



XXVI CREEM

Congresso Nacional de Estudantes
de Engenharia Mecânica

ILHÉUS/ITABUNA - BAHIA



XXVI Congresso Nacional de Estudantes de Engenharia Mecânica,
CREEM2019
19 a 23 de agosto de 2019, Ilhéus, BA, Brasil

PROJETO E ANÁLISE DO SISTEMA DE DIREÇÃO VOLTADO AO PROTÓTIPO DE UM CARRO PARA O FORMULA SAE

Lucas Santos De Oliveira, lucassantosdeoliveira2020@gmail.com
Rafael Lemos Diniz, catedral_rafa20@hotmail.com
Lucas Cunha da Silva, lucas_cunha747@hotmail.com
José Ribamar Ribeiro Silva Júnior, professorjrribeiro@gmail.com
Israel da Conceição Rocha, israelr777@live.com
Ronny Sousa Silva, ronnysousa1997@gmail.com

Universidade Estadual do Maranhão, Cidade Universitária Paulo VI, n 1000 – Jardim São Cristóvão, São Luís –MA

Resumo. Como a primeira iniciativa no estado no Maranhão em projeto e produção de veículos para a competição anual Formula SAE, a equipe Vórtex Racing surgiu em 2016 como um projeto especial da Universidade Estadual do Maranhão (UEMA). Portanto, para melhor representar o estado, é necessário que o carro funcione bem durante todo o evento. Para este fim, o presente trabalho se propõe a projetar um sistema de direção voltado especificamente ao projeto VTX-01, levando em conta as descrições de percurso contidas no regulamento vigente no ano de 2019 e as algumas medições do carro calculadas no projeto de chassi e suspensão. Para serem usadas como dados de entrada para a aplicação conceitos e formulações de livros de autores como Juvinal e Shigley para dimensionamento de componentes, a fim de garantir suas integridades durante toda sua aplicação. Foram consultadas também obras de autores como Gilliespie, Nicolazzi e Seward para a determinação de parâmetros necessários em qualquer veículo automotor, respeitando a todo o momento as particularidades de um carro de corrida. Por fim, neste trabalho é realizado a modelagem e simulações para análise comparativa de resultados através de ferramentas como SolidWorks e Ansys, garantindo a confiabilidade do projeto. Entregando um projeto seguro e apropriado para sua aplicação.

Palavras-Chave: Sistema de direção. Simulação. Modelagem. Equipe Vórtex Racing

1. INTRODUÇÃO

Veículos automotores são ferramentas essenciais para o deslocamento e transporte de pessoas ou objetos de um lugar para outro. Veículos equipados com motores de combustão interna obtêm energia a partir da reação química de combustão de seu combustível, viabilizando a realização do trabalho necessário para realizar sua função. Por este motivo, vários sistemas como suspensão, transmissão, freios, chassi, direção e diversos outros devem operar em sincronia, de forma que seja possível o funcionamento e controle de qualquer veículo deste tipo.

Logo, como o principal sistema responsável pelo controle direcional de qualquer veículo que se movimenta por terra, o (Seward, 2014) define o sistema de direção como um sistema de pinhão e cremalheira que converte movimento rotacional do volante em movimento translacional, atingindo este a partir de uma relação de transmissão entre uma série de outros componentes. Neste sentido, o sistema de direção deve ser projetado previamente de forma que suporte as tensões que serão incididas durante seu funcionamento.

Para realizar um projeto apropriado, são necessários formulações e coeficientes disponíveis em livros de autores como o Shigley e o Juvinal. Para o presente projeto, foram levados em consideração diversos fatores presentes em situações de trabalho mecânico, a fim de conhecer as tensões que agem e garantir que os materiais suportarão os esforços dos sistema para o veículo da Fórmula SAE.

Utilizou-se também parâmetros sugeridos pelo Nicolazzi, a fim de definir alguns valores relacionados ao sistema de direção acoplado ao resto do veículo, para que este funcione de forma que melhor garanta controle direcional do veículo ao longo de seu funcionamento.

Desta forma, o presente trabalho se propõe a fazer um estudo detalhado em cima de esforços mecânicos dos componentes do sistema, as interações que levam ao controle direcional do carro para a posterior elaboração do projeto do sistema de direção do veículo da equipe Vortex para a competição Fórmula SAE assim como a análise do sistema de direção projetado, por meio de simulação computacional nos programas SolidWorks e Ansys.

2. METODOLOGIA

O presente trabalho tem como finalidade a análise de um sistema para a implantação no veículo do tipo fórmula, projetado em conjunto com os demais membros da equipe vórtex racing para a competição anual Formula SAE. Com isso, foi necessário tomar como base as dimensões do veículo e do percurso descrito pelo regulamento, sendo possível dar início a todo o projeto que será desenvolvido ao longo deste trabalho.

Por fim, desenvolve-se o modelo CAD do sistema projetado a fim de utilizá-lo em software de simulação para análises comparativas, garantindo dessa forma um sistema que funcione de forma eficiente e segura, dando total controle direcional do carro ao piloto que o irá conduzir. No qual seu projeto também será usado como referência para sistemas de direção usados em carros que serão futuramente projetados. Buscou-se fazer o estudo nos seguintes tópicos: simulações preliminares, análise de ruptura, montagem do Sistema e acoplagem ao carro.

3.RESULTADOS E DISCUSSÕES

Para assegurar confiabilidade ao projeto, foram realizadas algumas análises e modelagens computacionais a respeito do projeto, para que seja possível realizar uma análise comparativa de resultados previamente calculados, assim como produzir o modelo CAD do sistema em projeto para observação mais clara do sistema projetado.

3.1 Simulações Preliminares

Para o estudo comparativo foi inicialmente feita a análise estática do pinhão, sendo possível observar nas Figuras 3.1 e 3.2 que a um torque aproximado de 11,41 N.m, a tensão máxima agindo sobre o pinhão é de, aproximadamente, 63 MPa, que é abaixo da sua “vida infinita” e apresenta deformações mínimas em seus dentes. Em seguida, ao se fazer análises de fadiga a força tangencial de 422.571 N (maior que considerada por “vida infinita”) o próprio programa acusou ausência de falha mesmo após a realização de 10^9 ciclos, provando a engrenagem do pinhão não sofrerá fadiga em nenhum momento de seu trabalho. É possível observar na Figura 3.3 a ausência de danos.

Figura 3.1: Tensões sobre o pinhão
(Fonte: Autor, 2019)

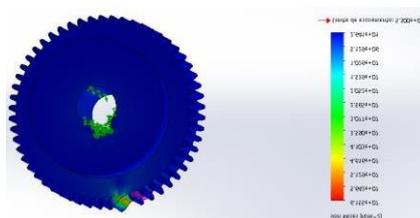


Figura 3.2: Simulação e fadiga
(Fonte: Autor, 2019)

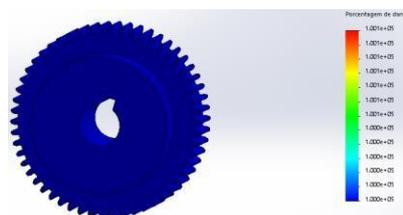
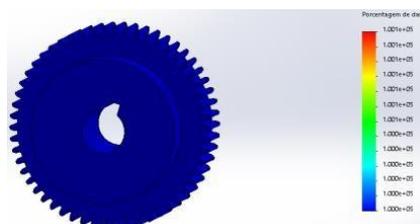


Figura 3.3: Simulação e fadiga
(Fonte: Autor, 2019)



Posteriormente, fez-se as mesmas análises na cremalheira, levando em conta a mesma força tangencial do pinhão e tendo como área fixa os furos deixados propositalmente para seu encaixe na caixa de direção. Logo, como mostrado nas Figuras 3.4, este componente também não sofrerá nenhuma espécie de falhas, por não sofrer deformações significativas, ou tensões acentuadas e ainda manter a mesma integridade do material após simulação feita com 10^9 ciclos, como pode

ser visto na figura 3.5:

Figura 3.4: Tensões cremalheira
(Fonte: Autor, 2019)

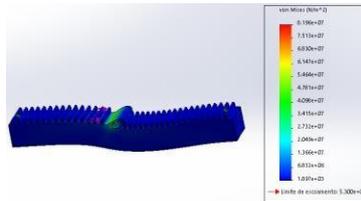


Figura 3.5: Fadiga na cremalheira
(Fonte: Autor, 2019)



Garantindo a integridade dos materiais de transmissão de potência, é necessário saber se os demais elementos também funcionarão sem apresentar problemas. Assim, após semelhantes simulações feitas, é possível confirmar que o sistema como um todo suportará os esforços mecânicos sem a apresentação e fratura, fadiga ou deformações acentuadas, mesmo após simulações que levaram em conta 10^6 ciclos, como é ilustrado nas Figuras 3.6 e 3.14.

Figura 3.6: Tensões atuantes na chaveta
(Fonte: Autor, 2019)

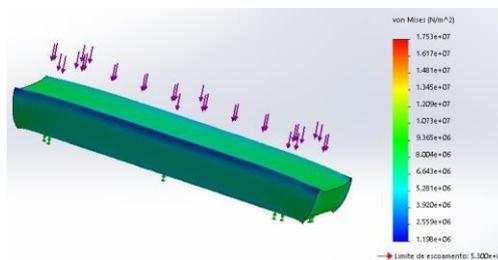
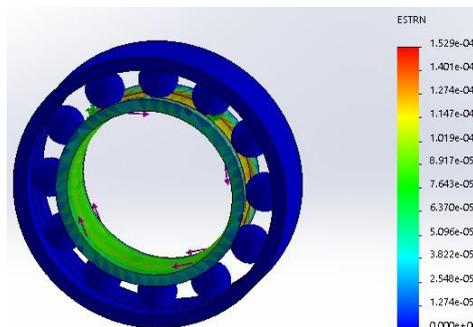


Figura 3.7: Deformações rolamento
(Fonte: Autor, 2019)



3.2 Análise de ruptura

Garantindo a integridade dos componentes em situação de trabalho, é necessário saber os esforços máximo que cada componente suporta. Para isto, foram feitas simulações a partir o Software *Ansys* aplicando-se cargas maiores e aumentando de forma progressiva para tenha-se um parâmetro de quais seriam as forças e/ou tensões aplicadas que cada material suporta. Observando as Figuras 3.8 a 3.9, é possível perceber em quais forças ocorrerão as primeiras trincas e quais causarão completa ruptura.

Figura 3.8: Propagação da primeira trinca no pinhão (a1200N)
(Fonte: Autor, 2019)

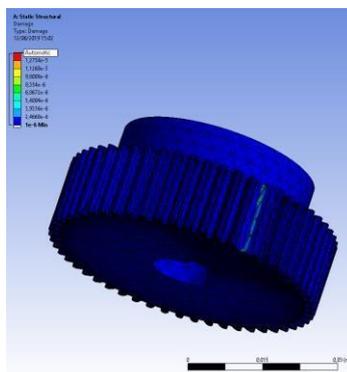


Figura 3.9: Completa ruptura do pinhão (a 3000N)
(Fonte: Autor, 2019)

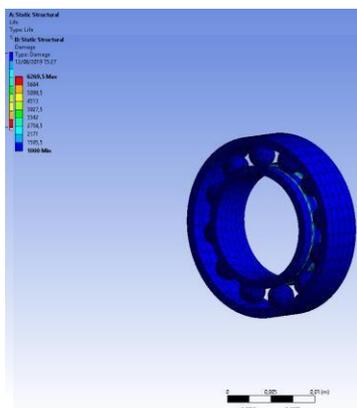


Figura 3.10: Primeira ruptura no rolamento no rolamento (a 30 N.m)
(Fonte: Autor, 2019)

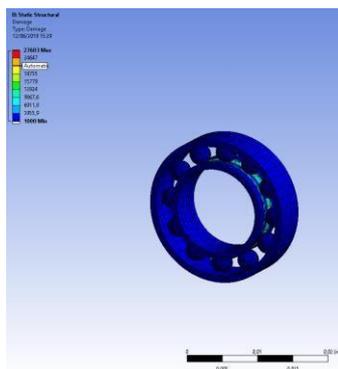


Figura 3.11: Propagação da primeira trinca no rolamento (a 45 N.m)
(Fonte: Autor, 2019)

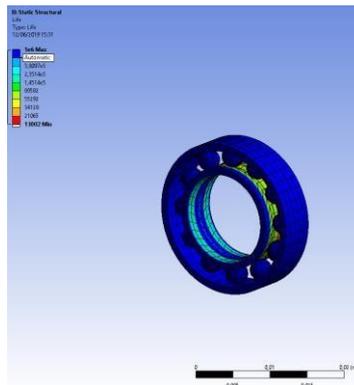


Figura 3.12: propagação de trinca na cremalheira (800N)
(Fonte: Autor, 2019)

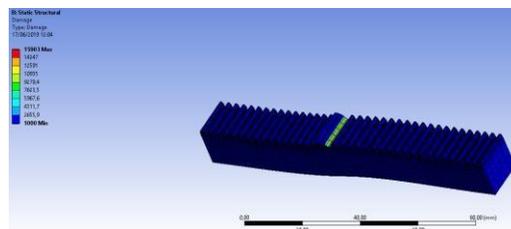
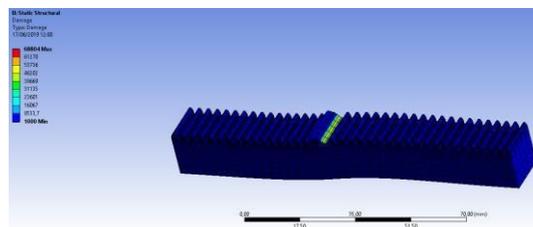


Figura 3.13: Ruptura completa da cremalheira (1200N)
(Fonte: Autor, 2019)



Para melhor visualização dos testes, foram apurados gráficos devida a fadiga nos componentes que mais sofrem com tensões (opinhão e a cremalheira), indicando o número de ciclos suportados à carga de total ruptura. Provando que mesmo em casos extremos os componentes ainda suportariam uma quantidade relativamente alta até em caso de alguma falha ocorrer. Como é possível ver nas Figuras 3.14 e 3.15, tanto o pinhão quanto a cremalheira seriam capazes de suportar cargas de 4000N, ou mais, quando aplicadas cargas que anteriormente foram indicadas para completa ruptura. O que indica resistência suficiente em situações competitivas, sem causar nenhum dano ou prejuízo ao piloto envolvido.

Figura 3.14: Vida à fadiga do pinhão
(Fonte: Autor 2019)

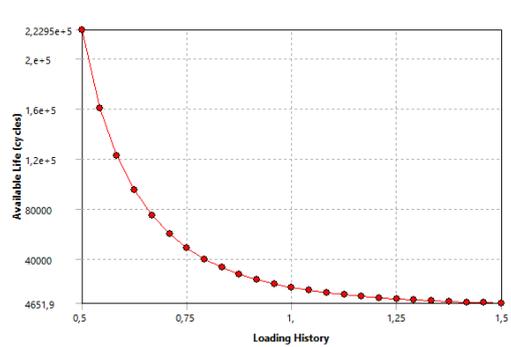
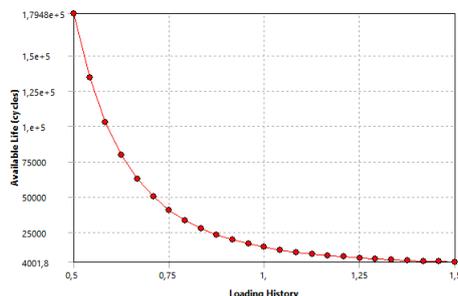


Figura 3.15: Vida a fadiga na cremalheira
(Fonte: Autor, 2019)



3.3 Montagem do Sistema

Garantida a integridade de cada componente do sistema de direção em projeto, é possível fazer sua montagem individual de modo a compor a modelagem da caixa de direção isolada. Para posteriormente fazer a acoplagem ao carro seguindo os parâmetros previamente definidos de acordo com as orientações recomendadas pelo (Nicolazzi, 2012), garantindo o bom funcionamento do sistema.

Para dar início foi simulada a acoplagem dos principais componentes na forma vista na Figura 3.16, tomando o cuidado para que as orelhas fiquem exatamente em cima dos tubos do chassi, para melhor absorção de impactos, de forma que este seja minimamente transmitido aos braços da direção. Sendo possível fazer o modelo da caixa de direção representada em sua forma fechada (ou seja, como será apresentada no carro) na Figura 3.17.

Figura 3.16: Caixa de direção isolada
(Fonte: Autor, 2019)

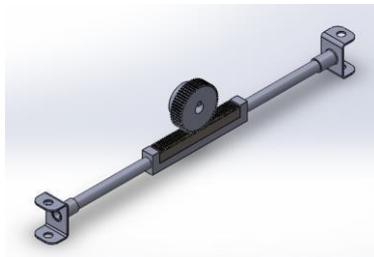
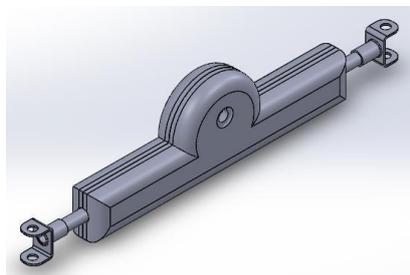


Figura 3.17: Sistema de direção fechado
(Fonte: Autor, 2019)

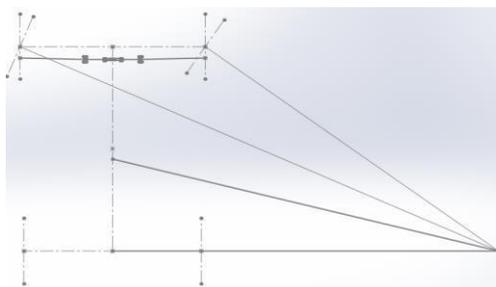


3.4 Acoplagem ao carro

Montada a caixa, é possível fazer sua acoplagem ao veículo, dando a primeira noção de como funcionará em situação de trabalho. Logo, utilizou-se alguns parâmetros anteriormente definidos, para melhor adaptar o veículo a situações de curva.

Desta forma, como é possível ver no esboço da Figura 3.18, é possível observar o ângulo máximo de esterçamento das rodas, assim como está sendo representado o raio mínimo de curvatura. Com isso, para evitar conflitos com outros sistemas do veículo e alcançando também o menor esforço mecânico possível no eixo, foi posicionada a caixa a uma distância de 100 mm atrás da região entre bitolas. Assim, foi possível ter uma noção do tamanho necessário para cada braço, de forma que o carro siga a geometria representada. Observando melhor é possível analisar também o local onde ficará cada orelha da manga de eixo onde os tubos irão ser acoplados junto com as orelhas da caixa de direção.

Figura 3.18: Esboço e posicionamento da caixa de direção
(Fonte: Autor, 2019)



Tendo isto definido, observa-se com mais clareza na Figura 3.19 a forma como o sistema completo será acoplado ao veículo com a manga de eixo posicionada. A partir de então é possível ter uma ideia sobre como o sistema será acoplado ao veículo, sendo também possível ter uma ideia sobre como irá interagir com o piloto, como pode ser mais bem observado da figura 3.20.

Figura 3.19: sistema de direção com a manga de eixo
(Fonte: Autor, 2019)

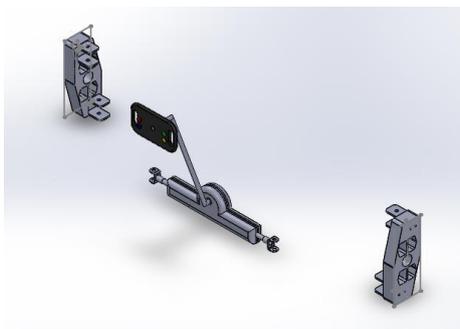
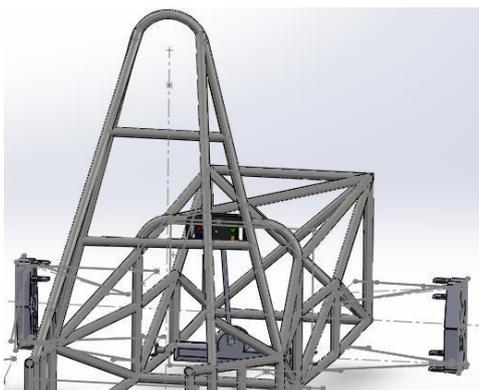


Figura 3.20: sistema de direção em perspectiva do piloto
(Fonte: Autor, 2019)



4. CONCLUSÃO

De acordo com os conhecimentos voltados tanto à dinâmica veicular quanto à resistência dos materiais, foi possível projetar um sistema de direção feito sob medida para o veículo VTX-01, para sua futura aplicação no evento Formula SAE 2019, na qual promete cumprir com sua função de forma segura e estável, mantendo o veículo inscrito em curva.

Para isto, lançou-se a mão formulações, parâmetros e recomendações contidas nos livros usados como referências para o presente trabalho. Sendo possível conferir tanto as exigências deste sistema como garantir que seus equipamentos suportarão todos os esforços mecânicos a que serão submetidos. Simulando também de forma clara o quanto cada componente suportaria até sua completa falha. Usando ferramentas tanto para modelagem em desenho como o *SoliWorks* quanto para simulação e esforços tanto estáticos quanto cíclicos como o *Ansys*.

Logo, chegou-se a montagem do veículo, mostrando de forma clara como será usado e como este funcionará dentro da própria Formula. Para ao final mostrar o quão seguro e eficiente o sistema é, deixando claro que este desempenhará seu papel de forma segura e precisa, respondendo aos comando do piloto de forma esperada, permitindo total controle direcional do carro.

5. BIBLIOGRAFIA

- Gillespie, T. D. (Thomas D.), Fundamentals of Vehicle Dynamics, Warrendale, PA :Society of Automotive Engineers, c1992
- Juinall, Robert C. Fundamentos do projeto de componentes de máquinas/ Kart M.Marshek; tradução e revisão técnica Fernando Ribeiro da Silva.-Rio de Janeiro : LTC, 2013.
- Nicolazzi, L.C., Rosa, E. da, Leal, L.C.M. Introdução à modelagem quase-estática de automóveis. Brasil: Publicação interna do GRANTE - Depto de Engenharia Mecânica da UFSC. 2012.
- Seward, Derek Race Car Lancaster University: Palgrave, 2014.
- Shigley, Joseph E. Projeto de engenharia mecânica / Joseph E., Shigley, Charles R.Mischke, Richard G. Budynas 8. ed. - Porto Alegre: Bookman, 2011.
- ATI Brasil, Componentes para transmissão. Catálogos ATI Brasil 2016. Disponível em <<https://www.atibrasil.com.br/content/9-catalogo-ati-brasil>> Acesso em 02/07/2019 SKF, Rolamentos e esfera. Produtos SKF 2015. Disponível em <https://www.skf.com/binary/82-121486/0901d19680416a2b-10000_2-PT-BR---Rolling-bearings.pdf> Acesso em 02/07/2019

6. RESPONSABILIDADE PELAS INFORMAÇÕES

Os autores Lucas Santos De Oliveira, Rafael Lemos Diniz, Lucas Cunha da Silva, José Ribamar Ribeiro Silva Júnior, Israel Conceição Rocha e Ronny Sousa Silva são os únicos responsáveis pelas informações incluídas neste trabalho.