

# TRANSMISSÃO PLANETÁRIA 4WD APLICADA A UM VEÍCULO FSAE ELÉTRICO

Rodrigo Callegaris<sup>1</sup>, Prof. Me. Rafael Serralvo Neto<sup>2</sup>, Prof. Dr. Fábio Delatore<sup>3</sup>

<sup>1,2</sup> Engenharia Mecânica, Centro Universitário FEI

<sup>3</sup> Engenharia Elétrica, Centro Universitário FEI

rodrigo.callegaris@uol.com.br

fdelatore@fei.edu.br

**Resumo:** O projeto explora as potencialidades da arquitetura de tração integral (4WD), com a motorização acoplada ao cubo de roda, via redução planetária, quando aplicada a um veículo de competição FSAE Elétrico. A partir de matrizes de decisão, projeto mecânico e simulações, foi possível constatar um aumento de torque em tração de até 83% em comparação ao veículo referência 4x2.

## 1. Introdução

Partindo-se do estudo das mais de 1000 h de aquisição de dados em pista e, de modelos matemáticos do veículo no software AVL VSM, enxergou-se oportunidades de exploração dos limites de tração, vetorização de torque e desempenho pela implementação de um sistema de tração integral na configuração dos novos veículos elétricos a serem desenvolvidos pela equipe Fórmula FEI.

Um *benchmarking* com equipes do exterior orientou a seleção dos 4 motores elétricos, idênticos, de tamanho e torque compatíveis com as características construtivas do veículo. A Tabela I na sequência apresenta os valores de torque, potência máxima do motor AMK DD5-14-10-POW, adquirido via contrato de patrocínio junto a empresa AMK Group.

Tabela I – Dados técnicos do motor AMK

Torque nominal	21 N.m
Potência máxima	37 kW
Rotação máxima	18.600 rpm

Para o projeto mecânico dos componentes, algumas restrições de *design* e desempenho foram levadas em consideração como:

- Manutenção da mesma velocidade final teórica de aproximadamente 110 km/h e torque nessa velocidade, da configuração 4x2;
- Manutenção das dimensões principais da manga de eixo e, cubo de roda.

## 2. Metodologia

Para determinar a relação de transmissão, basta dividir a rotação máxima do motor, pela velocidade máxima desejada nas rodas, como demonstra a equação a seguir:

$$i = N / (60 \cdot V) / (3,6 \cdot 2\pi \cdot R) \quad (1)$$

Em que:

- $i$  é a relação de transmissão;

- $N$  é rotação do motor em rpm;
- $V$  é velocidade da roda em km/h;
- $R$  é o raio dinâmico dos pneus.

Substituindo-se as grandezas de 18.600 rpm, 110 km/h, e 0,207 m, tem-se a relação preliminar de 13,19.

A configuração planetária, ou epicicloidal, composta, é que garante maior possibilidade de redução, com a menor quantidade de componentes e associações, como consta no livro [1] “Automotive Transmissions” de Herald Naunheimer. A Figura 1 a seguir apresenta a configuração do sistema planetário para a configuração 4WD.

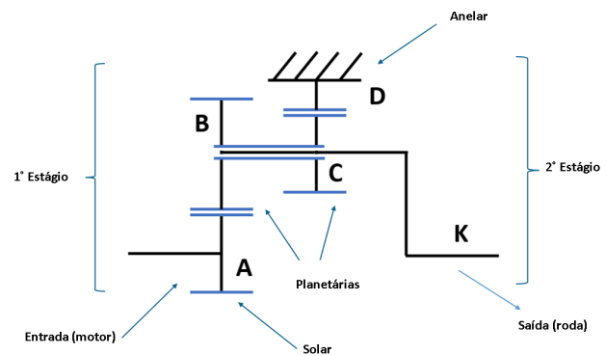


Figura 1 – Sistema Planetário Composto.

Na configuração expressa pela figura 1, a Anel D possui velocidade nula (fixa), a entrada se dá pela Solar A, as Planetárias B e C são solidárias e, a saída do sistema encontra-se no *Planets Carrier* K, acoplado ao cubo de roda. Para o sistema planetário em questão, sabe-se que a relação de transmissão total é dada pela seguinte equação:

$$i = (Z_b \cdot Z_d) / (Z_a \cdot Z_c) + 1 \quad (2)$$

Em que:

- $Z_b$  é número de dentes da Planetária B;
- $Z_d$  é número de dentes da Anel D;
- $Z_a$  é número de dentes da Solar A;
- $Z_c$  é número de dentes da Planetária C;

## 3. Projeto do sistema planetário

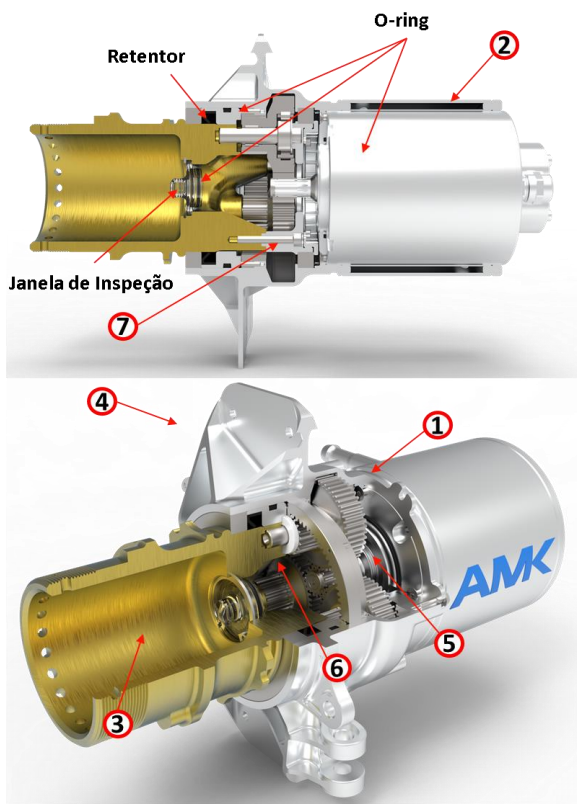
A Tabela II na sequência apresenta os parâmetros de projeto definidos em função do tipo de engrenamento, espaço disponível para alojamento do sistema nas rodas e limitação de ferramental e material dos fornecedores. O dimensionamento das engrenagens seguiu os critérios de Lewis e Hertz, apresentados no livro [2] “Elementos de máquinas de Shigley” de Joseph Edward Shigley.

Tabela II – Parâmetros das engrenagens

Distância entre centros	32.4 mm
Tipo de engrenamento	ECDR
Ângulo de pressão	20 graus
Módulo	1 mm
Material	SAE 4140 ou SAE 8620
Za	17
Zb	49
Zc	21
Zd	87
Relação final	12,94

#### 4. Design dos componentes

O design dos componentes da transmissão foi efetuado com o auxílio do software NX, disponível no Centro Universitário FEI. A Figura 2 na sequência revela os detalhes do Powertrain Elétrico.



- 1 Motor AMK
- 5 1º Estágio
- 2 Arrefecimento
- 6 2º Estágio
- 3 Cubo de roda
- 7 Planets Carrier
- 4 Manga de eixo

Figura 2 – Powertrain Elétrico.

#### 5. Simulação

Para a simulação das engrenagens utilizou-se o software Ansys para a configuração *Static Structural*. A Figura 3 na sequência apresenta os resultados da simulação para o primeiro e segundo estágios da transmissão.

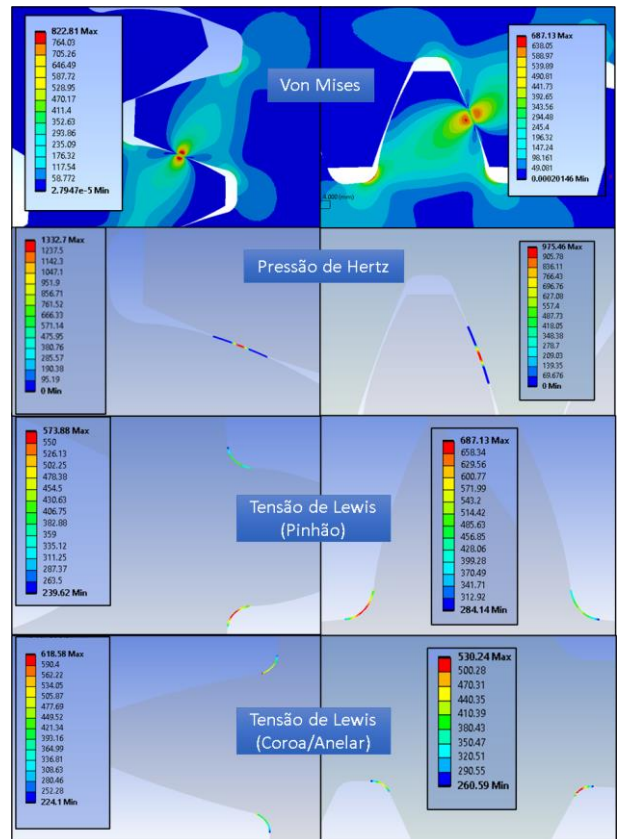


Figura 3 – Lewis e Hertz para 1º Estágio (esquerda) e 2º Estágio (Direita)

#### 5. Resultados

O gráfico expresso pela Figura 4 na sequência, compara o veículo 4WD, ajustado para desempenho (Azul), ajustado para eficiência (Verde) e o do veículo 4x2 (vermelho). Nota-se um considerável aumento no torque trativo disponível, de 83%, até 60 km/h, na configuração 4WD (azul).

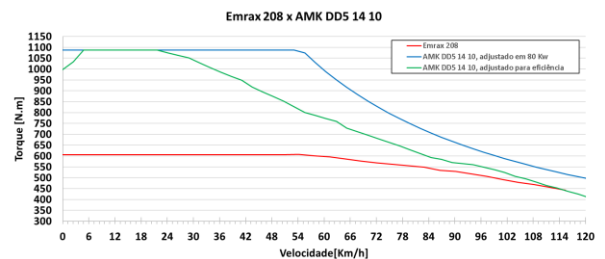


Figura 4 – Comparativo de desempenho.

O projeto encontra-se na fase construção e, pretende-se validar em pista, os dados teóricos de projeto e simulações efetuadas.

#### 6. Referências

[1] H. Naunheimer et. al., *Automotive Transmissions*, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2010.  
 [2] J. E. Shigley et. al., *Elementos de máquinas de Shigley*, Mc Graw Hill, 2008.

<sup>1</sup> Aluno do Projeto Fórmula FEI Elétrico, do Centro Universitário FEI. Projeto com vigência de 07/20 a 07/21.