



# CRICTE 2017

XXVIII Congresso Regional de Iniciação Científica e Tecnológica em Engenharia



## ESTUDO DE CASO DA TENSÃO ATUANTE EM ENGRENAGEM COM MASSA REDUZIDA PELO MÉTODO DE ELEMENTOS FINITOS

### **Renan G. Paz**

Acadêmico do curso de Engenharia Mecânica da Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões-Campus de Santo Ângelo

renangpaz@aluno.santoangelo.uri.br

### **Guilherme W. Ribas**

Acadêmico do curso de Engenharia Mecânica da Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões-Campus de Santo Ângelo

guilhermewribas@aluno.santoangelo.uri.br

### **Bárbara R. Wilhelm**

Acadêmica do curso de Engenharia Mecânica da Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões-Campus de Santo Ângelo

barbararwilhelm@aluno.santoangelo.uri.br

**Resumo.** *A competição Baja SAE Brasil propõe a construção de um veículo off-road que deve resistir a provas como tração e velocidade em terrenos acidentados. O sistema que diferenciará uma equipe da outra, ditando qual obterá a maior pontuação, será o sistema de transmissão, mais especificamente o projeto da caixa de redução. A equipe URI Baja, pensando em um maior rendimento do veículo, optou pela diminuição de massa nas engrenagens da caixa de redução. Mas como esta redução de massa pode alterar a resistência deste componente? Para realização deste estudo utilizou-se o método de Elementos Finitos a fim de determinar a tensão máxima sofrida pelo material, uma vez que é aplicada uma força de 9,5 kN nos dentes da engrenagem, para que esta se mova. Observa-se, através da simulação, que mesmo com as reduções de massa, a engrenagem não irá falhar, uma vez que a tensão resultante será menor que a tensão de escoamento do aço AISI 8640, utilizado na fabricação das engrenagens.*

**Palavras-chave:** *Redução de massa. Engrenagem. Método de elementos finitos.*

## 1. INTRODUÇÃO

O evento estudantil Baja SAE Brasil reúne estudantes de engenharia de todo país e é promovido pela SAE Brasil, filiada da SAE International. Esta competição objetiva a construção de um veículo *off-road* e consequentemente a avaliação de todos os seus sistemas (direção, freio, suspensão, transmissão, estrutura, design e marketing).

Os veículos são avaliados em provas estáticas e dinâmicas, dentre elas as provas de *suspension&traction*, velocidade e aceleração, que exigem, principalmente, de um sistema de transmissão eficiente e ao mesmo tempo resistente.

A prova de *Suspension&Traction* consiste em percorrer um traçado sinuoso e com obstáculos onde será testada a capacidade de manobras e tração do veículo (RBSB 9, p. 15) [1]. Já as provas de velocidade e aceleração medem a habilidade

do veículo em transmitir potência útil na forma de aceleração (RBSB 9, p.12) [1].

Os veículos *off-road* possuem um sistema de transmissão, geralmente, composto por:

- CVT (*Continuously Variable Transmission*)
- Caixa de redução.
- Semieixos homocinéticas.

Como, para esta competição, o motor utilizado é padrão (*Briggs&Stratton*, de 10HP), a diferença entre as equipes está no projeto do sistema de transmissão, que deve ser bem dimensionado para que a equipe se saia bem nas provas supracitadas. No caso da caixa de redução, as engrenagens são responsáveis por diminuir a rotação que é transmitida do motor para as rodas. Porém, para um veículo *off-road*, o parâmetro de dimensionamento mais importantes não é a rotação, e sim o torque, que sofre um aumento desde a sua saída do motor até chegar as rodas. O torque é o principal fator de influência no dimensionamento da caixa de redução devido as características acidentadas do terreno onde acontecem as provas de tração, *suspension&traction* e enduro. Outro fator de grande influência para uma boa colocação na competição é o peso do veículo, quanto mais leve melhor. Pensando nisso, a equipe URI BAJA, da Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões - Campus de Santo Ângelo, remodelou sua caixa de redução a fim de reduzir ao máximo possível a massa das engrenagens da caixa de redução.

As engrenagens são elementos rígidos utilizados na transmissão movimentos rotativos. Esse tipo de transmissão de potência é considerado mais vantajoso em relação a transmissão por elementos flexíveis devido a:

- Menor tamanho;
- Maior potência transmitida;
- Alta confiabilidade;
- Transmissão de potência entre eixos paralelos, perpendiculares, com ou sem interseção.

O objetivo deste trabalho é analisar, pelo método de Elementos Finitos, se a redução de massa na engrenagem da caixa de redução põe em risco a integridade física da mesma, comprometendo assim todo o sistema.

## 2. METODOLOGIA

Para determinar se a engrenagem de dentes retos, que sofrerá uma diminuição de massa, aguentará a pressão aplicada sobre ela partiu-se para a simulação numérica, utilizando o método de Elementos Finitos. Este método divide a estrutura a ser analisada em pequenos volumes finitos, delimitados por pontos, denominados nós. É nos nós que se aplicam as condições de contorno e força (BUDYNAS, NISBETT, 2016, p.941) [2].

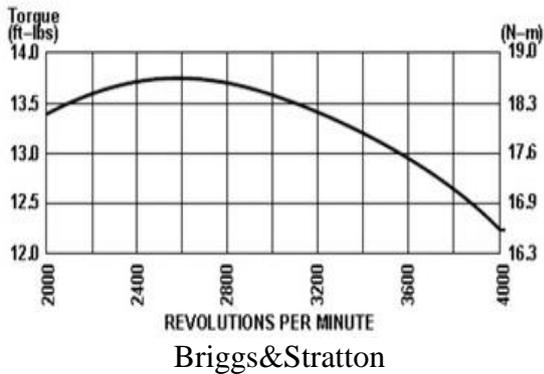
Como o critério de falha do material AISI 8640 é a tensão de escoamento, utiliza-se o critério de falha de von Mises. Este critério de falhas é utilizado para materiais dúcteis e diz que um corpo irá falhar se a energia necessária para distorcer o corpo for maior que a energia de distorção de um corpo de prova submetido a um ensaio de tração (PHILPOT, 2013, p. 589) [3].

### 2.1 Determinação do problema

Para realizar o estudo da tensão sofrida pela engrenagem foi necessário definir a força que atua no dente. Como o sistema de engrenagens da caixa de redução sofre interferência de todo o sistema de transmissão, deve-se considerar, para o cálculo da força, o torque desde a saída do motor.

Conforme a Fig.1, pode-se ver que valor do toque varia com a rotação, para a condição mais extrema, de 2600 rpm, o toque do motor é de aproximadamente 18,7N.m, porém, sabe-se que nenhum motor possui eficiência de 100% devido as perdas, considerou-se, para fins de cálculo, o torque na saída do motor de 18,3N.m (Força x distância).

Figura 1. Curva Torque x RPM



Após sair do motor, este torque é alterado pelas relações de transmissão da CVT e da caixa de redução. A relação de transmissão da caixa de redução é definida pelo projeto da equipe, sendo 7,84. Já a relação da CVT deve ser considerada segundo os objetivos, se o objetivo for velocidade deve-se utilizar a relação máxima, para conseguir o maior rendimento nos momentos em que é mais solicitada a tração do veículo (casos mais extremos) utiliza-se a relação mínima. Segundo o fornecedor CVTech, o valor mínimo da relação é 3.

Sabe-se que o torque ( $T$ ), resultante na engrenagem, é calculado pela Eq.(1), descrita abaixo:

$$T_{eng} = T_{motor} \times i_{caixa} \times i_{cvt} \times f \quad (1)$$

Onde  $T_{eng}$  corresponde ao torque que chega a engrenagem, e Newton metro;  $T_{motor}$  corresponde ao torque máximo de saída do motor, em Newton metro;  $i_{caixa}$  é a relação de transmissão disponível na caixa de redução;  $i_{cvt}$  é a relação transmissão da CVT e  $f$  corresponde a um fator de segurança adotado pelo projetista.

Na competição Baja SAE Brasil, em março de 2017, a equipe URI BAJA foi eliminada durante a prova de enduro devido a problemas em seu projeto da caixa de redução, por isso, adotou-se um coeficiente

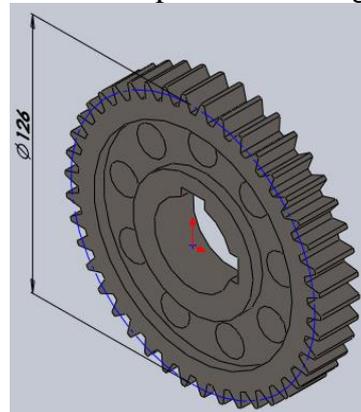
de segurança maior para o novo projeto, ficando definido como 40%.

Deste modo, sabe-se que:

$$T_{eng} = 18,3 \times 3 \times 7,84 \times 1,4$$

Tem-se, então, que o torque na engrenagem é de aproximadamente  $600N.m$ . A força é determinada pela distancia em que ela é aplicada, em relação ao torque. No caso de engrenagens, a força é aplicada com uma angulação de  $20^\circ$  (ângulo de pressão) na linha do diâmetro primitivo. Esta medida está relacionada na Fig. 2.

Figura 2. Diâmetro primitivo da engrenagem



O torque está aplicado no centro da engrenagem, onde está marcado o sistema de coordenadas. No desenho é possível constatar que o diâmetro primitivo é de  $126mm$ , a partir dessas informações verifica-se que a medida de onde a força será aplicada até o ponto onde há torque temos  $63mm$ . Esta medida é considerada o raio primitivo da engrenagem e, portanto, é utilizada para o cálculo da força, que é dada pela Eq. (2).

$$F = T_{eng}/r_{eng} \quad (2)$$

Onde  $F$  é a força, em Newton, aplicada no dente da engrenagem e  $r_{eng}$  é o raio primitivo da engrenagem, em metros. Temos então que:

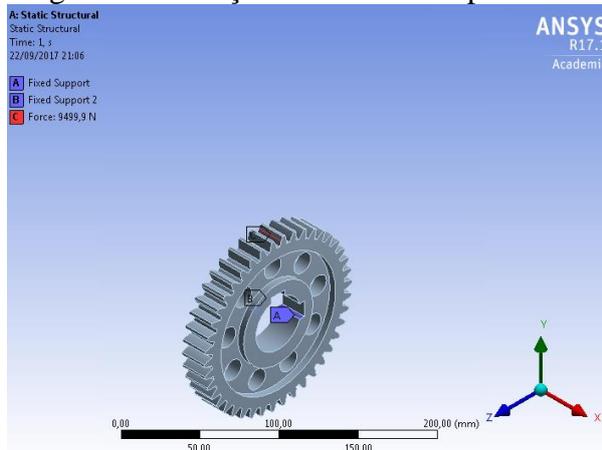
$$F = 600N.m/0,063m$$

Portanto, sabe-se que a força aplicada com um ângulo de  $20^\circ$  na linha do diâmetro primitivo do dente da engrenagem será de  $9,5 \text{ kN}$ .

### 3. RESULTADOS

Aplicada a força de  $9,5 \text{ kN}$  a um ângulo de pressão de  $20^\circ$  no dente da engrenagem, Fig. 3., obtemos os valores de tensão mostrado na Fig. 5.

Figura 3- Condições de contorno aplicadas



Aplicou-se dois travamentos no centro da engrenagem, representando o travamento das duas chavetas defasadas  $90^\circ$ .

Figura 4- Malha

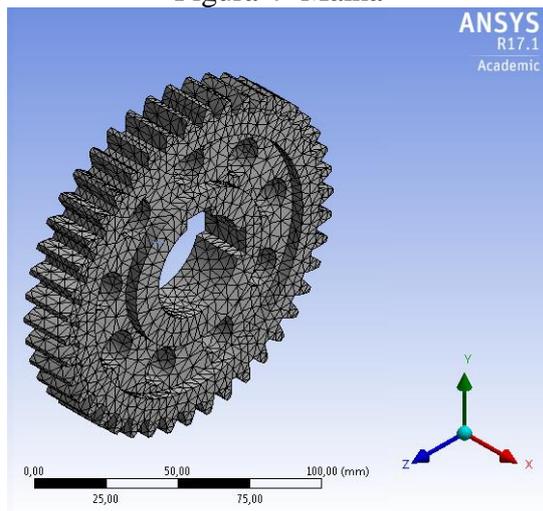
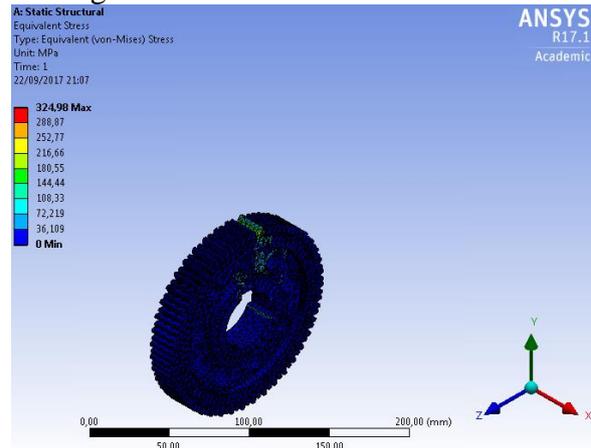


Figura 5 – Tensão máxima resultante



Com a simulação, foi possível observar que o material AISI 8640 utilizado para fabricação das engrenagens, não atingiu seu limite de escoamento,  $720 \text{ Mpa}$ , as tensões máximas atuantes ficaram na faixa de  $325 \text{ Mpa}$ . Podemos concluir que o alívio de massa realizado não compromete a integridade física da engrenagem.

Para estudos futuros, deverá ser realizada uma independência de malha com o objetivo de delimitar um tamanho ideal da malha, obtendo-se assim resultados ainda mais precisos.

### Agradecimentos

É manifestado nosso agradecimento a equipe URI BAJA pelo apoio neste trabalho.

### 4. REFERÊNCIAS

- [1] RBSB9- Avaliações e Pontuações, 2016, p 12-15.
- [2] R. G. Budynas and J. K. Nisbett, Elementos de Máquinas de Shigley, AMGH, Porto Alegre, 2016, p 941.
- [3] T. A. Philpot, Mecânica dos materiais- um sistema integrado de ensino, LTC, Rio de Janeiro, 2013, p 589.