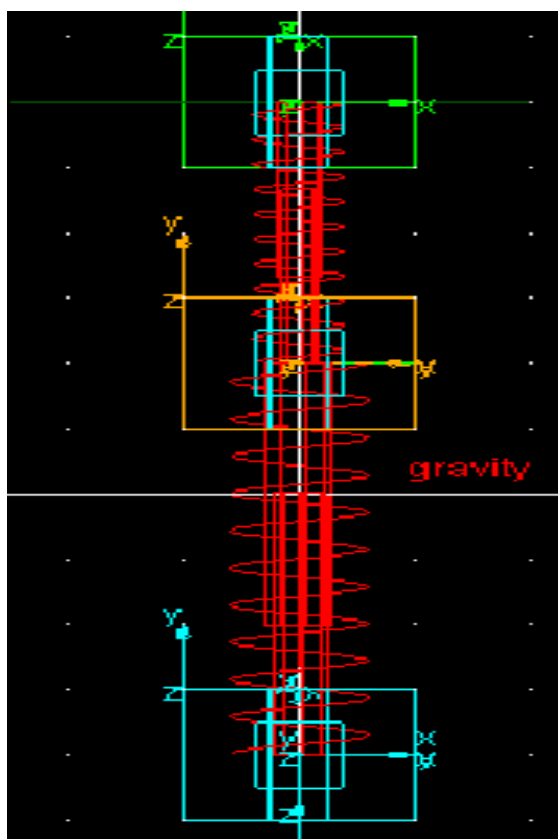


Figura 4. Modelo em Adams.

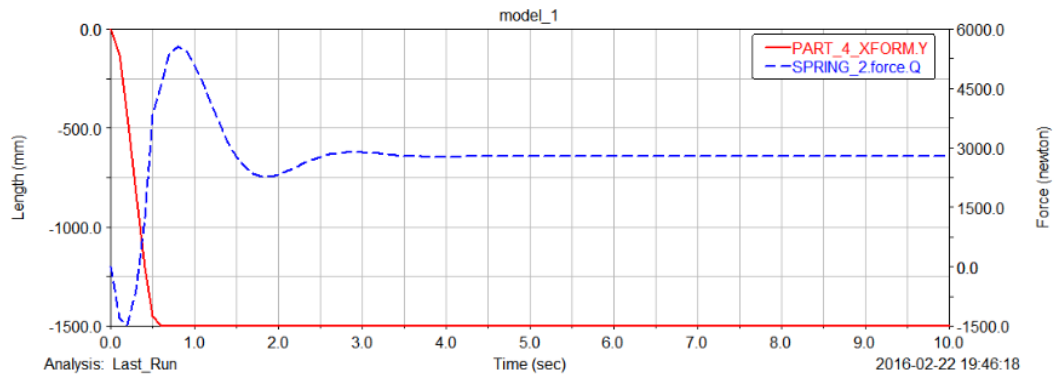


Figura 5. Gráfico de força e deflexão vertical.

Durante as provas, além da força vertical de queda do veículo, podem existir obstáculos à frente da roda e forças longitudinais e laterais podem estar presentes, conforme Fig. (6), por essa razão, serão adicionadas forças de 3000N para a direção longitudinal e transversal durante a simulação.



Figura 6. Obstáculo após a queda do veículo segundo <http://www.saebrasil.org.br/imprensa>, 2016

3.1.2. Momento Provocado pelo Esterçamento da Roda

Outra situação que provoca grande esforço na manga de eixo são as manobras de curvas. São necessárias forças mínimas para o esterçamento das rodas. A força vertical de direção foi calculada e envolve todo o estudo de dinâmica devido a transferência de massa do veículo devido as curvas, assim como o calculo dos ângulos de esterçamento, pino mestre e caster apropriados para o protótipo. A Figura (7) mostra o processo de giro.

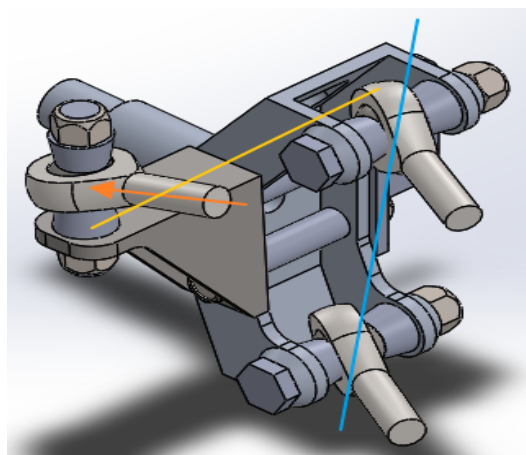


Figura 7. Rotação da manga de eixo.

3.1.3. Forças no Suporte de Direção e Transporte de Esforços para Manga de Eixo.

O ponto de pivotamento da barra de direção e o acoplamento do sistema de freio não fazem parte da manga, estas partes estão integradas a manga por meio de suportes unidos por parafusos, esta configuração foi adotada para diminuir os custos de fabricação por usinagem. Os suportes são ligados a manga por meio de parafusos que sofrem esforços de cisalhamento e tração.

De posse do diagrama de corpo livre, foram calculadas as forças de tração presentes nos parafusos adotando como ponto de giro a parte inferior do suporte onde está localizado o sistema de eixos coordenados.

3.1.4. Forças de Frenagem.

Esta força provoca uma torção na ponta de eixo. Além de torque, durante a frenagem, deve ser considerado o movimento relativo do suporte do freio em relação a manga de eixo. Como pode ser visto na Fig. (8). A superfície 1 é a parte que sofre torção devido ao contato das pinças com o disco, esta força provoca uma torção nesta superfície. A superfície 2 é a sustentação do suporte na manga de eixo.

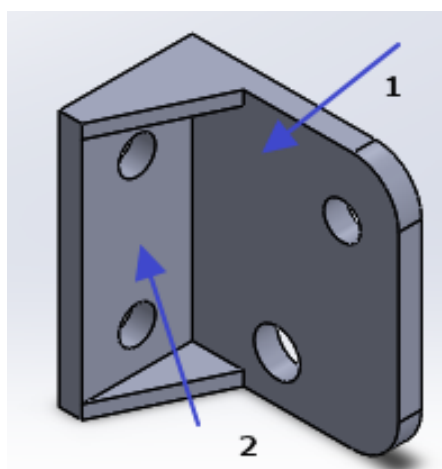


Figura 8. Olhal de sustentação do sistema de freio.

3.1.5. Forças Dinâmicas.

Um veículo mini Baja SAE é um veículo off road projetado para resistir as mais severas condições. Uma das tradicionais provas realizadas é bumptrack, que consiste em um percurso em linha reta com diversos obstáculos de madeira, conforme Fig. (9).



Figura 9. Prova do Bumptrack segundo Almeida, 2012

Utilizou-se um modelo quarter car no software Adams obtendo-se o gráfico de força por tempo e amplitude por tempo, conforme Fig. (10).

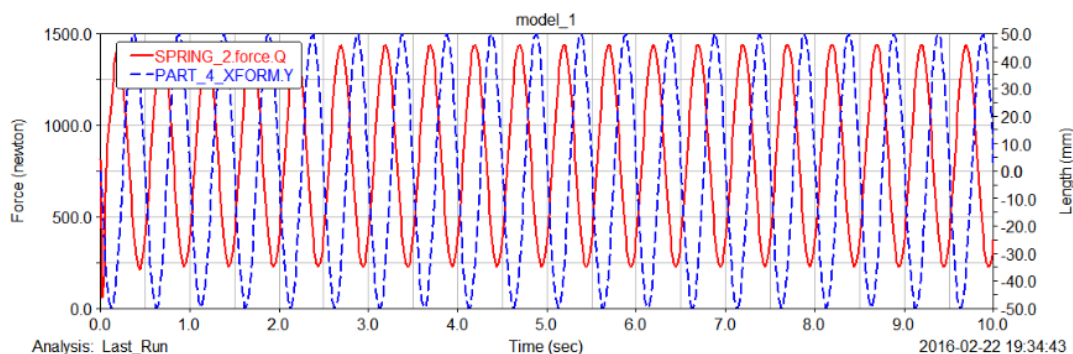


Figura 10. Gráfico de força por tempo e amplitude por tempo.

3.2. Criação de uma Nova Geometria

3.2.1. Medidas Inalteráveis

O primeiro passo a ser realizado foi a verificação de medidas que não poderiam ser alteradas no projeto. O comprimento lateral não pode ser alterado para a direção externa do veículo, a alteração desta medida provocaria um aumento da bitola do carro, afetando assim, a dinâmica do veículo. As medidas dos diâmetros da ponta de eixo também devem permanecer inalteradas devido a seleção já realizada dos rolamentos. O ângulo do pino mestre também não deve ser alterado, pois altera o momento de giro do pneu. A distância lateral entre o ponto de pivotamento do terminal rotular e o ponto mais afastado da ponta de eixo também não pode ser alterada. Essas medidas estão exemplificadas na Fig. (11).

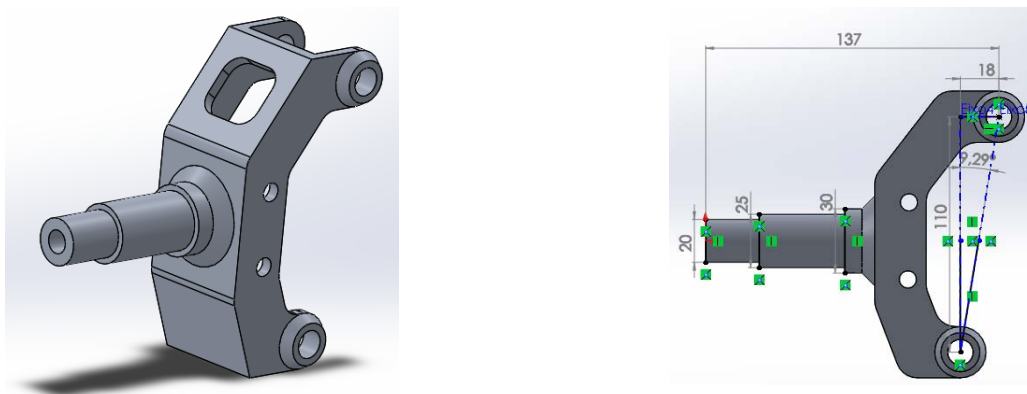


Figura 11. Medidas que permaneceram as mesmas do protótipo anterior.

3.2.3. Análise da Nova Geometria em Relação a Antiga

Neste protótipo utilizaram-se quatro pontos de fixação para a manga ao invés de três como no protótipo anterior e os furos destes pontos estão em direção longitudinal, considerando um vetor normal ao furo, e não vertical como no ano anterior, conforme Fig. (12).



Figura 12. Desenho em perspectiva isométrica com indicação dos pontos de apoio da manga de eixo. (a) atual e (b) anterior

O motivo da mudança de disposição dos furos deve-se ao fato da formação de uma geometria onde a distribuição de tensões pudesse ser maior, e de menor massa afim de diminuir custo e melhorar o desempenho da peça, se fossem colocados quatro pontos de apoio com disposição vertical, a peça ficaria com uma altura indesejada e mais material seria utilizado para a formação da geometria desejada. Outro problema no protótipo anterior é o fato de o parafuso superior de fixação do braço, estar em balanço, tornando um elemento crítico durante as provas.

A distribuição de tensão estática mostrou-se eficaz pela geração de malha automática. Os maiores pontos de tensão estão em locais típicos de concentração de tensões como furos, redução de diâmetros (chanfro) e em raios de adoçamento de superfícies, conforme Fig. (13).

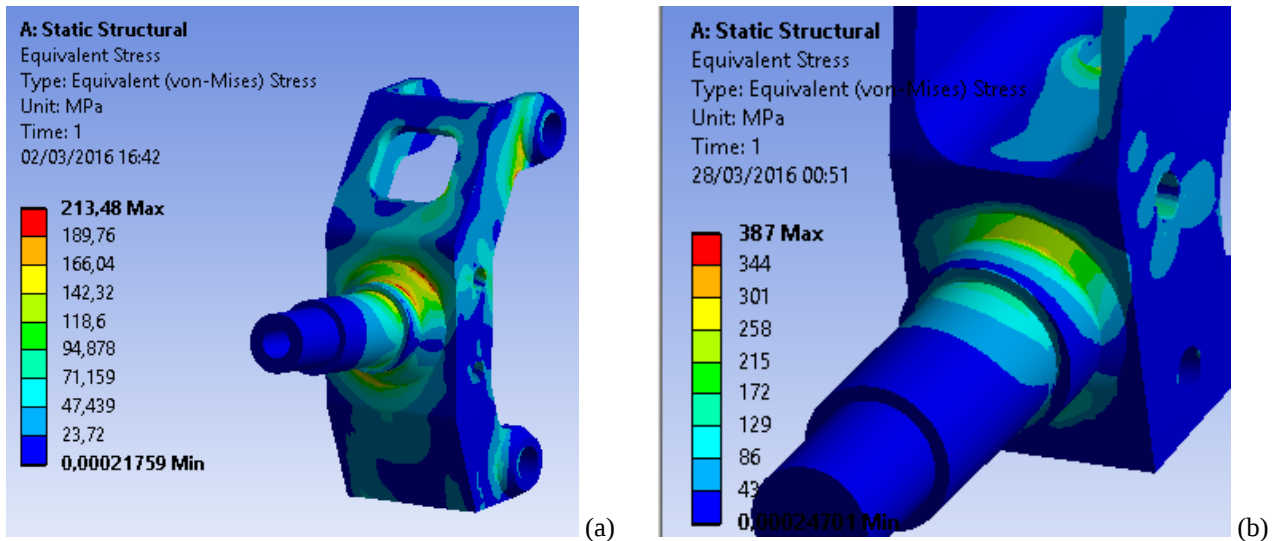


Figura 13. Concentração de Tensão no chanfro da ponta de eixo. (a) peça nova e (b) peça antiga

3.2.4. Simulação Devido a Frenagem

A distribuição de tensões no protótipo bem como o fator de segurança encontram-se na Fig. (14). A aplicação das buchas têm como função, absorção das tensões da manga, evitando uma sobrecarga na peça principal e uma deflexão indesejável das paredes.

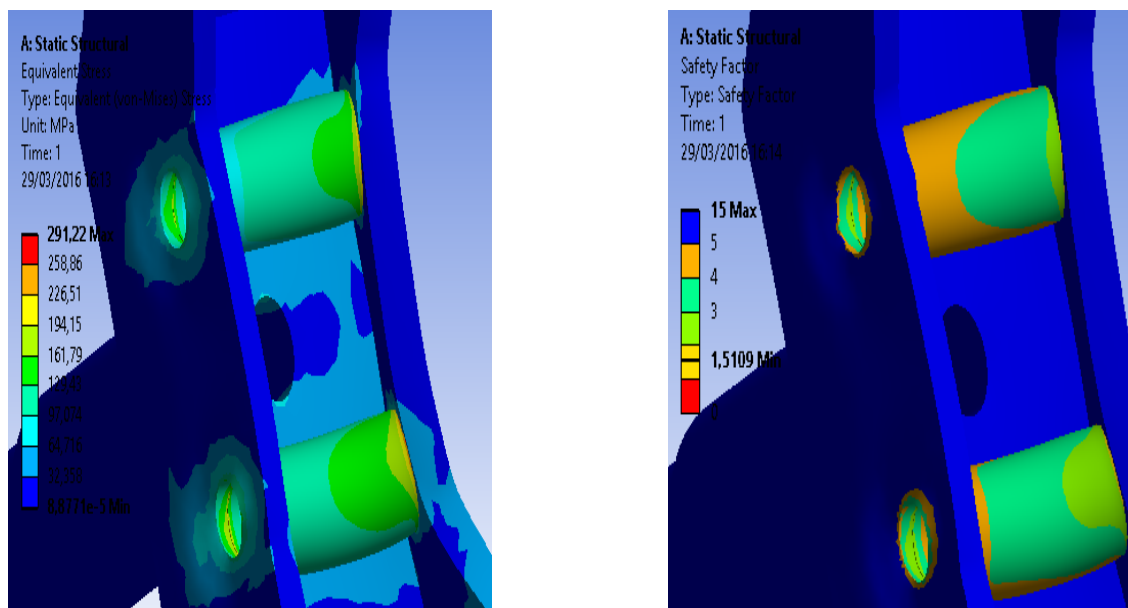


Figura 14. Esforços Estáticos do protótipo de Aço AISI 1030 laminado à frio devido a frenagem(à esquerda) e fator de segurança devido a frenagem(à direita).

3.2.5. Simulação Devido à Queda do Veículo

Esta etapa é a respeito da distribuição de tensões provocadas devido a queda do veículo com todo o seu peso sobre uma das suspensões dianteiras, conforme Fig. (15).

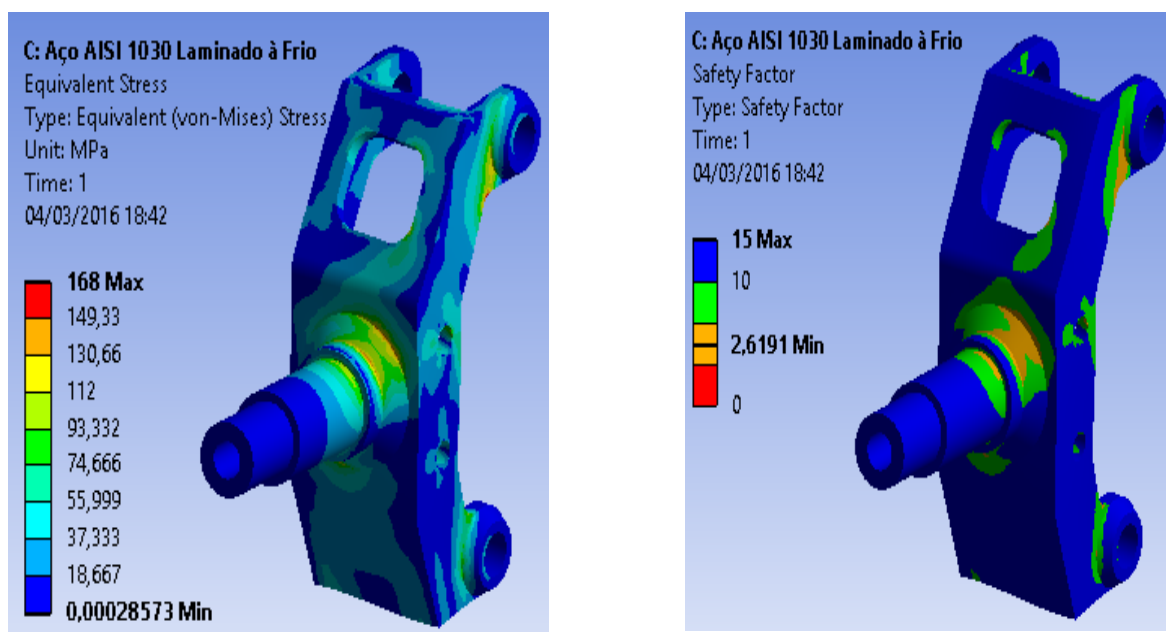


Figura 15. Esforços Estáticos do protótipo de Aço AISI 1030 Laminado à Frio devido a queda (à esquerda) e fator de segurança devido a queda (à direita).

3.2.6. Simulação Dinâmica para a Prova do Bumptrack

Nesta etapa inicialmente foi realizado o cálculo estático com a força máxima encontrada na simulação do Software Adams. A força mínima segundo a simulação realizada é igual a 0, logo não há necessidade de realizar uma simulação para esta força. Será utilizado também um valor de 1500N na direção longitudinal devido ao choque horizontal da roda com o obstáculo de madeira. A seguir, Fig. (16), segue a simulação estática para localização das tensões máximas que serão utilizados no cálculo do esforço de fadiga.

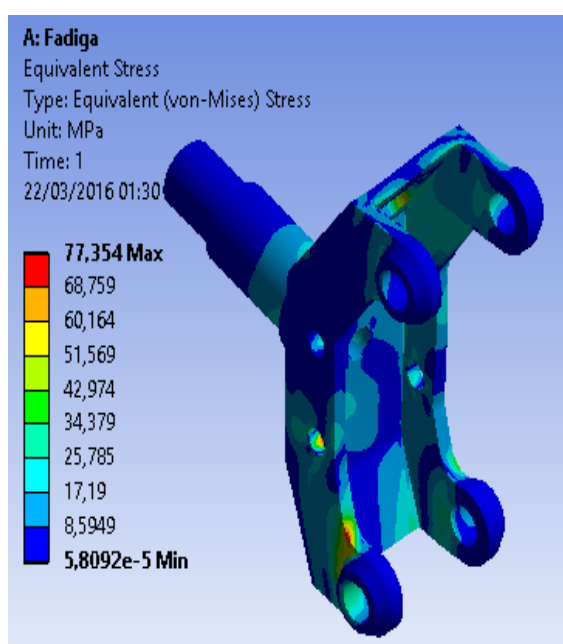


Figura 16. Cálculo dos esforços máximos de fadiga do Aço AISI 1030 Laminado à Frio.

4. CONCLUSÕES

Através deste trabalho, pode-se notar a importância do estudo de esforços da manga de eixo, elemento este, crítico em um veículo Offroad. O protótipo criado possui uma boa geometria que resiste aos esforços, sendo bem diferenciado do protótipo anterior, o que conta pontos para o melhor desempenho do protótipo. Como desvantagem, possui um preço maior para usinagem em relação ao protótipo antigo e muito material é perdido durante a sua fabricação, o que leva sua utilização viável apenas para materiais mais baratos como aço carbono.

Apesar da importância da manga de eixo, devido sua posição crítica em um veículo, as tensões presentes são baixas, isto também foi notado em outros trabalhos, até de veículos mais pesados.

Pode-se verificar a importância do método de elementos finitos para cálculo de esforços para geometrias complexas.

5. REFERÊNCIAS

- Almeida, D. A., 2012, “Dimensionamento Cinemático e Dinâmico de Suspensão Duplo A”, Brasília.
- Azevedo, D. F. O., 2015, “Análise Estrutural com Ansys Workbench”, V15.
- Gillespie, T. D., 1992, “Fundamentals of Vehicle Dynamics, Warrendale”, PA : Society of Mechanical Engineers,.
- [Http://www.blogdafei.com.br/infofei/wp-content/uploads/2015/03/baja-piracicaba-2015-436.jpg](http://www.blogdafei.com.br/infofei/wp-content/uploads/2015/03/baja-piracicaba-2015-436.jpg) Acesso em 15 de fevereiro de 2016.
- [Http://www.saebrasil.org.br/imprensa/upload/pressReleases/991_siar%C3%A11.jpg](http://www.saebrasil.org.br/imprensa/upload/pressReleases/991_siar%C3%A11.jpg) Acesso em 15 de fevereiro de 2016.
- Hibbeler, R. C., 2004, “Resistência dos Materiais”, 5ª Edição, Pearson Prentice Hall, São Paulo.
- Juvinall, R. C. ; Marshek, K. M., 2013, “Fundamentos do Projeto de Componentes de Máquinas”, 4ª Edição, Livros Técnicos e Científicos Editora Ltda, Rio de Janeiro.
- Limpert, R., 1999, “Brake, Design and Safety”, 2 rd ed.
- Norton, R. L., 2013, “Projeto de Máquinas, Uma Abordagem Integrada”, 4ª Edição, ed. BOOKMAN, São Paulo.
- Shigley, J. E. ; Budynas, R. G. ; Nisbett, J. K., 2011, “Projeto de Engenharia Mecânica”, 8ª Edição.
- Shigley, J. E. ; Mischke, C. R. ; Budynas, R. G., 2008, “Projeto de Engenharia Mecânica”, 7ª Edição, ed.
- Won, J. Y., 2001, “Theory of Ground Vehicles”, 3rd ed.

6. DIREITOS AUTORAIS

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo do material impresso incluído no seu trabalho.

FRONT AXLE SLEEVE SIZE FOR VEHICLE BAJA SAE

Guilherme Ribeiro de Sá, guilherme_sa@id.uff.br¹

Sergio Cordero Calvimontes, sergio.cordero.calvimontes@hotmail.com¹

Antonio José Oliveira Cabral, ajoc@metal.eeimvr.uff.br¹

Adauto Martins de Assis, adauto@metal.eeimvr.uff.br¹

¹Universidade Federal Fluminense, Avenida dos Trabalhadores, nº 420, Vila Santa Cecília, Volta Redonda, RJ. CEP 27255-125

Abstract: This present report brings steps about modeling of front knuckle's prototype for Baja SAE vehicle. The creation of machine parts, many times, is an interactive process, because there is many variables in the process. The first step was about doing the pre-model considering static stress on the part and reduction of mass, because it is directly connected to the final cost and performance of the vehicle. Some dimensions could not be change, because it would interfere the vehicle dynamics. The second step was about doing protections for the pre model, adjustments were being created for improvement of the part against precipitate fatigue failure. For the objectives on the first and second steps, it was used CAE, at least, the new knuckle was compared to the old one.

Key-words: Suspension, Baja SAE Knuckle, Finite Element Method, Fatigue