

PROJETO DE UMA JUNTA UNIVERSAL DE TRANSMISSÃO PARA VEÍCULO BAJA

Albeni Gurgel Ferreira Júnior¹, Zoroastro Torres Vilar²

Resumo: Uma junta universal ou junta cardan é um mecanismo de acoplamento que tem por finalidade transferir movimento rotativo entre eixos sem modificar o sentido de rotação, que requerem uma saída da unidade inclinada a partir de uma fonte de acionamento horizontalmente orientada. Cada junta é constituída por duas flanges em forma de U, uma para cada uma das extremidades das duas metades do eixo. Para montar as duas metades do eixo, os dois garfos são orientados a 90 graus um ao outro e ligados por uma cruzeta. Estes são fixados através de anel elástico. A junta universal é amplamente utilizada na indústria. Como em caixas de velocidades de redutores em esteiras mecânicas, transmissão de veículos de passeios, caminhões, barcos e etc. Com isso, nesse presente trabalho será desenvolvido o projeto de uma junta de transmissão utilizada em um veículo de protótipo Baja, a fim de transmitir movimento entre a caixa de redução e os semieixos onde são acopladas as rodas.

Palavras-chave: junta universal. Transmissão. Baja.

1. INTRODUÇÃO

Na indústria mecânica em geral muitas máquinas e mecanismos possuem eixos rotativos que necessitam uma mudança de direção de seu movimento sem que aja interferência no seu sentido de rotação. Para isso, uma junta de transmissão universal, junta de cardan ou junta cardã (em inglês: universal joint, U joint, Cardan joint, Hardy-Spicer joint ou Hooke's joint) se torna um elemento essencial para uma junção de acoplamento entre eixos com diferentes direções, conseguindo assim transferir o torque e a rotação necessária.

Basicamente consiste em um par de dobradiças ou garfos (flanges) articuladas entre si, mas que através de um eixo comum (num ângulo de 90° entre si) a ambas ortogonalmente posicionado modifica a direção desse movimento, onde os garfos são interligados por uma cruzeta em forma de cruz, sendo assim capaz de haver variação de inclinação durante o trabalho do eixo.

Um garfo automotivo tem uma face plana usinada que pode ser fixada através de uma conexão parafusada ao diferencial traseiro de um veículo. Um outro garfo é acoplado na extremidade do eixo de transmissão e soldado no lugar. A cruzeta é usada para fornecer rotação de um garfo para outro usando quatro rolamentos de pinos de agulha. [1] Este arranjo permite que o eixo primário ou árvore possa rotacionar o eixo de saída sem atrito indevido, portanto quase todos equipamentos, máquinas, veículos possuem e necessitam de juntas de transmissão para que consiga haver a transmissão de movimento de forma eficiente e robusta.

2. DESENVOLVIMENTO

2.1. Projeto Baja SAE

O Programa Baja SAE foi criado na Universidade da Carolina do Sul, Estados Unidos, sob a direção do Dr. John F. Stevens, tendo sua primeira edição em 1976. O ano de 1991 marcou o início das atividades da SAE BRASIL, que, em 1994, lançava o Programa Baja SAE BRASIL. No ano seguinte, em 1995, seria realizada a primeira competição nacional, na pista Guido Caloi, bairro do Ibirapuera, cidade de São Paulo. Desde 1997 a SAE BRASIL também apoia a realização de eventos regionais do Baja SAE BRASIL, através de suas Seções Regionais. Desde então, dezenas de eventos foram realizados em vários estados do país. [5]

O Programa Baja SAE é um desafio estudantil com o objetivo de promover aos participantes uma experiência de aplicar na prática seus conhecimentos adquiridos em sala de aula, sob a forma de um processo integrado de desenvolvimento, garantindo excelência no âmbito internacional. A sua preparação para o mercado de trabalho e uma vivência real no desenvolvimento de um projeto são os seus principais aspectos. No Brasil, o projeto recebe o nome de Programa Baja SAE BRASIL. [5]

Os alunos que participam do Programa Baja SAE devem formar equipes que representarão a Instituição de Ensino Superior à qual possuem um vínculo acadêmico. Estas equipes são desafiadas anualmente a participarem e promove uma avaliação comparativa dos projetos. No Brasil a competição nacional recebe o nome de Competição Baja SAE BRASIL. Competições regionais são nomeadas como Etapa Sul, Sudeste e Nordeste. [5]

Para participar da Competição Baja SAE BRASIL, cada equipe deve projetar e construir um veículo

monoposto, fora-de-estrada, esportivo, cuja estrutura contenha o condutor. O veículo deve ser um protótipo para produção em série, confiável, de fácil manutenção, ergonômico e econômico que atende ao mercado consumidor, com produção anual estimada pela equipe. Como referência, pode ser utilizado o valor de 4000 unidades por ano. O mesmo deve buscar desempenho líder de mercado em termos de velocidade, manobrabilidade, conforto e robustez em terreno acidentado e condições fora-de-estrada. O desempenho será avaliado pelo sucesso nas provas das competições. [5]

Os alunos devem trabalhar em equipe em todas as fases do projeto (projeto, construção, testes, promoção e operação), desenvolvendo um veículo que respeite as regras apresentadas no Regulamento Administrativo e Técnico Baja SAE BRASIL - RATBSB. [5]

Cabe aos alunos viabilizar o suporte financeiro para a realização do projeto, onde tudo deve ser realizado sempre respeitando as prioridades acadêmicas e os regulamentos internos da Instituição de Ensino representada. [5]

Dentro do programa, o projeto Cactus Baja SAE está inserido no curso de Engenharia Mecânica da Universidade Federal Rural do Semi-Árido – UFERSA desde o ano 2011, de lá pra cá participa de competições regionais, nacionais e até mesmo internacionais. Em fase de projeto e fabricação, divide-se a prototipagem em subsistemas: suspensão e direção, freios, acabamento, eletrônica, transmissão e chassi. A transmissão é composta pelo motor Briggs Stratton de 10 HP, redutor primário do tipo CVT (Continuously Variable Transmission), redutor secundário caixa de engrenagens, eixos, acoplamentos e juntas universais, onde estas últimas serão o foco do trabalho, a fim de projetar e selecionar o melhor modelo que concilie o custo benefício. A Figura 01 mostra o protótipo da equipe de 2019, o CB19.



Figura 1: Protótipo Cactus Baja 2019 CB19. (Autoria própria)

2.2. Histórico das juntas universais e suas aplicabilidades

Evidências históricas indicam que os gregos inventaram a junta universal aproximadamente 300 a.C. O nome Cardan foi derivado do matemático italiano Geronimo Cardano, do século XVI, que utilizava um mecanismo semelhante para suspender a bússola horizontal de um navio, independentemente do movimento dos navios. [2]

Durante o século XVII, Robert Hooke fez a primeira aplicação de uma junta universal a um eixo rotativo em um mecanismo de relógio. O desenvolvimento do automóvel acelerou o refinamento das juntas universais. Outros usos incluem: marinho; estrada de ferro; aeronave; agricultura; e aplicações industriais. [1]

Comparadas às aplicações automotivas de baixo ângulo e baixo torque, as aplicações industriais, como as laminadoras, exigem altos torques e ângulos de operação relativamente baixos para juntas universais. Historicamente, o tipo mais comum de eixo usado para acionar rolos de laminadores eram acoplamentos oscilantes (Figura 02) e deslizantes (Figura 03). Os oscilantes são de ferro fundido e não possuem retentores, havendo assim vazamento de lubrificante. Com isso, o contato de metal-metal produz altos desgastes e níveis de ruído. Já o acoplamento deslizante tem as mesmas características de uma junta universal e normalmente são feitos de bronze e, mais recentemente, de materiais não metálicos. Seu desgaste se dá através do deslizamento repetitivo das interfaces de metal-metal, sendo necessário lubrificação contínua. [2]

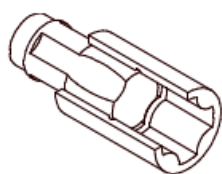


Figura 02: Junta oscilante. (02)

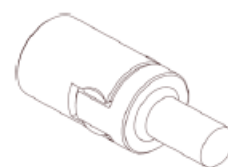


Figura 03: Junta deslizante. (02)

As juntas universais sempre foram reconhecidas por sua vantagem inerente às grandes capacidades de desalinhamento acima de 15° em comparação com um máximo de aproximadamente 6° para antigos mecanismos de transmissão de torque mais antigos, como do tipo engrenagem. Nos últimos anos, pesquisas e melhorias no projeto e fabricação contribuíram para aumentos substanciais na capacidade de torque das juntas universais [2]. As vantagens das juntas universais incluem:

- Características operacionais consistentes;
- Baixas folgas;
- Boa manutenção;
- Baixo custo operacional.

Esse tipo de mecanismo é amplamente utilizado em todo tipo de máquina, pois são muitas as aplicações mecânicas que requerem um eixo de saída inclinado a partir de um eixo primário. Isso representa um problema quando os eixos de transmissão rígidos são utilizados, um problema mais comumente resolvido quando se utiliza uma junta universal. A junta universal é amplamente utilizada em aplicações industriais, marítimas e aplicações automotivas, e podem mesmo ser encontradas em conjuntos de ferramentas como um soquete. Utilizada com o punho da catraca de um soquete, estas peças permitem que as ferramentas possam ser utilizadas em espaços apertados onde as entradas de torque necessitam serem desviadas. Na Figura 04 é mostrado uma aplicação bem comum, numa transmissão veicular, fazendo a ligação entre a caixa de marcha (eixo primário) e o diferencial traseiro que será distribuído do mesmo para as rodas, onde há necessidade de sua utilização, pois existe diferença de altura no acoplamento entre a caixa de marcha e o diferencial.



Figura 04: Transmissão veicular. (03)

2.3. Mecanismo da junta universal

Como já mencionado, a junta Cardan é composta pelas três partes principais, incluindo o eixo de acionamento de entrada, o eixo de acionamento de saída e a cruzeta. Dois pontos da peça transversal se conectam ao eixo de acionamento de entrada e outros dois pontos ao eixo de acionamento de saída. As conexões são fornecidas pelos rolamentos de agulha (Figura 05).

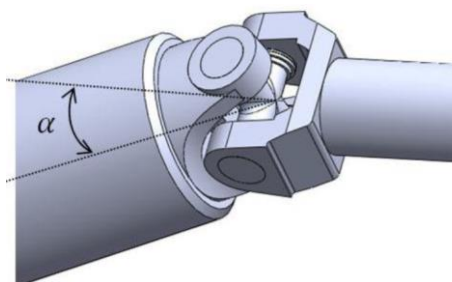


Figura 05: Mecanismo junta Cardan.(03)

É um aspecto importante desses rolamentos que, enquanto em ação, eles nunca passam por ciclos completos. Em outras palavras, cada um desses rolamentos gira apenas alguns graus em torno de seu eixo antes de retornar à sua posição original. Portanto, há apenas um grupo de esferas nesses rolamentos que suportam a carga do rolamento. Por outro lado, mesmo que a velocidade angular do eixo primário seja constante, a velocidade angular do eixo de saída oscila. O tamanho dessa oscilação depende da quantidade do desvio angular do eixo de acionamento de saída [3]. Nos gráficos da Figura 06 as linhas tracejadas indicam a velocidade angular do eixo de

acionamento de entrada e as linhas normais indicam a velocidade angular do eixo de acionamento de saída.

Esses acoplamentos são amplamente utilizados nos sistemas de transmissão de energia para automóveis. No entanto, eles são propensos a desgaste e mau funcionamento e precisam ser substituídos em intervalos comparativamente curtos de tempo. Naturalmente, isso significa que essas peças têm vida útil limitada. [3]

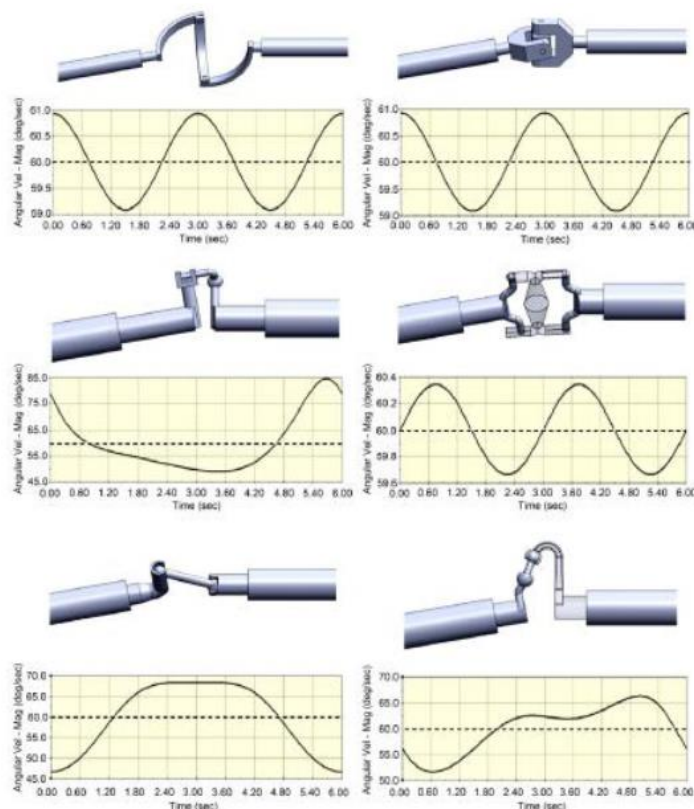


Figura 06: Exemplos de juntas universais e das curvas características correspondentes. (03)

Bayrakceken et al realizaram a análise de fratura de um garfo de junta universal e um eixo de acionamento de um sistema de transmissão para automóveis. Eles concluíram que a propagação de trincas resultou de pontos de tensão e falhas de fadiga são as principais razões por trás das falhas das juntas universais. Eles também concluíram que algumas modificações no projeto da junta podem ser consideradas, a fim de evitar tais falhas. A leve concentração de tensão também acelera a falha [3].

O sistema de transmissão dos veículos consiste em vários componentes que frequentemente encontram falhas infelizes. Heyes estudou os tipos de falhas comuns em automóveis. Ele revelou que as falhas no sistema de transmissão cobrem um quarto de todas as falhas nos automóveis. Alguns motivos comuns para essas falhas são as deficiências de fabricação e design. A má manutenção, o material defeituoso e o manuseio incorreto dos usuários também são os fatores que contribuem [3].

Com isso, tanto o design quanto a fabricação das juntas são de suma importância para se evitar a falha. Para isso tolerâncias de fabricação devem ser bem dimensionadas e obedecidas e as mesmas devem possuir um diâmetro mínimo que forneça robustez, para determinado ângulo de trabalho.

Há necessidade de avançar o desenvolvimento de mecanismos de transmissão de energia, a fim de reduzir os níveis de vibrações indesejáveis nas máquinas através de método para isolamento de vibração de eixo, combinando as restrições geométricas e as equações dinâmicas que governam.

Além disso, uma boa qualidade do material tanto das esferas da cruzeta quanto dos garfos superfícies dos rolamentos pode evitar a propagação da fadiga e melhorar a resistência à fratura do material.

2.4. O método dos elementos finitos

Análises de tensões e deflexão utilizando técnicas clássicas de solução analítica requer um elemento de máquina de geometria simples, como prismas retangulares, cilindro, etc. Porém, muitos componentes de têm formas geométricas mais complexas, tornando o cálculo de tensões e deflexão difícil ou mesmo impossíveis de ser feito pelo método analítico [6]. Exemplo disso, são os garfos das juntas de transmissão, para isso, analisar as tensões e a deflexão em uma peça com tal complexidade, pode-se dividir o seu volume em um conjunto finito de elementos contíguos e discretos e resolver um conjunto (grande) de equações, cada uma das quais aplicadas sobre um elemento e seus nós, que conectam os elementos entre si [6]. A Figura 07 mostra os modelos para elementos finitos de um conjunto de junta de transmissão.

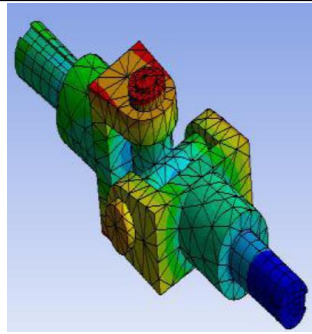


Figura 07: FEA de uma junta. (03)

O conceito da análise pelo método dos elementos finitos (FEA) é muito simples, mas os cálculos que o acompanham não são. O FEA tornou-se relativamente fácil de usar, devido à disponibilidade de softwares comerciais de análise, muitos dos quais têm interface com diversos softwares de modelagem de desenho (CAD). A utilização de softwares comerciais torna muito fácil obter resultados de análises pelo FEA, mas se o usuário não compreender direito como utilizar esta ferramenta de forma adequada, os resultados podem conter erros grosseiros.

2.4.1 Cálculos de tensão e deformação

As tensões variam através do contínuo de qualquer componente. Dividindo esse componente em um número finito de elementos discretos conectados pelos seus nós (chamados de malha), pode-se obter uma aproximação das tensões e deformações, em qualquer parte do componente, para um dado conjunto de condições de contorno e de cargas aplicadas em alguns nós da estrutura. A aproximação pode ser melhorada pelo uso de mais elementos de tamanho menor, ao custo do aumento do tempo de processamento. Com as atuais velocidades de processamento o problema será menor do que nos primeiros dias de uso do FEA [6].

O maior trabalho do pesquisador é saber o tipo apropriado, o número e a distribuição de elementos para otimizar o dilema entre precisão e o tempo de processamento. Os elementos de maior tamanho podem ser usados em regiões da peça onde o gradiente (inclinação) de tensão varia suavemente. Nas regiões onde o gradiente de tensão muda rapidamente, próximo a concentrações de tensão ou cargas aplicadas, por exemplo, uma malha mais fina (refinada) é necessária.

2.4.2 Malha

A maioria dos geradores de malha oferece, por padrão, quadriláteros lineares ou malha mista de quadriláteros e triângulos para as regiões onde a geometria da peça tenha uma maior complexidade. Alguns geradores de malha oferecem apenas malhas 3-D com elementos tetraédricos. Esses elementos lineares, não são a melhor recomendação para o cálculo das tensões, porém elementos de maior ordem são aceitáveis [6].

Uma malha com elementos grosseiros (maiores) é desejada quando se quer minimizar o tempo de processamento. Nas regiões da peça onde o gradiente de tensão é pequeno, mesmo uma malha grosseira fornece bons resultados, mas nas regiões onde o gradiente de tensão é alto, como em locais com concentrações de tensão, uma malha mais refinada com elementos h-adaptativos (ou malha com a mesma densidade, porém com elementos p-adaptativos de ordem superior) é necessária para capturar a variação da tensão [6], como na Figura 08. Dessa forma, pode ser necessário variar a densidade da malha no modelo, processo chamado de refino da malha.

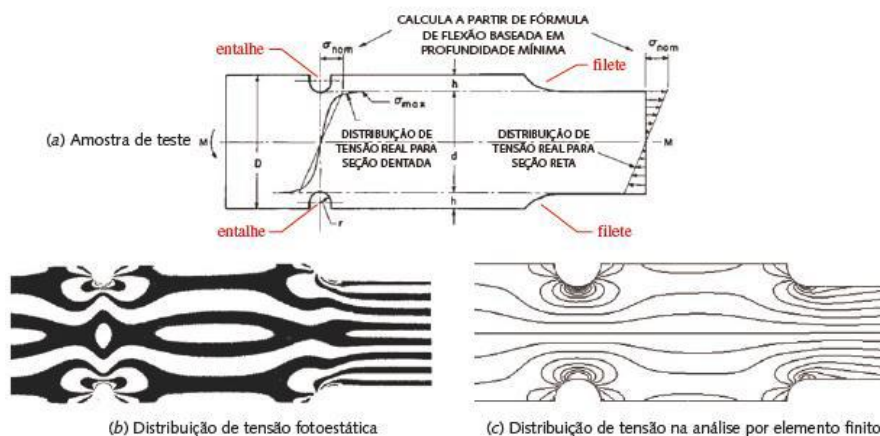


Figura 08: Concentrações de tensões de uma barra. (06)

Para verificar a qualidade do refino de malha faz-se o teste de convergência, que consiste em analisar uma malha a partir de certo tamanho, onde calcula-se as tensões. Nas regiões onde as tensões são maiores, aplica-se um fator de redução e gera-se uma nova malha, mais refinada, calculando-se novamente as tensões. Os valores de tensão nessas regiões são comparados para as diferentes densidades de malhas [6]. Se ocorrer uma diferença significativa entre uma solução e outra, isso indica que a malha anterior é ainda muito grosseira e deve ser refinada. Eventualmente, a mudança nos valores calculados para a tensão em malhas sucessivamente mais refinadas se tornará menor, indicando que a solução converge para o valor real.

2.4.3 Condições de contorno

A definição de condições de contorno (CC), que representam realisticamente as restrições em um componente, não é uma tarefa trivial e pode fazer a diferença entre uma solução razoável ou ridícula para o problema [6]. Restrições externas são aplicadas aos nós do modelo. No mínimo, restrições em número suficiente devem ser aplicadas para remover qualquer grau de liberdade cinemático e manter a peça em equilíbrio estático. Além disso, as conexões físicas de um componente com relação ao seu vizinho, como em uma montagem, devem ser modeladas as mais próximas possíveis. As CC não devem restringir nem permitir deformações que na verdade não ocorreriam. Uma restrição física não apresentará rigidez infinita, mas quando se especifica que um nó não pode se mover em um modelo FEA, ele está realmente fixo e se torna infinitamente rígido.

2.5 Contextualização da problemática

Um veículo qualquer é formado por subsistemas que se interligam, onde cada projeto ou empresa divide-se de uma forma diferente tais subsistemas. No projeto Cactus Baja a divisão é da seguinte forma: suspensão e direção, freios, transmissão, eletrônica, chassis e acabamento. Esses seis grupos formam o protótipo CB19. Primeiramente são definidas as premissas de projeto do veículo como um todo e cada um estipula ou determina como irá ser desenvolvida sua área.

Sabendo disso, o subsistema de transmissão tem ligação direta com a suspensão traseira, já que a tração é no eixo traseiro. Com isso, o trabalho realizado pela suspensão deve ser considerado no dimensionamento dos componentes de transmissão e vice-versa. Na Figura 09 é mostrado uma vista traseira do carro.

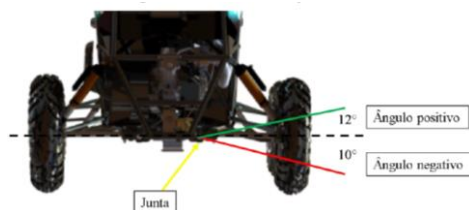


Figura 09: Vista traseira Baja. (Autoria própria)

Na Figura 09 pode-se observar os ângulos positivo e negativo de trabalho da suspensão traseira, determinados a fim de otimizar a dinâmica veicular. Portanto, deve-se dimensionar, modelar e validar todos componentes considerados vitais para o bom funcionamento do protótipo, como por exemplo as juntas de transmissão, onde a mesma será selecionada ou projetada para garantir os cursos máximos e mínimos de suspensão e suportar as cargas nelas impostas.

No protótipo CB19 decidiu-se selecionar uma junta do mercado, para baratear os custos de prototipagem, com isso, após uma pesquisa realizada em catálogos e no mercado local, optou-se por utilizar um conjunto da marca Aemco com código CC1517, suas dimensões básicas são mostradas na Figura 10.

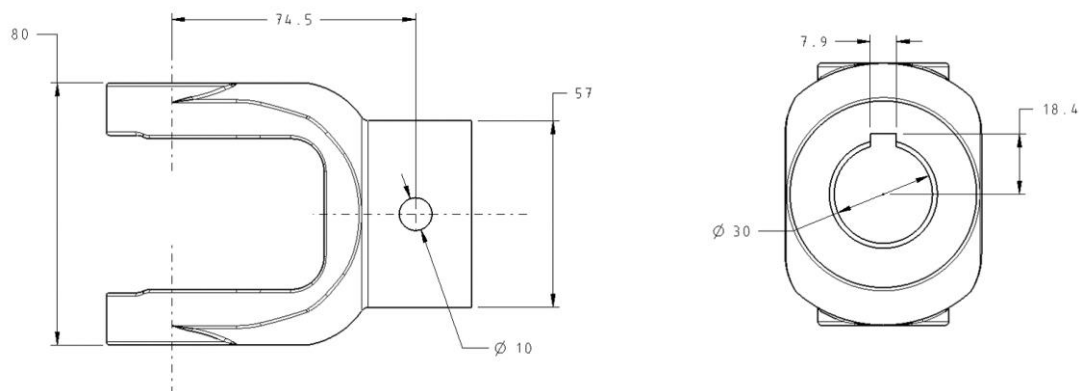


Figura 10: Desenho 2D garfo da junta de transmissão atual. (Autoria própria)

Por ser fabricada em ferro fundido e com dimensões robustas, fez-se necessário o time do subsistema de transmissão avaliar o desempenho da mesma, pois o conjunto tem uma massa bastante significativa, um par chegando a ter 2600 g (formado por dois garfos e uma cruzeta), onde para esse tipo de veículo toda e qualquer redução de massa é muito importante, principalmente por se tratar de componentes que rotacionam, já que na competição quem tiver melhor performance vencerá as provas.

Para obter melhores resultados, viu-se que poderia modelar e simular novos garfos para as juntas, com uma geometria mais otimizada e com material menos denso, como o alumínio. Porém, mantendo as distâncias determinadas pelo subsistema de suspensão, como distância entre furos de fixação vista no desenho 2D da Figura 10. Visto que através da análise FEA a modelagem CAD atendeu os requisitos mínimos de projeto, como o escoamento, faz-se necessário realizar testes que validem o conjunto. Com isso, através dos softwares Solidworks será feito a modelagem CAD 3D e o Ansys a análise FEA de acordo com as condições de contorno. Depois disso, faz-se um comparativo entre as massas da junta atual e a proposta.

2.6 Metodologia

2.6.1. Determinação de condições de contorno

Para se realizar qualquer simulação FEA é necessário que se tenha os dados de entrada, mais conhecidos como as condições de contorno, que são as restrições de trabalho real dos componentes e os esforços impostos neles.

Analicamente e através de testes em protótipos anteriores determinam-se a intensidade de carregamento exercido no componente. Para o caso do atual trabalho verificou-se que a condição mais crítica para as juntas de transmissão seria com o contra-torque gerado no momento de impacto pneu-solo durante um salto do Baja com o motor em máxima rotação, ou seja, esse torque seria maior que o máximo nominal do motor, Figura 11.



Figura 11: Realização de teste para obtenção do carregamento. (Autoria própria)

Com isso, realizou-se um teste no protótipo anterior para verificar qual seria essa intensidade de torque, extensômetro com um arranjo de roseta localizado no semieixo e um leitor de dados Keysight 34972A. A calibração foi realizada utilizando um torquímetro para obter a razão entre a resistência dos extensômetros e o torque aplicado, Figura 12.

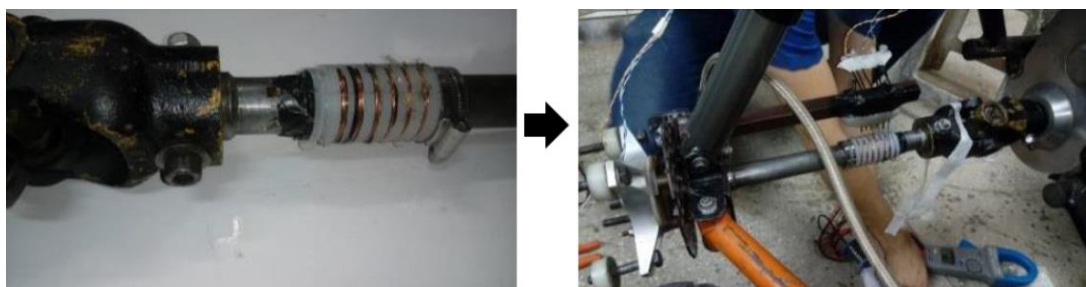


Figura 12: Instrumentação para medir torque no eixo em teste. (Autoria própria)

Ergueu-se a traseira do veículo a uma altura de 1 m (altura comum de queda das rampas) e com motor numa rotação máxima de 4000 RPM simulou o impacto gerado no contato do pneu com o solo, Figura 11. O Gráfico 01 mostra os dados obtidos através do teste, observa-se um pico de impacto de aproximadamente 680 Nm.

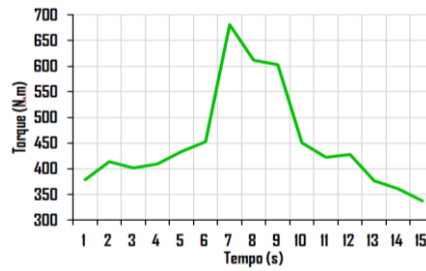


Gráfico 01: Resultados de torque obtidos em teste. (Autoria própria)

Na Figura 13 é detalhado onde serão posicionadas as condições de contorno. O ponto A se refere a fixação do local da chaveta e o ponto B a aplicação do contra-torque do Gráfico 01.

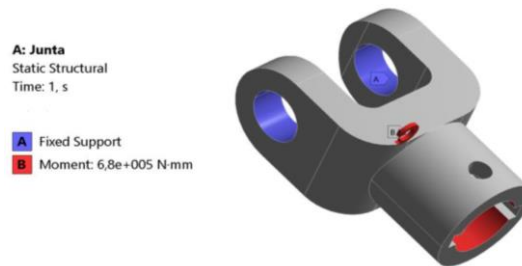


Figura 13: Locais de restrições fixas. (Autoria própria)

2.6.2 Modelagem 3D da geometria da junta de transmissão

Afim de manter as cotas bases do projeto detalhadas na Figura 10, realizou-se modelagem CAD 3D com auxílio do software Solidworks. Com isso manteve-se a distância de 74,5 mm entre o centro do furo M10 e centro de fixação da cruzeta. Além disso, os diâmetros interno da junta de 30 mm e do furo M10. Para maior alívio de massa, selecionou-se no mercado uma cruzeta com menores dimensões, alcançando uma redução de 250 g, a Figura 14 mostra o comparativo entre a cruzeta atual (a) e a proposta (b). Portanto tais dimensões foram consideradas na modelagem.

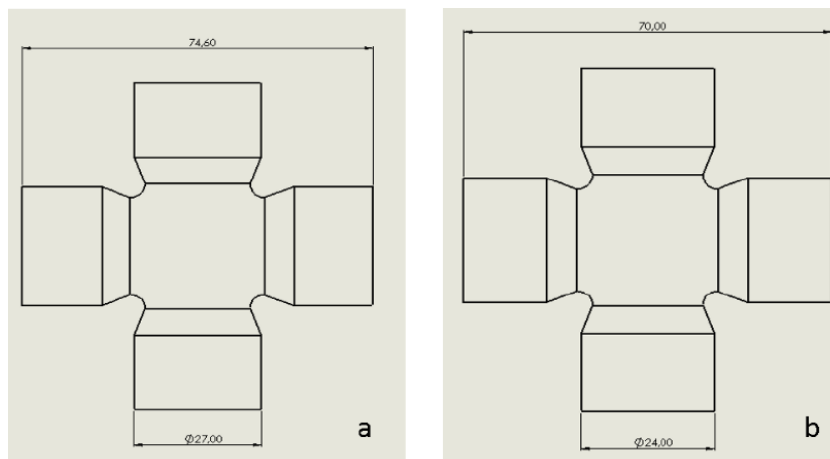


Figura 14: Desenho comparativo entre a cruzeta atual e a proposta. (Autoria própria)

Após definições de cotas bases a modelagem foi desenvolvida e atribui-se o material alumínio 7075-T6, por ser disponível no mercado e possuir boas propriedades mecânicas em comparação com os outros mantendo a leveza, como mostra a Tabela 01.

Tabela 01: Propriedades mecânicas alumínio 7076-T6. (Autoria própria)

Propriedades Mecânicas e físicas	Valor
Limite de escoamento	450 – 500 MPa
Limite de resistência à tração	480 – 550 MPa
Dureza	150 – 180 HB
Densidade	2,75 g/cm ³
Módulo de elasticidade	71 GPa

O modelo final mostrado na Figura 15 resultou numa massa de 372 g, mensurada através do software. Alcançando uma redução de 40,48 % com relação a atual. A mesma possui um rasgo de chave para maior distribuição de tensão por ser feita de alumínio e menos robusta. Seu desenho da Figura 16 traz mais detalhes de suas dimensões.

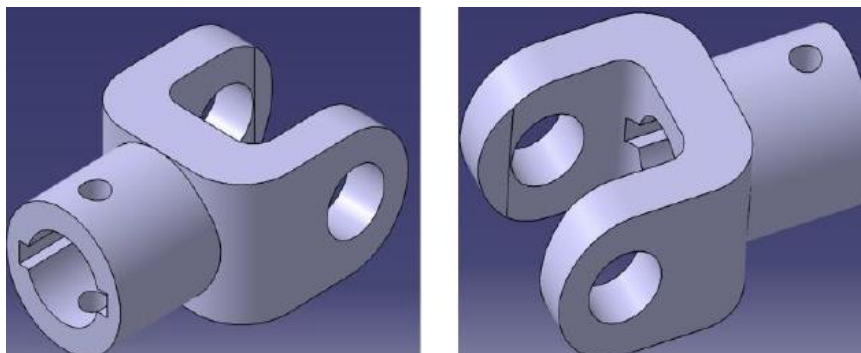


Figura 15: Modelo CAD 3D final. (Autoria própria)

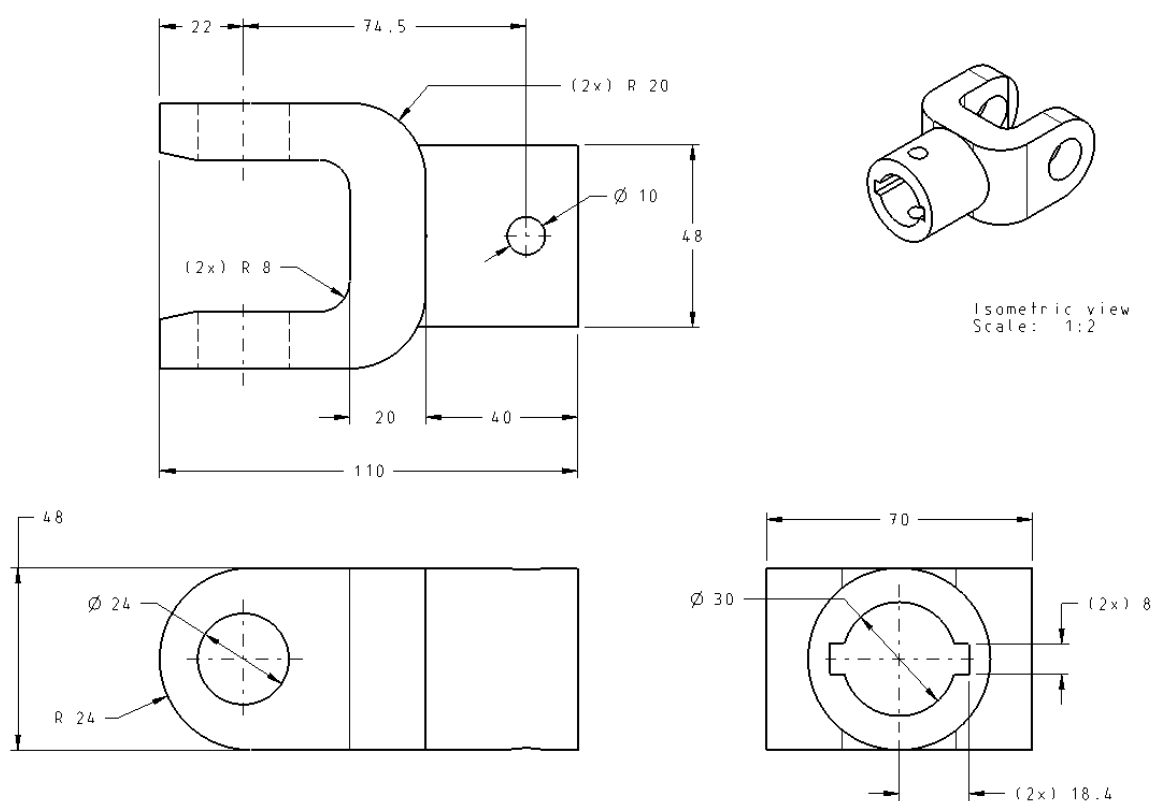


Figura 16: Desenho do modelo CAD final. (Autoria própria)

2.6.3 Simulação CAE para carregamentos da junta

Após a modelagem final realizou-se a simulação com auxílio do Ansys seguindo as condições de contorno mostradas na Figura 13. Na Figura 17 observa-se a distribuição de tensão, obtendo uma tensão máxima de 123,15 MPa nos pontos de fixação. São detalhados também os resultados de deformação, alcançando uma deformação máxima de 0,053 mm.

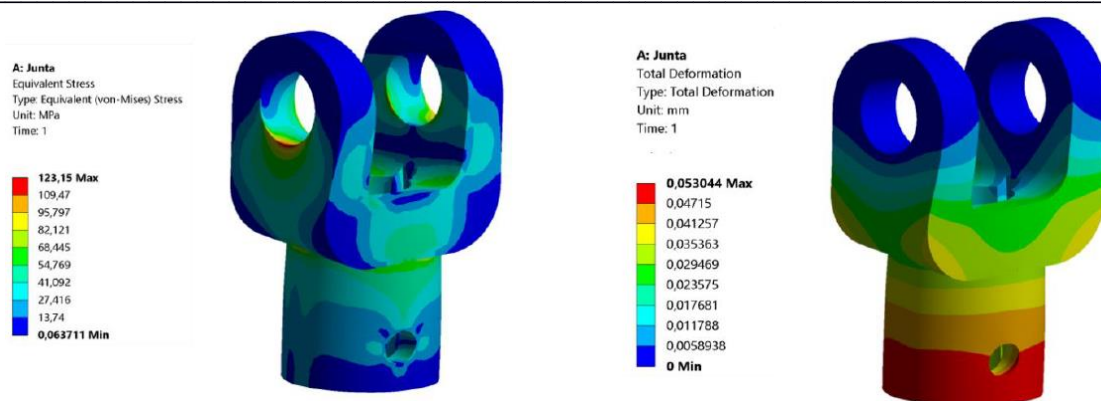


Figura 17: Resultado da distribuição de tensão e deformação. (Autoria própria)

3. CONCLUSÕES

Após as modelagens CAD e análises CAE um par do novo conjunto proposto (dois garfos e uma cruzeta) possui uma massa de 994 g, conseguindo atingir uma redução de 61,77% com relação ao modelo atual. Além disso o mesmo obteve um fator de segurança de projeto ao escoamento de 3,86, dado pela razão entre a tensão de escoamento média da Tabela 01 e a tensão máxima obtida na simulação, satisfazendo assim os requisitos de projeto.

Tabela 02: Resultados comparativos entre os modelos. (Autoria própria)

Modelo	Material	Massa do conjunto (g)
Atual	Ferro Fundido	2600
Proposto	Alumínio 7075-T6	994

Em suma, ao longo deste trabalho observou-se a importância e aplicação do mecanismo junta universal nas máquinas em geral, tornando-se elemento essencial para o funcionamento de diversos componentes, assim como o carro. Com isso, o foco se deu para um projeto automotivo aplicado ao projeto de extensão Cactus Baja.

Analisou-se e definiu-se como consiste a formação do conjunto completo, composto por garfos (flanges) articuladas entre si, interligados por uma cruzeta em forma de cruz, mecanismo no qual permite que o eixo árvore possa rotacionar o eixo de saída com diferentes direções. Portanto quase todos equipamentos, máquinas, veículos possuem e necessitam de juntas de transmissão para que consiga haver a transmissão de movimento de forma eficiente e robusta.

Para o projeto da problemática descrita, os resultados foram bastante satisfatórios, onde atingiu-se uma redução total de massa de 61,77 % e um fator de segurança de 3,86. Tal redução é bastante expressiva por se tratar de um veículo de categoria competitiva, onde as provas durante as competições Baja SAE são decididas em detalhes, principalmente por se tratar de elemento que rotaciona, diminuindo assim a inércia do sistema de transmissão do carro. Para trabalho futuros, recomenda-se realizar uma pesquisa de mercado a fim de avaliar os custos de matéria prima e fabricação e fazer um comparativo, além disso fazer testes com as duas propostas e verificar o desempenho no que diz respeito a dinâmica longitudinal. Portanto as premissas determinadas anteriormente foram alcançadas.

4. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] G. RAMESH. Design and analysis of universal coupling in power transmission. Jafferguda, 2016.
- [2] PALUH, James H. Design and Selection of Universal Joints for Rolling Mills. Michigan, 2014.
- [3] VESALI, Farzad. Dynamics of universal joints, its failures and some propositions for practically improving its performance and life expectancy. Tehran, 2012.
- [4] GOVERNATORI, Dario. The inertial torque of the Hooke joint. Roma, 2011.
- [5] REGULAMENTO ADMINISTRATIVO E TÉCNICO BAJA SAE BRASIL – RATBSB. 2019.
- [6] NORTON, Robert L. Projeto de Maquinas: Uma abordagem integrada. 4ed. Porto Alegre: Bookman, 2011.