

PROJETO E DIMENSIONAMENTO DE UMA TRANSMISSÃO PLANETÁRIA PARA APLICAÇÃO EM VEÍCULOS ELÉTRICOS MODELO FSAE

Palavras-Chave: PLANETÁRIOS, TRAÇÃO NAS QUATRO RODAS, FORMULA SAE.

Autores:

EMERSON ALVES DA COSTA [UNICAMP]

GUILHERME KATZAP GRIGOLON [UNICAMP]

Prof. Dr. FRANCO GIUSEPPE DEDINI (orientador) [UNICAMP]

INTRODUÇÃO:

Sistemas de transmissão planetária são comumente utilizados como uma das melhores soluções para transmissão de potência em aplicações de alto torque [1]. Devido à sua ótima relação peso-potência, este conjunto de engrenagens permite realizar montagens em condições de espaço reduzido, o que os tornam ótimas alternativas para aplicação em veículos de Fórmula SAE.

A Formula SAE é uma competição de engenharia que desafia equipes compostas por estudantes de graduação e pós-graduação à conceberem, projetarem, fabricarem e desenvolverem veículos pequenos no estilo formula para competição [2]. Nestas competições, os veículos de todas as equipes são submetidos à diversas provas estáticas e dinâmicas que visam avaliar a performance do projeto. Cada time, tem a chance de demonstrar sua criatividade e habilidades de engenharia em comparação com times de outras universidades do mundo todo [2].

O objetivo do projeto é alcançar um design otimizado que atenda aos targets de confiabilidade e desempenho para a aplicação em um sistema four-wheel drive (4WD, ou de tração nas quatro rodas), com uma configuração a ser implementada dentro de cada conjunto roda do veículo. Os principais desafios envolvem a otimização de espaço para a obtenção de uma configuração robusta que atenda aos requisitos de projeto e de performance em pista, com desempenho seguro e eficiente.



Figura 1 – Protótipo E2019 Veículo elétrico FSAE – Unicamp E-racing (autoral)

METODOLOGIA:

O desenvolvimento do projeto foi dividido de forma indireta em três fases principais. A primeira fase compreendeu o levantamento das necessidades e requisitos do projeto, assim como o planejamento efetuado para alinhar a pesquisa com os prazos da equipe Unicamp E-racing, que fará uso do protótipo manufaturado, e a realização de benchmark entre equipes. Na segunda fase, fez-se o uso de matrizes de decisão para a escolha da solução mais adequada para posterior dimensionamento. Na terceira fase, o foco girou em torno de formas de otimização e detalhamento dos desenhos dos componentes até sua concepção final.

Para isso ser possível, inicialmente fez-se um estudo sobre a dinâmica longitudinal do veículo usando uma abordagem adaptada da adotada por Thomas D. Gillespie, resultando no diagrama de corpo livre da figura 2.

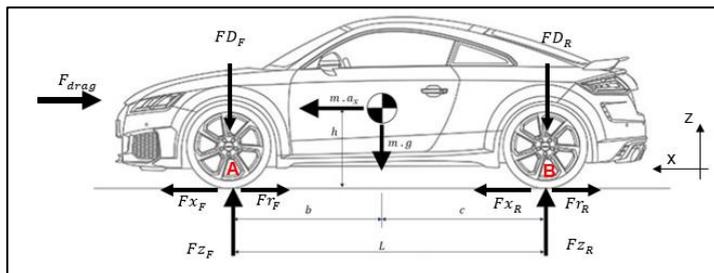


Figura 2 – DCL do veículo em movimento (autoral)

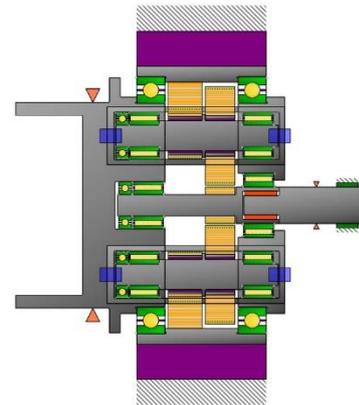


Figura 3 – Modelo construído no MASTA

Com isso, um modelo para a dinâmica longitudinal foi construído no Matlab capaz de retornar a relação de transmissão ótima, dada as condições de contorno necessárias. O modelo, então, é utilizado no cálculo da análise cinemática do conjunto de engrenagens a fim de obter a combinação dos parâmetros geométricos que retornem tal ganho mecânico e a partir desta análise, um modelo simplificado foi construído dentro do software MASTA para a realização das análises dinâmicas e cálculos de resistência dos materiais, obtendo resultados mais próximos à condição de operação real.

RESULTADOS E DISCUSSÃO:

O programa desenvolvido para estudar o comportamento longitudinal do veículo, mostrou como o veículo se comportaria em pista, em uma condição de prova de aceleração em uma linha reta de 75m. Destes resultados gráficos é possível notar como se dá o aproveitamento do limite de tração permitido pelos pneus e o fornecido pelos motores elétricos escolhidos montados em cada roda.

Efetivamente, o modelo diz que a configuração que retorna a melhor relação de transmissão, para o melhor tempo de prova e o melhor aproveitamento dos limites de tração, é de 11.8:1. Neste cenário, é possível atingir uma aceleração de 0-100 km/h em 1,899s e completar a prova em 3.297s.

Como consequência, observa-se como os pneus atuam como limitantes em determinados instantes e quando o motor se mostra como o principal responsável por restringir um melhor desempenho, como pode ser observado na curva de torque x velocidade.

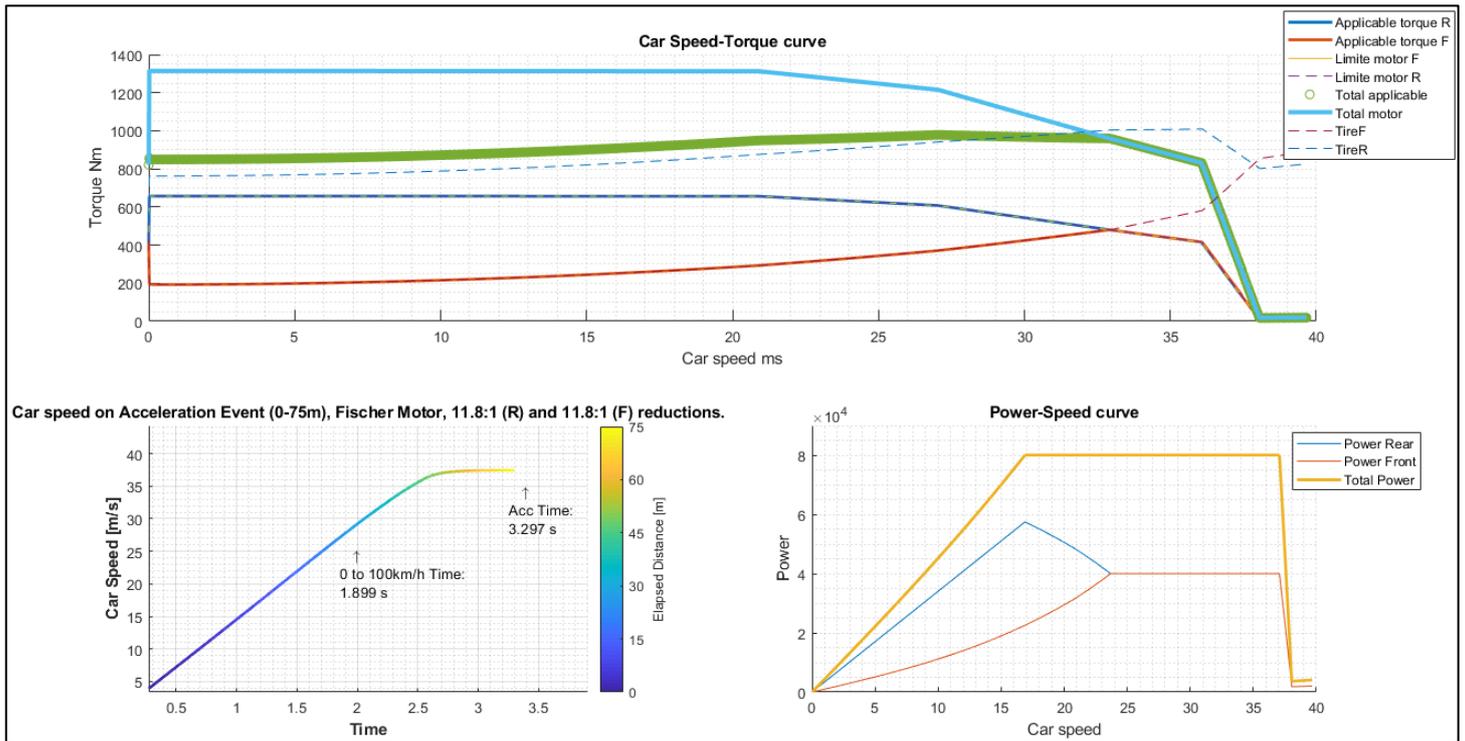
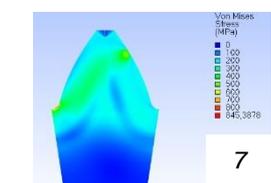
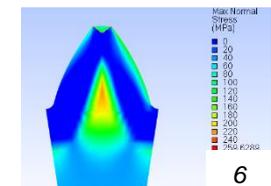
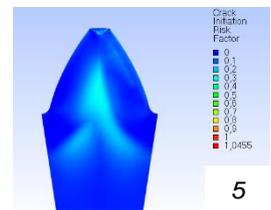
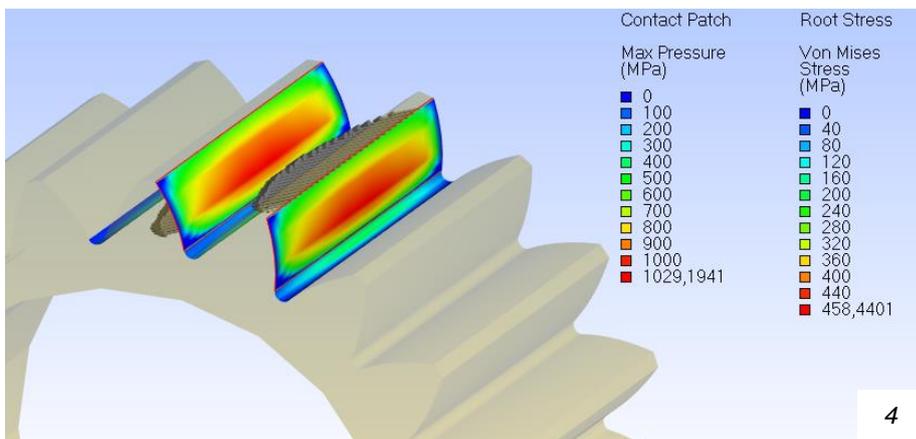


Gráfico 1 – Resultados do comportamento dinâmico para a redução escolhida (autoral)

Após as análises da dinâmica do veículo terem sido feitas, a solução adotada para atender às restrições de espaço e desempenho em pista escolhida foi o uso de um sistema de engrenagens cilíndricas de dentes retos montadas em uma disposição de planetários de dois estágios. O dimensionamento dos pares engrenados seguiu as especificações dadas pela AGMA e reforçados pelas considerações avançadas em elementos finitos construído dentro do software MASTA, permitindo compreender a interação entre cada par em termos de resistência e cinemática, conforme exemplos de alguns dos resultados abaixo.



Figuras: (4) Análise de LTCA para o planeta menor à 0°; (5) Fator de risco para iniciação de trinca; (6) Máximas tensões normais; (7) Tensões de Von Mises, respectivamente (autoralis)

Em conjunto, os eixos dos planetas e da engrenagem solar foram dimensionados, obtendo os diagramas de esforços e momentos fletores atuantes para a condição de comportamento em fadiga, considerando vida infinita. Disto uma série de discussões sobre os sistemas de rolamentos foram feitas, encontrando uma solução que se adaptasse aos altos valores de rotação e garantisse estabilidade no sistema, devido aos componentes de tamanho tão pequenos. Portanto, um sistema de rolamentos fixos/livres foi adotado usando mancais que suportassem a vida de 100h sob condição de torque máximo.

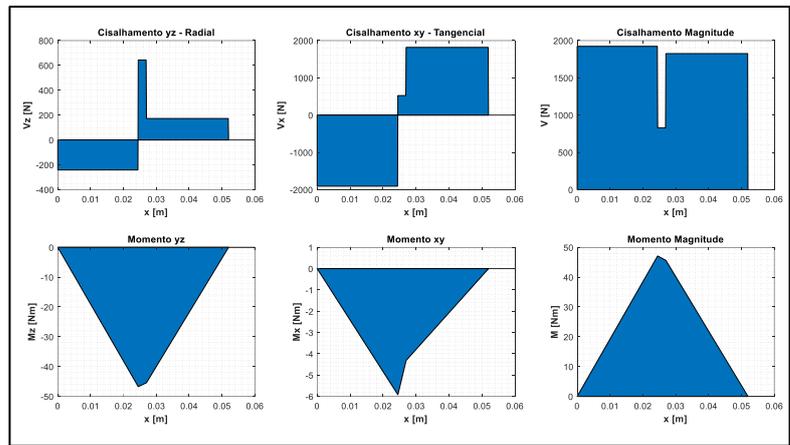


Gráfico 2 – Esforços cortantes e momentos fletores resultantes para o eixo dos planetas (autoral)

Definido os elementos principais, todos os outros componentes como cubos, manga de eixo, elementos de fixação e entre outros, foram desenhados e toda a linha de montagem foi elaborada visando atingir a sequência mais lógica e otimizada, chegando então no design final apresentado na figura 8:



Figura 8 – Sistema de Planetários final (autoral)

CONCLUSÕES:

Este trabalho representa o desenvolvimento de um projeto pioneiro no país de uma redução planetária para um veículo elétrico no estilo formula SAE com quatro motores. Todo o

desenvolvimento e estudos sobre o sistema mostraram-se de extrema complexidade devido à riqueza de detalhes e cuidados a serem tomados para atender às condições de operação tão específicas.

Ainda assim, reunindo todas as observações coletadas dos resultados atingidos, foi possível concluir que os objetivos de projeto, quanto ao cumprimento das restrições e dos *targets* inicialmente propostos foram alcançados. Os fatores de segurança do conjunto mostraram-se superiores ao valor buscado de 1,25 e toda a montagem foi construída de forma lógica com o máximo aproveitamento de espaço possível.

Em conjunto a isso, o projeto finaliza abrindo margens para futuras melhorias, tornando-se um importante primeiro passo no desenvolvimento de novas tecnologias, agregando ao nível de engenharia da competição nacional e ao avanço de soluções para a mobilidade elétrica.

BIBLIOGRAFIA

[1] BAKSHI, Soovadeep; DHILLON, Parveen; MARUVADA; Teja; Design and Optimization of Planetary Gearbox for a Formula Student Vehicle; SAE International, 2014.

[2] SAE International, Formula SAE Rules 2020