



De 19/10/2016 a 21/10/2016

DETERMINAÇÃO DOS ESFORÇOS E TENSÕES DE UMA MANGA DE EIXO DIANTEIRA PARA O PROJETO BAJA SAE

CRUZ, Samuel Igor Jablonski ^{1*}, DALCIN, Rafael Luciano ²

FAHOR, Curso de Engenharia Mecânica, Faculdade Horizontina, Campus Arnaldo Schneider, Avenida dos Ipês, 565, Horizontina, RS, Brasil.

*Autor Correspondente: sc001547@fahor.com.br.

RESUMO

O trabalho em questão é motivado devido ao alto custo de fabricação das atuais mangas de eixo utilizadas no veículo da equipe Sinuelo Fahor de Baja, fator que se deve principalmente ao material que é utilizado e ao método de fabricação. Levando em conta a necessidade da redução do custo desse componente, bem como garantir a confiabilidade do mesmo, busca-se a otimização da geometria da peça, bem como a alteração do material de fabricação. Dessa forma, o presente trabalho, tem por objetivo a determinação das forças atuantes e as tensões resultantes na manga de eixo dianteira, de forma a possibilitar o desenvolvimento de um novo componente otimizado. Através desse estudo, foi possível determinar quais são as regiões mais críticas em relação a possíveis falhas, bem como as regiões onde existem grandes desperdícios de material.

Palavras chave: Manga de eixo dianteira. Baja SAE. Engenharia automotiva. Elementos finitos. Tensões.

LOADS AND STRESSES DETERMINATION FOR A BAJA SAE PROJECT STEERING KNUCKLE

ABSTRACT

The present work is motivated by to the high manufacturing cost of the current steering knuckle used in the Sinuelo Fahor Team Baja vehicle, a factor that is mainly related to the material used and the manufacturing method. Taking into account the need to reduce the cost of this component, as well as to ensure the reliability of it, the part geometry optimization have been sought, and also the change of the manufacturing material. In this way, the main purpose of this paper is to determine the steering knuckle loads and stresses, in such way to allow the development of a new optimized part. Through this study, it was possible to

determine which are the most critical areas of possible failures, as well as the regions where there are a high material waste.

Keywords: Steering knuckle. Baja SAE. Automotive engineering. Finite elements. Stresses.

INTRODUÇÃO

Atualmente a Equipe Sinuelo FAHOR de Baja, possui um veículo competitivo e apresenta bons resultados nas competições (nacional e regional). Entretanto, a equipe perde muitos pontos no relatório de projeto, principalmente na parte relacionada a vendas e marketing, onde estão envolvidos os custos de produção e vendas do veículo para consumidor final. Levando em conta a necessidade da redução do custo desse componente, bem como garantir a confiabilidade do mesmo, busca-se otimizar a geometria da peça e alterar o material de fabricação.

O principal objetivo deste artigo é a determinação das forças atuantes no par de mangas de eixo dianteiras, bem como as tensões existentes no componente. Com isso, busca-se facilitar o desenvolvimento do novo componente, que deverá manter a confiabilidade existente, porém, o projeto deve atender as necessidades da equipe, anteriormente mencionadas.

2 DESENVOLVIMENTO

2.1 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1.1 Manga de eixo

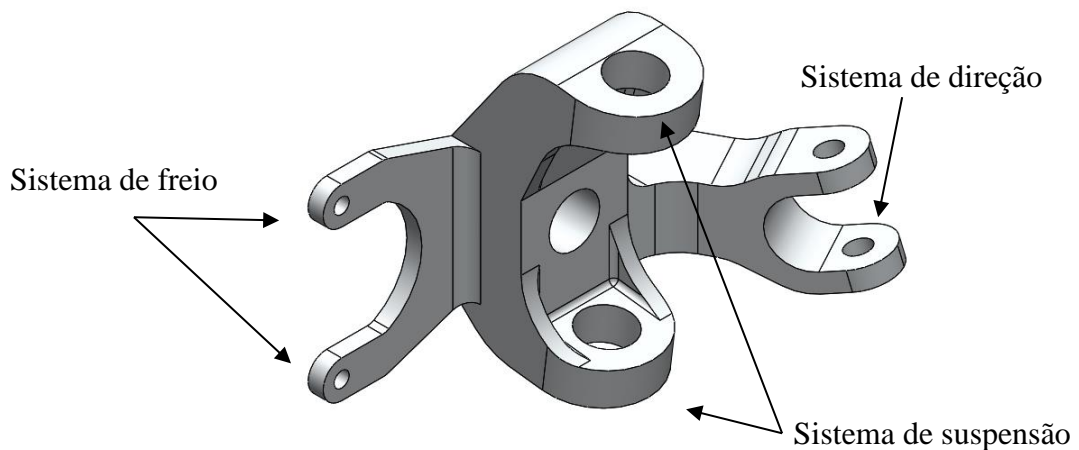
A manga de eixo pode ser considerada um dos componentes mais importantes dos veículos automotores, pois ela está associada diretamente à capacidade de reunir em uma única região, quatro sistemas responsáveis pelo controle dos movimentos do veículo, sendo eles: o sistema de suspensão, de direção, de freio e de transmissão (KLAVA, 2003).

Nesse projeto em específico, a manga de eixo dianteira não está associada ao sistema de transmissão, como normalmente ocorre, pois o veículo em questão possui tração nas rodas traseiras. Na Figura 1 são mostrados os pontos onde os outros sistemas são ligados.

Devido a importância que esse componente apresenta ao estar associado a tantos sistemas, a correta determinação dos esforços e tensões que o mesmo sofre é indispensável,

com o objetivo de não ultrapassar os limites do material, pois qualquer falha que ocorra, acarretará na perda do controle do veículo.

Figura 1: Manga de eixo dianteira, com os sistemas indicados.



Fonte: Autores

2.1.3 Parâmetros de entrada

Para a determinação das forças que serão incluídas no modelo matemático para a realização da análise por elementos finitos, são necessários alguns cálculos a fim de determinar cada força atuante em determinada região da manga de eixo dianteira. A seguir serão apresentadas as equações necessárias.

Para o sistema de freios, as forças serão determinadas a partir do método definido por Gillespie (1999), onde primeiramente é calculado o peso dinâmico no eixo dianteiro durante a frenagem e a desaceleração máxima do veículo, para isso utilizam-se a Equação 1 e a Equação 2, respectivamente.

$$Wf = W \left(\frac{c}{L} - \frac{ax}{g} \cdot \frac{h}{L} \right) \quad (1)$$

$$ax = Wf/m \quad (2)$$

Onde:

W_f = Peso dinâmico no eixo dianteiro na frenagem [N];

W = Peso do veículo [N];

C = Distância do centro de gravidade ao eixo traseiro [m];

L = Distância entre eixos [m];

a_x = Desaceleração do veículo [m/s^2];

g = Aceleração da gravidade [m/s^2];

h = Altura do centro de gravidade [m].

m = massa do veículo [kg].

Com o peso dinâmico no eixo dianteiro determinado, é possível dar prosseguimento aos cálculos, sendo necessário calcular a força transversal da roda e posteriormente o momento aplicado no eixo, para isso, utilizam-se a Equação 3 e Equação 4.

$$F_p = W_f \cdot \mu \quad (3)$$

$$M_{Fp} = F_p \cdot R_p \quad (4)$$

Onde:

F_p = Força transversal da roda [N];

μ = Coeficiente de atrito estático [adimensional];

M_{Fp} = Momento aplicado no eixo [N.m];

R_p = Raio do pneu [m].

Quanto ao sistema de direção, a força aplicada no suporte pode ser definida através da determinação do momento tissor aplicado na direção do veículo, utilizando-se a Equação 5.

$$M = F \cdot d \quad (5)$$

Onde:

M = Momento [N.m];

F = Força [N];

d = Distância[m].

E então, calcula-se a força equivalente que irá resultar na barra de direção, para isso utiliza-se a mesma equação, porém, com o novo valor para a distância e isolando-se a força.

2.1.2 Elementos finitos

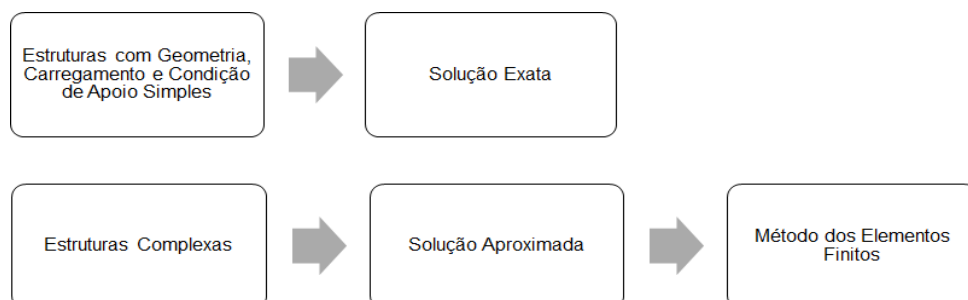
Para a determinação das tensões na manga de eixo, será utilizado o método dos elementos finitos, devido à complexidade que o componente apresenta. Para isso, é necessário uma breve abordagem a respeito, para um melhor entendimento de como é utilizado esse método e para destacar as principais vantagens.

O método dos elementos finitos é realizado a partir da subdivisão da geometria a ser analisada em pequenas partes, as quais, serão denominadas elementos que passarão a representar o domínio contínuo do problema. A partir dessa subdivisão, será possível resolver um problema complexo, pois a partir dessas subdivisões os problemas se tornam mais simples, e se torna possível a realização dos cálculos (MIRLISENNA, 2016).

De acordo com Alves Filho (2012), a maioria das estruturas de importância prática é muito complexa para ser analisada pelas técnicas clássicas. De forma que para estruturas de formas arbitrárias, a solução analítica se tornará impossível, sendo então, necessário realizar diversas simplificações, o que acarretará em resultados pouco precisos.

Dessa forma, o mesmo autor chega a algumas conclusões, identificando que os métodos analíticos clássicos permitem cálculos que apresentam respostas exatas para os deslocamentos, deformações e tensões em todos os seus pontos, porém, esse tipo de solução não é conhecido para alguns casos. Para isso, é de interesse desenvolver procedimentos aproximados, que podem ser aplicados em caráter geral, independente da forma que a estrutura possui ou de seus carregamentos de forma que irá apresentar uma precisão aceitável do problema, surgindo assim o método dos elementos finitos. Na Figura 2 são sugeridas duas formas de solução de problemas.

Figura 2: Formas de solução de problemas.



Fonte: Adaptado de Alves Filho (2012).

2.2 MATERIAL E MÉTODOS

Através do método de pesquisa aplicada, foi realizado o cálculo relacionado a determinação de esforços, bem como a utilização de referenciais relacionados para embasar o trabalho. Em seguida, para determinar as tensões que ocorrem na manga de eixo dianteira, fez-se uso de simulações através do método dos elementos finitos.

2.2.1 Determinação das forças de frenagem

Para realizar a modelagem matemática do componente a ser analisado pelo método dos elementos finitos, é necessário determinar as forças atuantes.

Para o sistema de freios, inicialmente foi determinado o peso dinâmico do veículo durante a frenagem, utilizando-se da Equação 1 em conjunto com a Equação 2, definindo-se valores de forma empírica para a desaceleração na Equação 1, de forma a validar o valor na Equação 2, onde a desaceleração deverá igualar em ambas as equações. Dessa forma, buscase o valor máximo teórico para W_f , o qual, apresentará o maior esforço de frenagem ao veículo. Através disso, obtém-se:

$$W_f = 3085,25 \left(\frac{0,6}{1,52} - \frac{-5,55}{9,81} \cdot \frac{0,54}{1,52} \right)$$

$$W_f = 1837,96 \text{ N}$$

$$ax = \frac{1837,96}{314,5}$$

$$ax = 5,55 \text{ m/s}$$

Com o valor correto de W_f determinado, é possível dar prosseguimento aos cálculos. Determina-se então, a força transversal da roda, que é a força de atrito do contato da roda com o solo, utilizando-se a Equação 3. Sendo necessário dividir o valor final por dois, pois a equação original determina a força transversal em ambas as rodas do veículo e para o posterior uso é necessário a determinação em apenas uma das rodas.

$$F_p = 1837,9 \cdot 0,95$$

$$F_p = \frac{1746,07 \text{ N}}{2}$$

$$F_p = 873,03 \text{ N}$$

Finalmente, é possível determinar o momento que será aplicado no eixo, de forma que irá satisfazer a condição inicial de desaceleração do veículo, sendo calculado através da Equação 4.

$$MFp = 873,03 \cdot 0,28$$

$$MFp = 244,45 \text{ N.m}$$

Agora é possível determinar a força equivalente que será aplicada no suporte de freio da manga de eixo, onde a partir do momento aplicado no eixo, é possível determinar a força resultante (Fr) que será utilizada na simulação do componente, apenas adaptando a Equação 4, de forma a utilizar o raio equivalente do suporte, bem como dividir o valor por 2, devido aos pontos de fixação existentes na manga de eixo. Obtendo-se o seguinte:

$$Fr = \frac{244,45}{2 \cdot 0,0836}$$

$$Fr = 1462,37 \text{ N}$$

2.2.2 Determinação da força no suporte de direção

Para a força a ser utilizada no suporte do sistema de direção, foi considerado o esforço realizado pelo piloto na direção do veículo, que será direcionada para a barra de direção e consequentemente para a manga de eixo dianteira. A força foi determinada calculando o momento exercido na direção, conforme a Equação 5, utilizando-se do diâmetro da direção e o esforço exercido pelo piloto.

$$M = 150 \cdot 0,295$$

$$M = 44,25 \text{ Nm}$$

Após, foi determinada a força que será desenvolvida na barra de direção, utiliza-se a mesma equação, porém isolando-se a força e utilizando o raio do pinhão da caixa de direção do veículo, obtendo-se o seguinte resultado:

$$F = \frac{44,25}{0,056}$$

$$F = 790,18 \text{ N}$$

2.2.3 Determinação da força vertical

Os esforços causados nos suportes da suspensão, são apenas forças de reação do sistema, de forma a manter o equilíbrio com a força vertical transmitida pelo eixo. A mesma foi obtida por Reffatti (2015), através de métodos experimentais, onde o protótipo do baja foi submetido ao ensaio de *drop-test*, sendo o mesmo executado da seguinte forma: o veículo foi elevado a um altura de 1 m, e liberado em queda livre, a fim de medir o deslocamento do amortecedor, permitindo-se assim a determinação dos esforços verticais da suspensão e a determinação da força vertical no eixo da roda através de cálculos, sendo a mesma igual a 763,92 N. Valor o qual, será utilizado na simulação da manga de eixo dianteira.

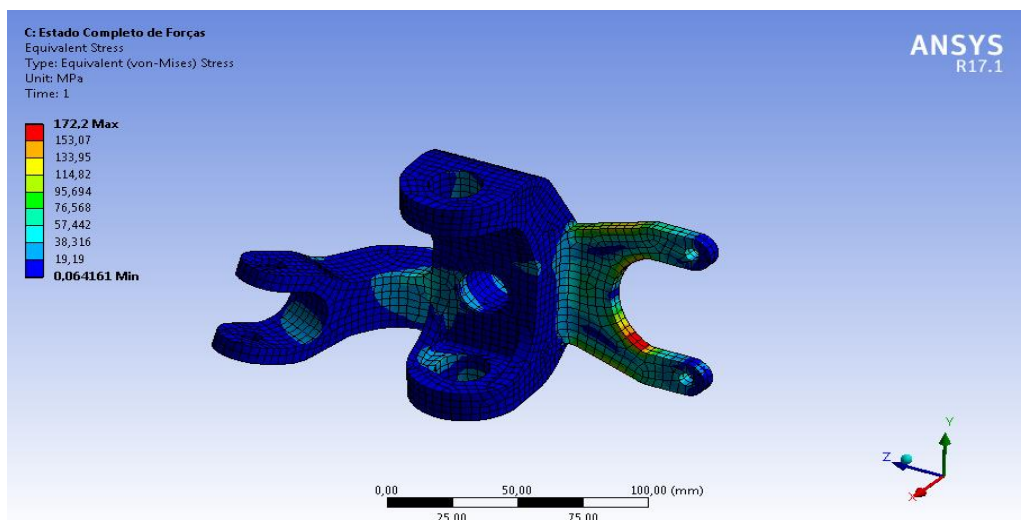
2.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

O material utilizado na fabricação da manga de eixo é o alumínio 6063 T6 e de acordo com a base de dados do MatWeb (2016), este material apresenta a tensão de escoamento a temperatura ambiente igual a 214 MPa, e tensão de ruptura igual a 241 MPa. Dados esses fundamentais para a análise da simulação realizada.

2.3.1 Resultados da simulação

A partir da aplicação das forças determinadas previamente de forma combinada, estado em que a manga de eixo apresentaria o maior estado de tensão. Foram obtidos os resultados apresentados na Figura 3.

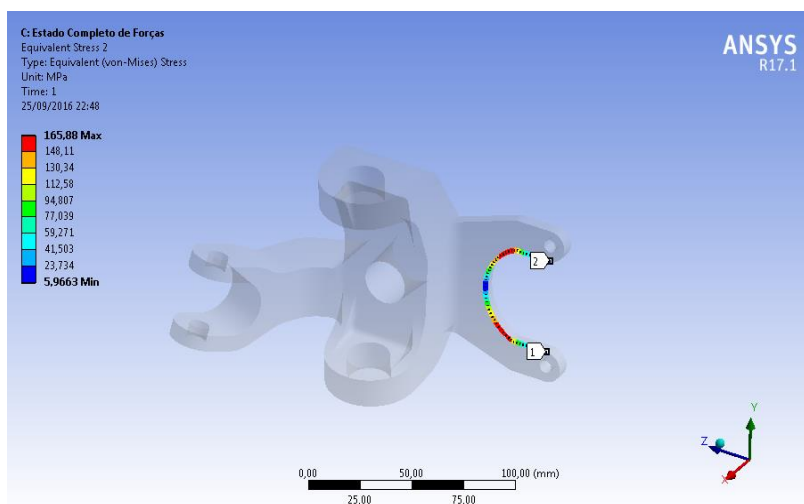
Figura 3: Estado de tensões da manga de eixo dianteira.



Fonte: Autores

Percebe-se através da Figura 3, que a região do suporte de freio é a que apresentou as regiões com as maiores tensões no componente. Para uma melhor análise, foi elaborado a Figura 5, com as tensões indicadas na Figura 4.

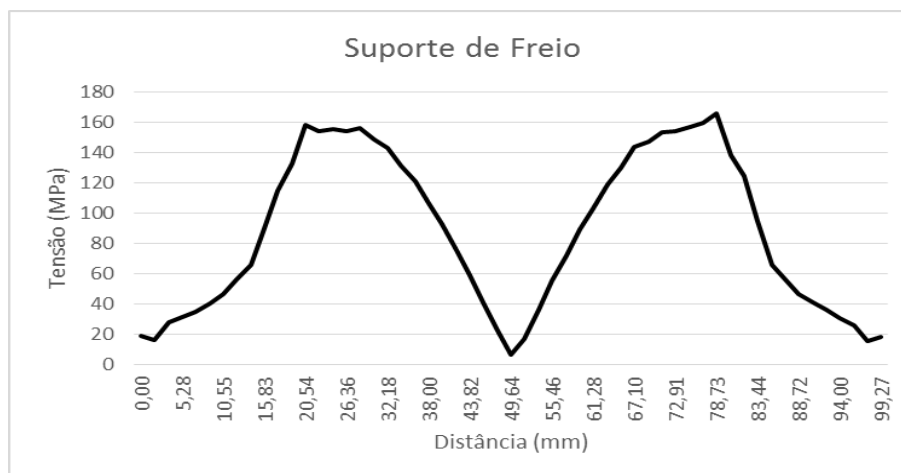
Figura 4: Tensões isoladas na região do suporte de freio.



Fonte: Autores

Na Figura 5, percebe-se de forma mais clara a distribuição das tensões ao longo da aresta indicada anteriormente. Nota-se que a tensão máxima na região é de 165,88 MPa, embora seja um valor elevado, a mesma não ultrapassa o limite de escoamento do material.

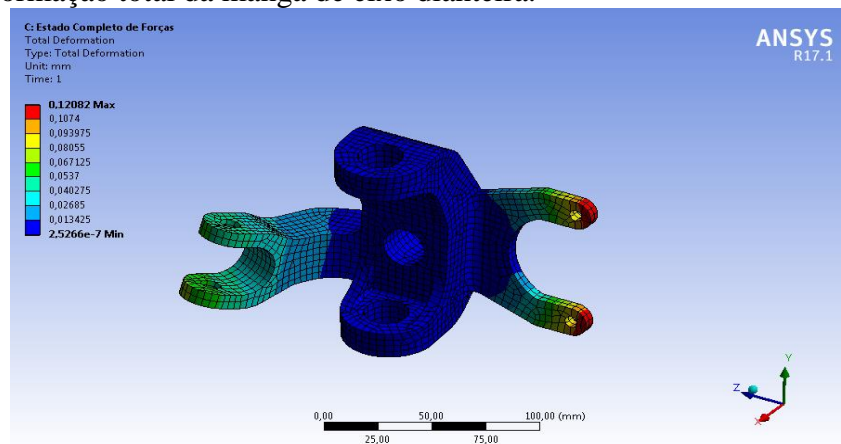
Figura 5: Tensão ao longo do suporte de freio.



Fonte: Autores

Outro ponto de grande importância para a análise do componente são as deformações existentes, que se forem elevadas irão entrar em contato com outras partes do veículo, pois a manga de eixo é montada dentro da roda. Na Figura 6, estão indicadas as deformações existentes no componente.

Figura 6: Deformação total da manga de eixo dianteira.



Fonte: Autores

Novamente a região do suporte de freio é a região mais crítica, pois é a região onde apresenta maior deformação em relação ao resto do componente. Porém conforme a Figura 6, a deformação foi de aproximadamente 0,12 mm. Em relação às outras regiões de conexão com os outros sistemas associados, as tensões e deformações existentes na região de conexão do sistema de suspensão foram extremamente baixas, pois no suporte inferior a tensão máxima é de aproximadamente 50 MPa e o suporte superior 25 MPa. Quanto ao suporte de direção, por apresentar uma massa maior em relação às outras regiões, variou a sua tensão de 10 MPa, nos pontos mais centrais, até 50 MPa nos pontos mais críticos.

CONCLUSÃO

Por meio do método de análise de elementos finitos apresentado neste trabalho, as seguintes conclusões podem ser retiradas:

A definição dos esforços atuais e tensões é de grande importância para o desenvolvimento do novo componente, pois dessa forma, são determinadas quais são as regiões mais críticas e propensas a falhas, bem como as que devem ser otimizadas.

A região do suporte de freio apresenta tensões de elevadas, chegando próximas ao

limite de escoamento do material, porém, por ser um componente já utilizado e testado, a região do suporte de freio é confiável nas tensões indicadas e não deverá sofrer alterações em sua geometria.

A região de suporte da suspensão inferior, apresentou uma maior tensão, devido principalmente, ao fato de ser onde o braço da suspensão que é ligado o amortecedor ser nessa região, absorvendo toda a carga vertical do sistema. A região do suporte superior, apresentou tensões bastante baixas, as quais devem ser otimizadas.

Quanto a região do suporte do sistema de direção, por apresentar um maior volume, observa-se uma maior variação de tensão ao longo da mesma, a qual pode-se otimizar de forma a obter uma melhor distribuição de tensão, bem como fazer um melhor aproveitamento do material.

A partir das conclusões, é possível realizar o desenvolvimento do novo componente de forma mais segura, pois os objetivos principais foram alcançados, determinando-se as forças e tensão, de forma a conhecer quais são as regiões mais críticas em relação a possíveis falhas, bem como as regiões onde existem grandes desperdícios de material. Dessa forma, em outro trabalho será possível desenvolver um novo projeto com o objetivo de reduzir os custos de fabricação, bem como a redução da massa do componente.

REFERÊNCIAS

ALVES FILHO, A. A. **Elementos Finitos: A Base da Tecnologia CAE**. 5. ed. São Paulo: Érica, 2012.

GILLESPIE, T. D. **Fundamentals of Vehicle Dynamics**. Pittsburgh: SAE – Society of Automotive Engineers, 1992.

KLAVA, B. **Desenvolvimento das Etapas de Análise e Otimização Estrutural de uma Manga de Eixo**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2003.

MATWEB. **MatWeb-Material property data**. Disponível em: <<http://www.matweb.com/search/DataSheet.aspx?MatGUID=333b3a557aeb49b2b17266558e5d0dc0&ckck=1>>. Acesso em: 25 set. 2016.

MIRLISENNA, G. **Método dos Elementos Finitos: O que É?**. Disponível em: <<http://www.esss.com.br/blog/2016/01/metodo-dos-elementos-finitos-o-que-e/>>. Acesso em: 20 jun. 2016.

REFFATTI, F. **Determinação das Forças Atuantes na Suspensão Dianteira de um Veículo BAJA SAE**. Monografia (Graduação em Engenharia Mecânica) – Faculdade Horizontina, Horizontina, 2015.