



Maicon Rafael Winter

SISTEMA DE TRANSMISSÃO 4X4 PARA UM VEÍCULO OFF ROAD BAJA SAE

Horizontina-RS

2022

Maicon Rafael Winter

SISTEMA DE TRANSMISSÃO 4X4 PARA UM VEÍCULO OFF ROAD BAJA SAE

Trabalho Final de Curso apresentado como requisito parcial para o Trabalho Final de Curso na Engenharia de Mecânica da Faculdade Horizontina, sob a orientação do Prof. Me. Luis Carlos Wachholz

Horizontina-RS

2022

FAHOR - FACULDADE HORIZONTALINA
CURSO DE ENGENHARIA MECÂNICA

A Comissão Examinadora, abaixo assinada, aprova o trabalho final de
curso

“Sistema de transmissão 4X4 para um veículo Off Road Baja SAE”

Elaborada por:
Maicon Rafael Winter

Como requisito parcial para a obtenção do grau de Bacharel em
Engenharia Mecânica

Aprovado em: 06/12/2022
Pela Comissão Examinadora




Me. Luis Carlos Wachholz

Presidente da Comissão Examinadora - Orientador



Prof. Eliane Garlet

FAHOR – Faculdade Horizontina



Prof. Tiago Sinigaglia

FAHOR – Faculdade Horizontina

Horizontina - RS

2022

RESUMO

O trabalho tem por objetivo o desenvolvimento de um projeto para a adaptação de uma transmissão de tração 4x4 em um veículo *off-road* do tipo baja, no qual originalmente possui tração em apenas duas rodas, havendo possibilidade de integrar itens comercialmente comuns de encontrar, tornando um sistema simples e de fácil implementação. O estudo considera o protótipo da equipe Baja Sinuelo SAE - FAHOR como base para a adaptação da transmissão, essa deve atender uma série de critérios pré-estabelecidos pela equipe referente. Para a realização do projeto foi utilizado um fluxograma, o qual inclui desde a parte da escolha do tipo de transmissão, até o modelamento CAD (*Computer Aided Design*) do conjunto projetado. Ao final deste, é apresentado um sistema de transmissão simples e confiável, onde dentro de 110 itens contemplados no novo sistema, 88 deles são itens comercialmente vendidos. Sendo assim, o sistema desenvolvido adapta-se sem grandes alterações no projeto atual da equipe, favorecendo a implementação da nova transmissão.

Palavras-chave: Baja. SAE. Tração. Sistema de transmissão 4X4.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Veículo 4x2	15
Figura 2 – Veículo 4x4	16
Figura 3 – Eixo cardã	16
Figura 4 – Diferencial	17
Figura 5 – Junta universal	18
Figura 6 – Sistema dianteiro de propulsão de um veículo atual	18
Figura 7 – Veículo ATV	20
Figura 8 – Engrenagens cilíndricas cônicas de dentes helicoidais (a) e retos (b)	21
Figura 9 – Engrenagem cilíndrica de dentes retos	22
Figura 10 – Eixos	22
Figura 11 – Rolamento	23
Figura 12 – Chavetas	24
Figura 13 – Etapas da metodologia	27
Figura 14 – Perspectiva proposta 1	31
Figura 15 – Perspectiva proposta 2	31
Figura 16 – Perspectiva traseira por embreagem da proposta 3.1	32
Figura 17 – Perspectiva traseira por garfo seletor da proposta 3.2	33
Figura 18 – Diferencial dianteiro ATV Honda Fourtrax TR 420 FM 2011	35
Figura 19 – Mecanismo de desacoplamento/acoplamento	36
Figura 20 – Peso e motor do veículo Honda Fourtrax TR 420 FM 2011	37
Figura 21 – Relação do diferencial da Honda Fourtrax TR 420 FM 2011	37
Figura 22 – Relações da transmissão da equipe Sinuelo 2022	38
Figura 23 – Gráfico torque x rotação do motor Briggs & Stratton Intek Pro® 10 hp	39
Figura 24 – Comparativos entre relações de transmissão	41
Figura 25 – Classificação prova de tração Nacional 2022	41
Figura 26 – Engrenagens cônicas de dentes retos	42
Figura 27 – Nova tampa da caixa de redução	43
Figura 28 – Eixos para engrenagens cônicas	43
Figura 29 – Rolamentos, chavetas, pinos elásticos e anel elástico	44
Figura 30 – Montagem da caixa de transmissão	44
Figura 31 – Entrada e saída do movimento na caixa de transmissão	45
Figura 32 – Sistema de acoplamento do cardã	45

Figura 33 – Junta universal	46
Figura 34 – Eixo cardan e adaptador do diferencial	47
Figura 35 – Sistema de mancal do eixo cardã	47
Figura 36 – Montagem do cardã	48
Figura 37 – Modelo CAD do diferencial e seus suportes	48
Figura 38 – Semi eixos linha VW Gol 2017	49
Figura 39 – Adaptador de semi-eixo desenvolvido X já utilizado	50
Figura 40 – Cubo de roda dianteiro X traseiro.....	50
Figura 41 – Vista em corte conjunto cubo de roda dianteiro	51
Figura 42 – Sistema de transmissão em montagem isolada do chassis	51
Figura 43 – Sistema de transmissão em montagem completa.....	52
Figura 44 – Itens comprados (verdes) X itens manufaturados (vermelhos)	52

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	8
1.1	TEMA	9
1.2	DELIMITAÇÃO DO TEMA	9
1.3	PROBLEMA DE PESQUISA	9
1.4	HIPÓTESES	10
1.5	OBJETIVOS	10
1.5.1	Objetivo geral	10
1.5.2	Objetivos específicos	10
1.6	JUSTIFICATIVA	10
2	REFERENCIAL TEÓRICO	13
2.1	PROJETO BAJA SAE	13
2.2	TRANSMISSÃO	13
2.2.1	Opções de tração	14
2.2.2	Sistema de transmissão AWD (<i>All Wheel Drive</i>)	15
2.2.3	Sistema de transmissão 4X4	15
2.2.4	Eixo Cardã	16
2.2.5	Diferencial	17
2.2.6	Junta Universal	17
2.2.7	Semi Eixo	18
2.2.8	Relação	19
2.2.9	Torque	19
2.3	MATRIZ DE DECISÃO	19
2.4	VEÍCULOS ATV	20
2.5	ELEMENTOS DE MÁQUINAS	20
2.5.1	Engrenagens Cônicas	21
2.5.2	Engrenagens Cilíndricas	21
2.5.3	Eixos	22
2.5.4	Rolamentos	23
2.5.5	Chavetas	23
2.6	PROJETO CAD - (<i>COMPUTER AIDED DESIGN</i>)	24
3	METODOLOGIA	25
3.1	CARACTERIZAÇÃO DA PESQUISA	25
3.2	CLASSIFICAÇÃO DA PESQUISA	26
3.3	DEFINIÇÃO DA METODOLOGIA	26
3.3.1	Definição das opções para a nova transmissão	27
3.3.2	Proposta selecionada para o projeto	27
3.3.3	Adequação da relação da nova transmissão	28
3.3.4	Projetar os componentes no <i>software</i>	28
3.3.5	Realização de mudanças no projeto CAD	29
4	APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS	30
4.1	DEFINIÇÃO DE PROPOSTAS PARA O NOVO SISTEMA	30
4.1.1	Proposta 1	30
4.1.2	Proposta 2	31
4.1.3	Proposta 3	32
4.1.4	Proposta 4	33
4.2	DEFINIÇÃO DO DIFERENCIAL	35
4.3	ADEQUAÇÃO DA RELAÇÃO DA TRANSMISSÃO	37
4.4	DESENVOLVIMENTO DO PROJETO CAD	42
4.4.1	Sistema de saída de força para o cardã	42

4.4.2 Sistema de cardã.....	45
4.4.3 Diferencial, sistema de semi-eixos e cubo de roda.....	48
4.4.4 Montagem completa do sistema.....	51
4.5 RELAÇÃO DE ITENS E CUSTO TOTAL.....	52
CONCLUSÃO.....	55
REFERÊNCIAS.....	56

1 INTRODUÇÃO

Pensando em aprimorar o conhecimento nas diversas áreas da engenharia no mundo todo, a SAE (*Society of Automotive Engineers*) criou um projeto chamado Baja SAE. Neste projeto os acadêmicos das diversas áreas de engenharia colocam em prática o conhecimento aprendido em sala de aula. O mesmo teve início nos EUA e iniciou suas atividades aqui no Brasil em 1994. O principal objetivo lançado aos estudantes é de construir um protótipo motorizado para uso *off-road*.

Os projetos devem atender a um grupo de exigências, normativas emitidas e fiscalizadas pela SAE. As regras presentes nas normas definem todos os conjuntos que compõem o protótipo, cuja avaliação é feita pelos próprios engenheiros da SAE como parte da competição. Nas avaliações são verificados os itens do projeto, segurança, freio, tração, velocidade, aceleração e resistência.

Um dos pré-requisitos avaliado é a presença de documentação técnica sobre o projeto completo, incluindo seus subsistemas. Neste sentido, o sistema de *powertrain* se torna um dos sistemas mais importantes do protótipo, pois este é responsável diretamente por fazer a movimentação do veículo, sendo que o motor não pode sofrer alterações, uma vez que sua configuração é padrão, definida pela SAE Brasil.

No Brasil, as equipes podem participar de até 3 competições no mesmo ano, que são elas, as regionais (Sul, Sudeste e Nordeste), nacional, e se a equipe ficar classificada entre as 3 melhores da competição nacional, poderá participar também da competição mundial. No ano de 2022, as equipes que disputaram a competição Baja SAE em âmbito mundial, tiveram oportunidade de rodar com sistema de transmissão 4x4. Essas, disputaram 130 pontos bônus dedicados aos projetos de tração nas 4 rodas, além dos 1000 pontos somados em todas as provas tradicionais. A partir do ano de 2023, as equipes só estarão aptas para competir no mundial se o veículo for equipado com 4x4.

Na competição Baja SAE Nacional no Brasil, essa nova modalidade passa a ser opcional a partir do ano 2023, na qual as equipes que estiverem equipadas com sistema de transmissão 4x4 poderão disputar os 130 pontos extras. Isso terá um grande impacto no somatório das pontuações totais quando comparado com as equipes que competirão com sistema de transmissão 4x2.

O projeto Baja Sinuelo, desenvolvido na FAHOR – Faculdade de Horizontina - RS, participou de competições em nível regional e nacional. A partir dessa experiência e dos resultados anteriores, é possível elencar algumas limitações do atual projeto de transmissão, o que fomenta novas propostas de melhoria. Neste âmbito, pretende-se apresentar uma proposta de um novo modo de transmissão 4x4 para o referido protótipo.

1.1 TEMA

Definição de um sistema de transmissão 4x4 para um em veículo Baja SAE.

1.2 DELIMITAÇÃO DO TEMA

Dimensionamento e modelagem dos componentes que constituem o sistema de transmissão 4x4 do projeto BAJA. Entretanto, o dimensionamento dos componentes já utilizados na equipe, como por exemplo, caixa de redução da transmissão, chassis, suspensão, direção, freio e análise ergonômica, não serão dimensionados neste trabalho, ficará a cargo da equipe adequar esses sistemas para que tudo funcione em conjunto dentro das limitações do 4x4.

Caso necessário, a equipe poderá realizar alterações no projeto da transmissão 4x4, para adequar os demais sistemas citados anteriormente. Estudos mais aprofundados em cima de cada componente individual desenvolvido, poderá ser realizado futuramente pela equipe, quando julgado necessário, ou se apresentar algum desgaste prematuro nos testes de validação.

1.3 PROBLEMA DE PESQUISA

Com a necessidade de melhorar a tração do protótipo na transposição de obstáculos e provas, também de preparar o mesmo para estar apto a participar da competição de âmbito mundial e enquadrado na disputa dos 130 pontos extras da competição nacional no Brasil, além de um possível atendimento futuro de regulamento obrigatório, será projetado então, um sistema de tração nas quatro rodas. Diante do exposto, tem-se a seguinte problemática que o estudo buscará responder: É possível um sistema de 4x4 que se adapte na transmissão utilizada atualmente pelo veículo Baja SAE da equipe Sinuelo?

1.4 HIPÓTESES

Para a primeira implementação do sistema 4x4 da equipe, é esperado o desenvolvimento de um sistema com a menor complexidade possível, com opção de desacoplamento/acoplamento que propõem os maiores benefícios para atingir os melhores resultados nas competições.

Espera-se que o dimensionamento e a modelagem do sistema de transmissão, realizado a partir da base de projeto de transmissão que a equipe possui atualmente, garantirá que o sistema irá funcionar de maneira eficaz e segura, além de evitar grandes complexidades para o primeiro sistema de 4x4 que será implementado em um protótipo da equipe.

1.5 OBJETIVOS

1.5.1 Objetivo geral

Proposta de um sistema de transmissão 4x4 para um veículo *off road* baja SAE

1.5.2 Objetivos específicos

- Definir o melhor conceito de transmissão 4x4 para a equipe;
- Definir um conjunto de diferencial seguro e de fácil aquisição;
- Dimensionar as relações da transmissão para que as 4 rodas tenham a mesma rotação;
- Adaptar a transmissão 4x4 com o mínimo de alterações possíveis no projeto atual da equipe;
- Modelar os componentes da transmissão para a equipe seguir com a prototipagem do sistema;
- Disponibilizar o levantamento de custos para a implementação do projeto.

1.6 JUSTIFICATIVA

Segundo a CDSBSR *Revision B (Collegiate Design Series Baja SAE Rules)*, que regulamenta as competições internacionais, será obrigatório que as equipes façam o uso de um sistema de tração 4x4 *Four wheel drive/ All-Wheel Drive (AWD/4WD)* a partir do ano de 2023.

Na competição Nacional do Brasil, a primeira exposição de veículos com transmissão 4x4 será no ano de 2023, no qual o informativo 02, postado no dia 03 de agosto de 2022, informa que as equipes poderão participar de forma opcional com o novo sistema de transmissão.

As equipes que optarem em rodar com o sistema de 4x4, terão 130 pontos bônus para disputar dentro da competição, esses são distribuídos da seguinte forma:

- 100 pontos atribuídos à conclusão de provas de inspeção de segurança e em verificações de funcionalidade durante os eventos dinâmicos;
- 20 pontos na apresentação de projeto;
- 10 pontos no relatório de projeto.

Os 130 pontos bônus farão uma grande diferença na classificação final da competição entre equipes com 4x4 e equipes com 4x2. Na última competição nacional, 130 pontos foram responsáveis por separar as primeiras 7 posições na classificação final. O quadro 1 apresenta a classificação das 7 primeiras equipes da competição nacional de 2022.

Quadro 1 – Classificação das primeiras 7 equipes na competição nacional do ano de 2022

	#	Equipe Escola	Região	Total
	50	FEI BAJA 1 CENTRO UNIVERSITÁRIO FEI	SP	775.41
	25	FEI BAJA 2 CENTRO UNIVERSITÁRIO FEI	SP	771.42
	38	MANGUE BAJA TECNOFERR UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO (UFPE)	PE	766.79
4º	44	EQUIPE POLI DE BAJA ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO	SP	763.87
5º	60	BAJA DE GALPÃO - UNISC UNIVERSIDADE DE SANTA CRUZ DO SUL	RS	756.29
6º	49	VITÓRIA BAJA UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO - UFES	ES	737.39
7º	55	BAJA UFMG UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS	MG	664.7

Fonte: SAE, 2022

Segundo Gaiotto (2000) os veículos com tração 4x4 possuem uma menor probabilidade de perda de tração em terrenos com pouca aderência, como terrenos molhados, arenosos ou barrentos, se comparados com veículos de tração 4x2, dificultando assim que o veículo fique parado.

A equipe Baja Sinuelo - FAHOR, nos protótipos fabricados desde 2006 até os dias atuais, possuem apenas tração nas rodas traseiras *Rear Wheel Drive* (RWD), portanto, não estaria apta a participar da competição internacional e nem de disputar os 130 pontos bônus da competição nacional do ano de 2023.

Pensando em melhorar sua capacidade de tração, em adaptar-se ao regulamento internacional, e a disputar os 130 pontos bônus da competição nacional, este trabalho se justifica no momento em que sua elaboração pode resultar em uma solução de engenharia que atenda de modo satisfatório todas as exigências solicitadas pela SAE em suas competições.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Este capítulo tem por objetivo fazer o embasamento dos assuntos discutidos nesse trabalho, apresentar os conceitos teóricos de acordo com os principais conceitos de transmissão mecânica e também os equacionamentos necessários para o modelamento e o dimensionamento dos componentes desses conceitos de transmissão.

2.1 PROJETO BAJA SAE

De acordo com a SAE BRASIL (2017), o Projeto BAJA SAE foi desenvolvido nos Estados Unidos da América no estado da Carolina do Norte, tendo sua primeira competição em 1976, e no Brasil em 1995.

A competição BAJA SAE consiste em um desafio lançado para os alunos de engenharia, com o intuito de aplicar na prática os aprendizados de sala de aula, bem como desenvolvê-los profissionalmente. Tem como objetivo desenvolver um veículo *Off Road*, projetado, construído e montado pela equipe, na qual é gerenciada como uma mini empresa, onde é possível contar com a ajuda de patrocinadores e colaboradores externos para arrecadação de fundos, utilização de serviços e fornecimento de peças (SAE BRASIL, 2017).

Os alunos devem projetar o veículo para terrenos acidentados e irregulares, onde na competição será testado e avaliado de forma dinâmica e teórica o conforto do veículo, a dirigibilidade (direção), suspensão, *powertrain* (transmissão), freios, *design*, eletrônica e o sistema de gestão da equipe (SAE BRASIL, 2017).

As etapas da competição ocorrem a nível regional (sul, sudeste e nordeste), nacional e mundial. Para a competição estadual e nacional, são abertas para qualquer equipe e a mundial apenas para as três primeiras colocadas de cada país participante. O evento ocorre apenas uma vez por ano, e cada veículo pode apenas ser usado duas vezes por etapa, sendo necessário construir um novo após esta utilização (SAE BRASIL, 2017).

2.2 TRANSMISSÃO

É um conjunto de elementos que garantem que a potência do motor seja transmitida a todos os mecanismos a ele ligados. (RIBAS et al., 2010).

Segundo Sousa (2010) para o funcionamento de uma máquina, é fundamental que os componentes que a compõem trabalhem em sincronia e transmitam a energia para todas as partes necessárias. Desta forma, as transmissões mecânicas transformam energia potencial em energia mecânica, possibilitando transmitir o movimento rotacional de um motor, para qualquer parte de uma máquina.

2.2.1 Opções de tração

A transmissão do torque do motor para as rodas do veículo pode ser separada por três sistemas diferentes, através do número de rodas que recebem este torque, sendo eles 4x2, 4x4 e AWD, que serão apresentados em seguida.

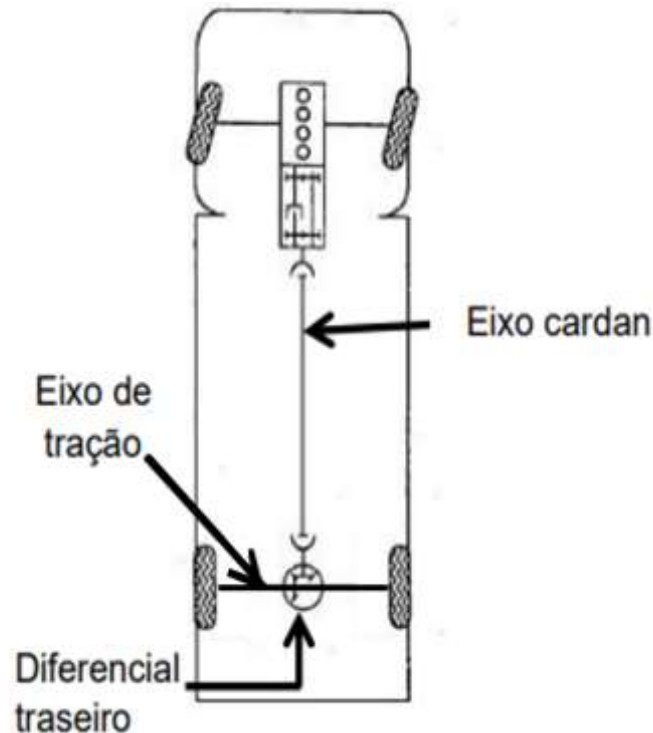
2.2.1.1 Sistema de tração 4x2

O primeiro valor está informando a quantidade de rodas que o veículo é equipado. O segundo dado é referente à quantidade de rodas que possuem tração. Neste caso é um veículo equipado com 4 rodas cuja apenas duas são responsáveis pela tração (CROLLA, 2009).

Um automóvel com este sistema de tração pode ser classificado como de tração dianteira, se caso as rodas que exerçam tração sejam as dianteiras, ou tração traseira se a tração for aplicada apenas nas rodas traseiras (CROLLA, 2009).

Veículos equipados com sistema de transmissão 4x2, como o da Figura 1, são em sua grande maioria de porte leve e uso rodoviário. Seus benefícios são: leveza, tração e simplicidade, no geral suficiente, para que o torque seja transmitido ao solo de forma segura e confiável (LECHNER; HARALD, 1999).

Figura 1 – Veículo 4x2



Fonte: Adaptado de Lechner e Harald, 1999

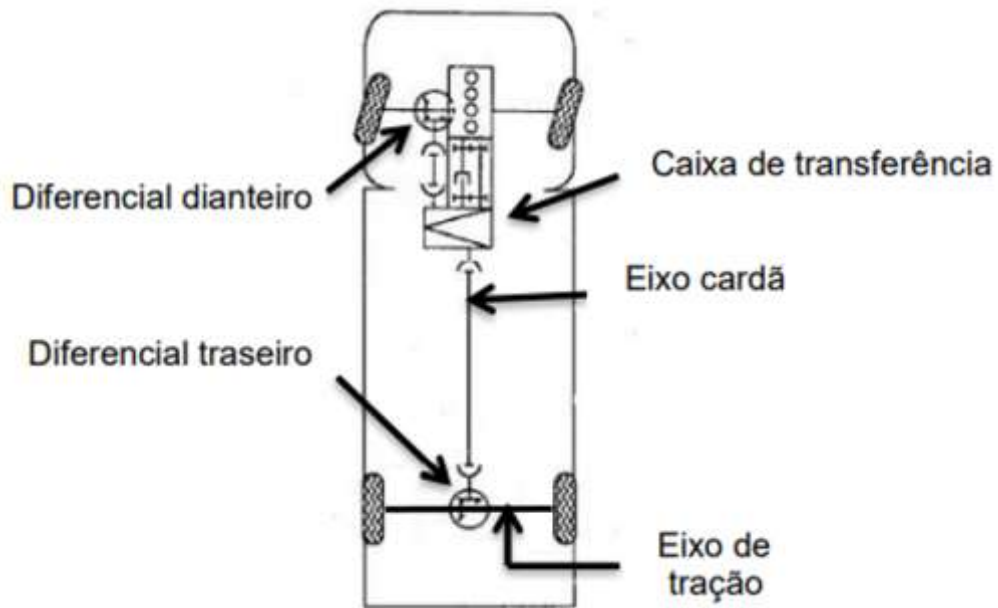
2.2.2 Sistema de transmissão AWD (*All Wheel Drive*)

O sistema de transmissão AWD é conectado em tempo integral em todas as rodas, no caso, não pode ser desacoplado. A proporção de relação do torque a ser entregue entre os eixos traseiro e dianteiro pode alterar de sistema para sistema de acordo com o projeto (CROLLA, 2009).

2.2.3 Sistema de transmissão 4X4

O Sistema de transmissão 4x4 da mesma forma que o AWD, é um sistema de transmissão nas 4 rodas (Figura 2), porém neste caso, onde as 4 rodas recebem o torque do motor de forma síncrona, pode ser utilizado um sistema de desacoplamento, possibilitando assim que o veículo opere apenas com transmissão em 2 rodas, como a transmissão 4x2. Esse sistema é comum ser aplicado em veículos para uso fora de estrada pelo fato de fornecer uma melhor aderência a diversos tipos de solos.

Figura 2 – Veículo 4x4

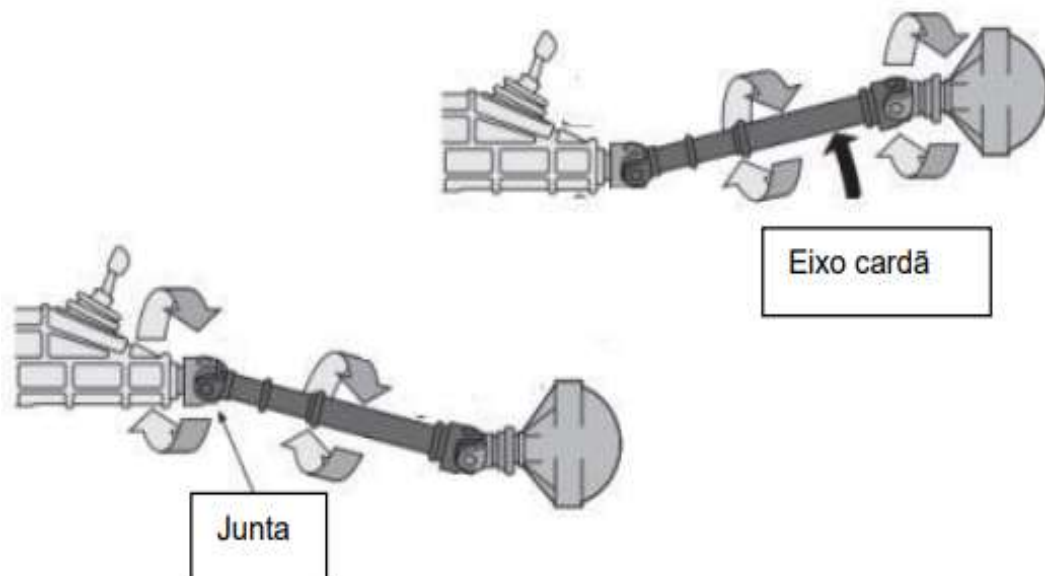


Fonte: Adaptado de Lechner e Harald, 1999

2.2.4 Eixo Cardã

A função do eixo cardã é transmitir o movimento giratório gerado pela energia do motor, para o eixo diferencial (Figura 3). O cardã está muitas vezes em condições de muita oscilação devido os terrenos irregulares que os veículos transpõem, com isso, às cargas e movimentos aos quais este componente é sujeito, torna-se a mais passível falha por fadiga (AFFONSO, 2012).

Figura 3 – Eixo cardã



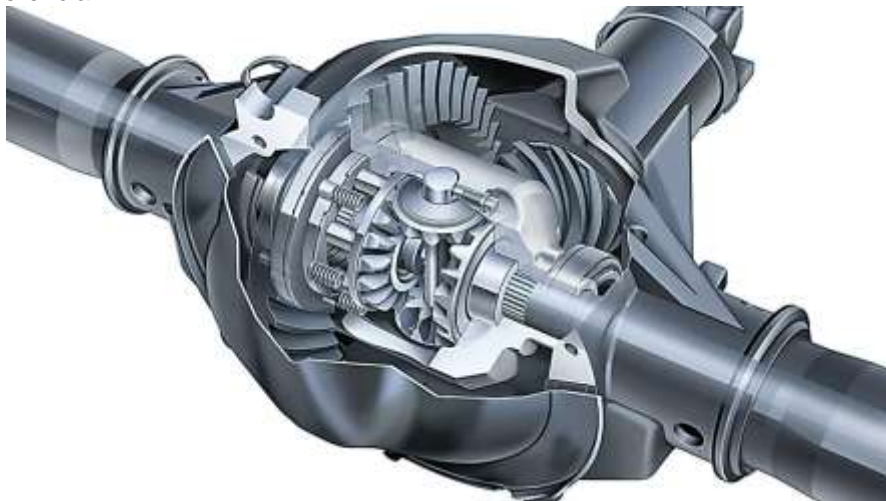
Fonte: Adaptado de Weihermann, 2015

2.2.5 Diferencial

Segundo Nice (2014), na maioria dos veículos ele é o último componente que recebe alteração de torque antes de chegar às rodas (Figura 4). E também possui três funções principais:

- Direcionar a força do motor para as rodas;
- Último sistema de redução da velocidade angular na transmissão do veículo antes de chegar às rodas;
- Permitir que todas as rodas do eixo em que se encontra o diferencial conduza uma potência para o solo em velocidades diferentes. O nome diferencial vem especificamente pela característica exibida neste último ponto.

Figura 4 – Diferencial



Fonte: Razão Automóvel, 2011

2.2.6 Junta Universal

Segundo Sclater (2011), às juntas universais, são um conceito de acoplamento articulado, caracterizadas por trabalhar em condições de desalinhamentos angulares de até 45° entre os eixos (Figura 5). Estes atributos fazem com que esse tipo de mecanismo seja muito utilizado em veículos com tração traseira, tendo a cargo de transmitir a potência do motor para o eixo traseiro do veículo. Nesta aplicação mencionada, os desalinhamentos entre o eixo do motor e a suspensão traseira são uma consequência do projeto do veículo e também do movimento entre a carroceria e o sistema de tração causado pela suspensão do veículo.

Figura 5 – Junta universal

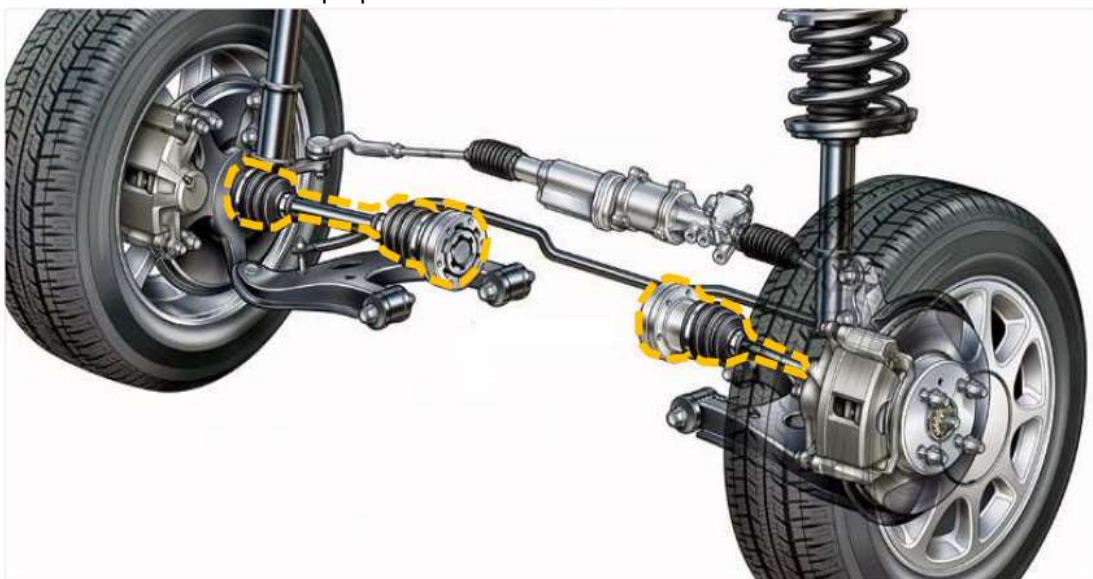


Fonte: Ramesh; Swathi, 2016

2.2.7 Semi Eixo

Este componente tem a função de transferir o torque, fornecido pelo motor do veículo, totalmente para as rodas, mantendo constante a velocidade de rotação e, quando solicitado pela suspensão, é permitido alterações no comprimento e no ângulo de articulação das juntas. Este conceito prevê uma junta fixa que é acoplada ao cubo de roda do veículo e outra junta deslizante que se conecta à caixa de câmbio que é conectada ao motor, conforme a Figura 6. As duas juntas são conectadas por um mesmo eixo, tubular ou maciço (GIACOMAZZI, 2017).

Figura 6 – Sistema dianteiro de propulsão de um veículo atual



Fonte: Giacomazzi, 2017

2.2.8 Relação

Uma das formas mais convencionais de transmitir movimentos de rotações entre um eixo e outro, é utilizando dois cilindros girando em contato, de modo que a força aplicada entre o toque dos cilindros, provoque um torque diretamente no eixo de rotação em relação à distância do ponto de aplicação dessa força. Com isso, a relação pode ser estabelecida entre a diferença de raios dos cilindros. No entanto, a aplicação de cilindros para certos usos pode acabar sendo ineficiente devido a deslizamentos quando a força aplicada supera a força máxima de atrito. Desta forma, são utilizadas rodas dentadas onde a relação não é mais calculada pelo raio e sim pela quantidade de dentes de cada engrenagem conforme a equação 1 (NORTON, 2013):

$$i = \frac{Z_2}{Z_1} = \frac{n_1}{n_2} \quad (1)$$

Onde,

i = Relação da transmissão;

Z = Número de dentes da engrenagem 2 e 1 respectivamente;

n = Rotação do eixo 1 e 2 respectivamente.

2.2.9 Torque

De acordo com Halderman (2012), torque pode ser definido como uma torção ou força de giro que é aplicada sobre o eixo de entrada de uma transmissão. Um motor a combustão, produz torque à medida que aumenta a sua rotação até certo ponto em que a saída de torque começa a diminuir. Um veículo necessita uma grande quantidade de torque para sair do repouso e para transpor terrenos de grande inclinação.

2.3 MATRIZ DE DECISÃO

A Matriz de Decisão é responsável por auxiliar na tomada de decisões em ocasiões nas quais tem se duas ou mais alternativas através da análise de até cinco critérios dentre elas.

Para tomar uma decisão mais assertiva, considerando apenas os critérios de maior relevância para o tema, utilizou-se essa ferramenta (PUGH, 1991).

Roy e Bouyssou (1993) caracterizam que sua utilização abrange quatro problemáticas: descobrir a melhor alternativa, agrupar as alternativas dentro de grupos bem definidos, classificar as alternativas e descrever como cada alternativa atende a todos os critérios simultaneamente.

2.4 VEÍCULOS ATV

O site americano *ATV Safety* faz a definição de um veículo ATV (*all-terrain vehicle*) como um *off road* motorizado que possui 4 rodas, calibradas com baixa pressão, possuindo um assento para o motorista e um guidão para controle de direção (Figura 7). Os quadricúlos tanto podem ser usados por somente uma pessoa, como por duas, dependendo do fabricante (ATV SAFETY, [2022], tradução do autor).

Figura 7 – Veículo ATV



Fonte: ATV Safety, 2022

2.5 ELEMENTOS DE MÁQUINAS

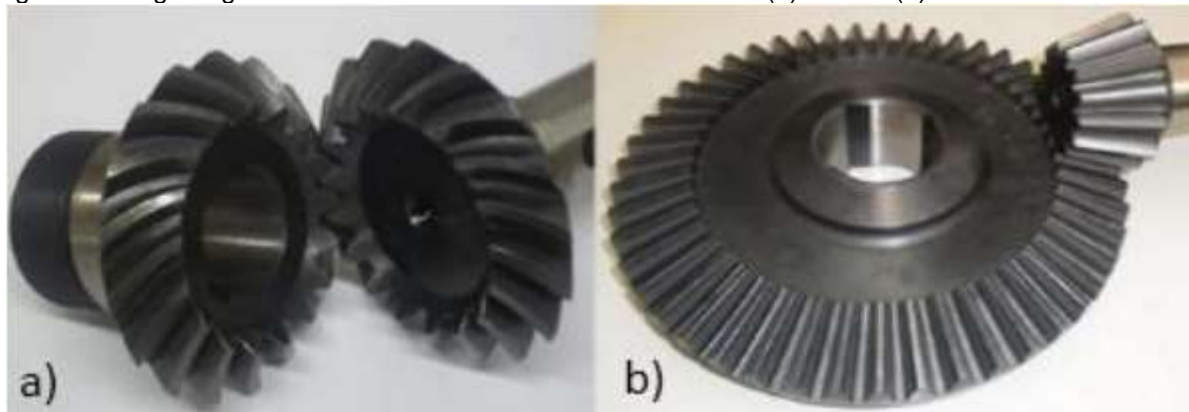
Elementos de máquinas são um conjunto de componentes desenvolvidos para fazer parte de uma máquina ou de um mecanismo. Toda máquina ou

mecanismo é composto por um conjunto definido de elementos que dependendo da complexidade do projeto, podem variar com mais ou menos itens. Esses, são dimensionados e utilizados conforme sua função específica. (MELCONIAN, 2009).

2.5.1 Engrenagens Cônicas

De acordo com Franceschi e Antonello (2014), engrenagens cônicas possuem um formato de cone, são engrenagens que possibilitam transmitir movimentos entre eixos ortogonais. As engrenagens cônicas são categorizadas em dentes helicoidais (a) e retos (b), conforme a Figura 8.

Figura 8 – Engrenagens cilíndricas cônicas de dentes helicoidais (a) e retos (b)



Fonte: Pozelli, 2015

Segundo Antunes e Freire (1998), esse modelo de engrenagem é utilizada em eixos concorrentes entre si, possibilitando realizar a relações de multiplicação de até 6, porém em multiplicações superiores a 1,2, as engrenagens se tornam mais caras do que as engrenagens cilíndricas.

2.5.2 Engrenagens Cilíndricas

Segundo Franceschi e Antonello (2014), engrenagens cilíndricas de dentes retos são engrenagens que possuem dentes paralelos em relação ao eixo da engrenagem, este tipo de engrenagem é utilizada para transmitir potências médias com variações nas rotações.

Conforme Antunes e Freire (1998), são utilizados para realizar a transmissão de apenas um estágio, permitindo chegar a uma relação de transmissão de até 1:8. Quando este modelo de engrenagem for utilizado em dois estágios a sua relação de transmissão pode chegar até 1:45, a engrenagem é demonstrada na Figura 9:

Figura 9 – Engrenagem cilíndrica de dentes retos



Fonte: Pozelli, 2015

2.5.3 Eixos

Eixos são elementos de construção mecânica e objetivam suportar outros elementos como, rodas de atrito, engrenagens, polias, rolamentos e etc. (Figura 10). Os eixos são definidos praticamente em dois grupos, sendo os eixos que trabalham fixos e suportam elementos que giram sobre ele, ou eixos árvore, que trabalham em movimento junto com os elementos que estão fixos sobre ele (MELCONIAN, 2009).

Os eixos de transmissão são usados em praticamente todas as máquinas para levar torque e rotação de um ponto a outro, estes englobam engrenagens, polias ou catracas. Os eixos normalmente são montados em mancais. As cargas nos eixos de transmissão são basicamente duas, sendo uma de torção devido ao torque transmitido e outra de flexão devido às cargas transversais em engrenagens, polias e catracas, estas duas cargas ocorrem normalmente em união, dito que o torque transmitido está associado com as forças nos dentes das engrenagens (NORTON, 2004).

Figura 10 – Eixos



Fonte: Autor, 2022

2.5.4 Rolamentos

Segundo Santos (2007) rolamentos são “Definidos como dispositivos destinados a suportar cargas dinâmicas e transmitir movimento de rotação.” O mesmo autor, ainda relata que o rolamento nas indústrias “Consiste em anéis, externo e interno, esferas ou rolos distribuídos equidistantes (mesma distância) entre os anéis e mantidos separados por um acessório chamado de gaiola.” A Figura 11 apresenta um rolamento de uma coroa de esferas.

Figura 11 – Rolamento



Fonte: SKF, 2022

2.5.5 Chavetas

As chavetas (Figura 12) são elementos propostos a fixar outros elementos como engrenagens, polias ou catracas, estas podem ser encontradas em tamanhos e formatos padronizados (ANTUNES; FREIRE, 1998). Melconian (2009) descreve as chavetas como: chaveta plana DIN6885, chaveta inclinada, chaveta meia lua, chaveta tangencial e chaveta inclinada com cabeça.

As chavetas planas são apropriadas para torque em sentido único, nas chavetas inclinadas o cubo é montado à força e o torque transmissível é maior que nas chavetas planas. Chavetas meia lua ajustam-se por si só, tornando-se mais econômicas, este tipo de chaveta é indicado para máquinas operatrizes, automóveis e transmissões de torque médio. As chavetas tangenciais e inclinadas com cabeça possibilitam aplicação de torque nos dois sentidos.

Figura 12 – Chavetas



Fonte: Abecon, 2021

2.6 PROJETO CAD - (COMPUTER AIDED DESIGN)

Softwares CAD (Computer Aided Design) são muito utilizados para ajudar o desenhista ou projetista no seu trabalho como um programa de desenvolvimento de desenhos 2D e 3D, substituindo os desenhos manuais antigos. Isso possibilita que o profissional possa simular montagens, transmitir informações, processos e materiais, sendo o resultado em forma de arquivos eletrônicos, modelos digitais ou uma impressão que também pode variar entre 2D e 3D

Uma das maiores vantagens do CAD é poder simular montagens e analisar os processos e dados do ponto de vista da qualidade, dito que “Levantamentos constataram que as causas básicas de muitos problemas da qualidade estavam, em cerca de 80% dos casos, no projeto e não na fabricação ou outro fator qualquer.” (MARTINS; LAUGENI, 2002, p. 65).

3 METODOLOGIA

Na metodologia é apresentada a divisão de qual método de pesquisa foi utilizado neste trabalho, bem como os métodos científicos e as etapas de pesquisa que foram seguidas na elaboração, com a finalidade de alcançar os objetivos preestabelecidos.

3.1 CARACTERIZAÇÃO DA PESQUISA

A metodologia pode ser compreendida por um estudo, entendimento e avaliação dos modos disponíveis para a elaboração de uma pesquisa. Definido o nível aplicado, a metodologia irá averiguar, descrever e explorar os métodos e as técnicas de pesquisa que poderão ajudar na coleta e extensão das informações, tendo como objetivo orientar e solucionar os problemas apresentados na pesquisa (SAMPIERI, COLLADO, LUCIO, 2013).

A natureza de um trabalho pode ser rotulado como básica ou aplicada. É definida como básica a pesquisa que traz conhecimentos novos e importantes para o avanço da ciência, porém sem aplicação prática, envolvendo verdades e interesses de caráter universal. Já as aplicadas, definem-se as pesquisas que objetivam a criação de conhecimentos com aplicação prática, buscando obter soluções para problemas específicos, envolvendo, assim, verdades e interesses locais (PRODANOV; FREITAS, 2013).

A forma de interpretar o problema, definida em quantitativa, pela realidade dos dados obtidos através de *softwares* serem numéricos e necessitam dos métodos estatísticas para serem interpretados. Já do ponto de vista de seu intuito, podendo ser elencada em pesquisa exploratória, pois procura-se familiarizar com um o assunto muito específico e reconhece a forma de estudo de caso (GIL, 2008).

As pesquisas descritivas, têm por propósito descrever criteriosamente os fatos e fenômenos de cada realidade, a fim de coletar informações a respeito do que já se definiu como problema a ser estudado (TRIVIÑOS, 2008).

A pesquisa experimental, conforme o próprio nome diz, envolve um experimento onde variáveis a serem estudadas são controladas pelo usuário, afetando diretamente o resultado final (ZANELLA, 2006).

Ela é também elencada como uma simulação, pela utilização de técnicas computacionais em função do método utilizado para avaliar o comportamento do sistema a partir dos modelos matemáticos (BERTO; NAKANO, 1999).

Conforme, a pesquisa-ação pressupõe uma participação planejada na problemática a ser investigada pelo pesquisador. Identificando a metodologia sistemática, pretendendo alterar uma realidade em questão, a partir do seu entendimento, conhecimento e comprometimento para a ação do grupo ou indivíduo incluído na pesquisa (FONSECA, 2002).

3.2 CLASSIFICAÇÃO DA PESQUISA

O presente trabalho consiste em uma metodologia de natureza aplicada, pelo fato de resolver o problema apresentado de maneira prática. A pesquisa foi desenvolvida de forma quantitativa, pois fornecerá uma melhor obtenção de dados.

Com relação aos objetivos esta pesquisa é definida como exploratória, devido ao fato que se fez necessário executar análises, criar hipóteses buscando solucionar o problema.

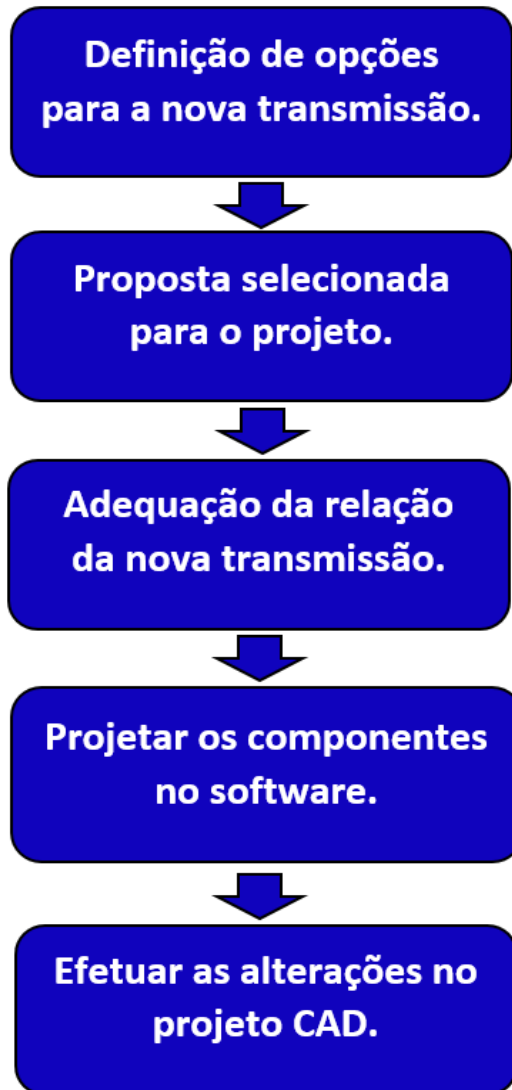
Os métodos utilizados foram pesquisas bibliográficas para o entendimento dos conceitos utilizados, pesquisa documental e pesquisa-ação, pois é desejada a participação planejada e resolução do problema mensurado.

No que diz respeito aos procedimentos técnicos utilizados, define-se entre simulações e pesquisa experimental, dito que foi necessário simular interferências e análises sistêmicas no projeto do veículo.

3.3 DEFINIÇÃO DA METODOLOGIA

Para a apresentação das etapas de aplicação da metodologia foi elaborado um fluxograma, as etapas contidas nele serão detalhadas na Figura 13.

Figura 13 – Etapas da metodologia



Fonte: Autor, 2022

3.3.1 Definição das opções para a nova transmissão

A fim de compreender melhor as propostas de transmissão, são elaborados alguns esboços em conjunto com a equipe buscando sanar o problema, no qual um deles é definido como a solução a ser adotada.

3.3.2 Proposta selecionada para o projeto

A proposta selecionada é definida após o estudo de uma matriz de decisão e a partir disso tem a sequência com o desenvolvimento dos componentes em *software* 3D.

3.3.3 Adequação da relação da nova transmissão

Para que não ocorra nenhuma sobrecarga na transmissão ou perda de eficiência com arrasto de pneus, após a definição da nova proposta de transmissão para o projeto, se fez necessário realizar os cálculos de relações para que as rodas dianteiras tenham a mesma rotação em relação às rodas traseiras, para isso é utilizada a equação 1.

Neste sentido, para não haver divergência entre as rotações das rodas, é necessário que a relação seja de 1:1. Para satisfazer esse objetivo será considerada como base a transmissão atual do veículo e a partir disso projetar o sistema que fará a transmissão da potência para as rodas dianteiras.

3.3.4 Projetar os componentes no *software*

O projeto do sistema potencializa-se atendendo às boas práticas de engenharia, do mesmo modo seguindo o plano de conceito da equipe, fazendo o uso do *software* de desenho CAD 3D, no qual será utilizado o *software SolidWorks® 2017*. Subsequentemente, a elaboração da mesma se dá a partir da decisão de qual sistema de transmissão atende melhor a finalidade do protótipo.

3.3.4.1 Plano de conceito

O plano de conceito da equipe é baseado em veículos *Off Road* que tenham sistema de transmissão 4x4, que seja possível acoplar e desacoplar a transmissão das rodas dianteiras sempre que necessário. Este conceito não considera atributos para um veículo com venda em larga escala, mas sim um Baja preparado para competir em competição *Off Road* que seja capaz de alcançar resultados melhores que das competições anteriores. A nova proposta de transmissão foca em um carro que não necessite de grandes alterações em seu projeto, mantendo os mesmos parâmetros do carro atual com transmissão 4x2, como caixa de redução e motor centralizados, além de semi-eixos de mesmo comprimento e intercambiáveis. No entanto, o veículo deve ser de fácil fabricação, seguro, ergonômico, de baixo custo, com *design* atraente, boa dinâmica veicular, com baixo nível de vibrações e muito resistente. Além disso, o carro deve ter uma boa ergonomia e fornecer ao piloto uma fácil operação, assim como deve estar de acordo com todas as normas e especificações de segurança (integridade do chassis e confiança na frenagem).

3.3.5 Realização de mudanças no projeto CAD

Com as informações definidas nas etapas anteriores faz-se necessário realizar as mudanças no projeto CAD de todo o protótipo de modo a encaixar esta nova transmissão. Esta etapa foi a de maior impacto para o projeto já existente e portanto é executada de acordo com os conceitos da equipe a fim de obter o melhor resultado possível em ambos os subsistemas.

4 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

O desenvolvimento deste estudo se dá através da elaboração de um sistema que seja capaz de fornecer transmissão nas 4 rodas de forma segura e confiável, definindo o sistema que atenda as propostas da equipe com suas devidas validações para a implementação futura no veículo da equipe.

4.1 DEFINIÇÃO DE PROPOSTAS PARA O NOVO SISTEMA

Zotti, Lenz e Souza (2020) realizaram o estudo de propostas para um sistema de tração 4x4 em um veículo Baja SAE, este estudo foi realizado com o suporte de uma matriz de decisão para definir qual opção de transmissão melhor se adapta ao projeto referente. Neste estudo, foram levantadas 4 opções de transmissão buscando atender os requisitos do projeto, no qual são citados como base critérios de custo, manutenção, adaptação, construção e prova.

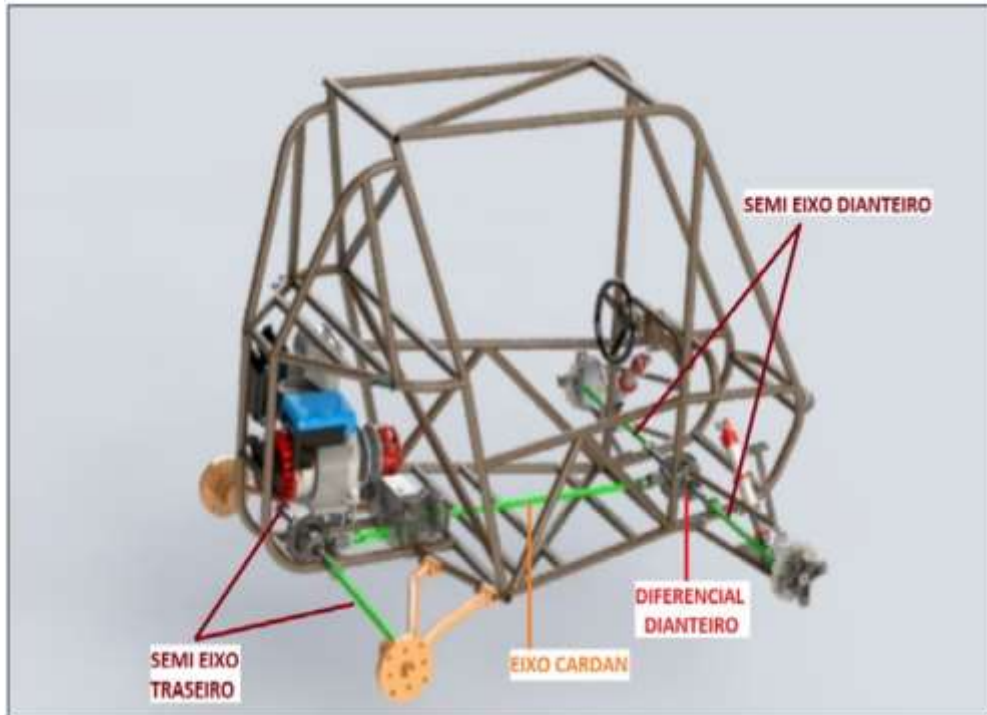
Em reunião com membros da equipe Sinuelo, foram estudadas as propostas e os resultados apresentados no estudo citado. Desta maneira, compreendeu-se que os critérios de aceitação ilustrados são os mesmos que a equipe busca efetivar em seu projeto. Assim sendo, definiu-se que seria utilizado este estudo para determinar a opção de transmissão utilizada no projeto da equipe.

Subsequentemente, são descritas e ilustradas as propostas bem como os resultados obtidos com a matriz de decisão. Das 4 propostas apresentadas, 2 delas são com sistema AWD e duas são com sistema 4WD respectivamente, visando a aplicação em um veículo do tipo Baja SAE.

4.1.1 Proposta 1

A primeira proposta apresentada no estudo, refere-se à utilização de um sistema de tração AWD, com a aplicação de dois diferenciais no veículo (Figura 14). Nesse domínio, o motor é posicionado de modo com que seu eixo de força fique na direção frontal do veículo, o oposto comparado ao utilizado na equipe atualmente.

Figura 13 – Perspectiva proposta 1



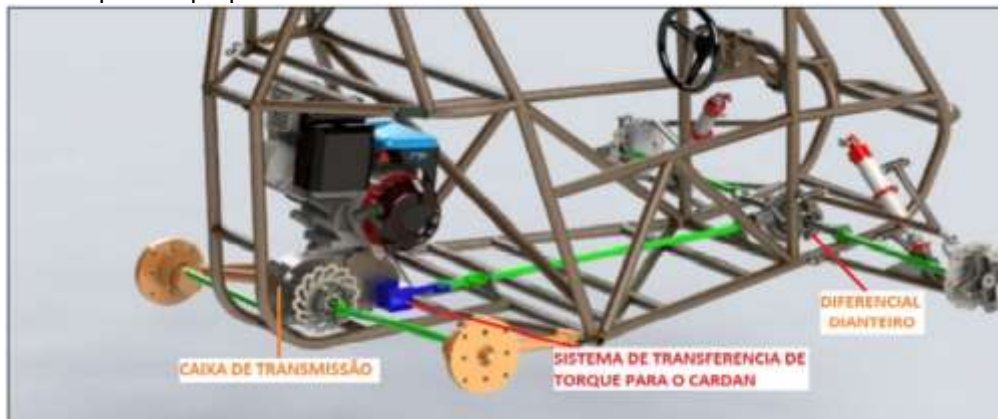
Fonte: Zotti, Lenz e Souza, 2020

Esse conceito soma uma série de alterações no projeto, além disso, agrega ao projeto uma grande massa, somado ao fator de baixa motorização, esta proposta não é viável para a aplicação.

4.1.2 Proposta 2

Com um sistema de tração AWD, essa proposta sugere que a caixa de redução passe a contar com duas saídas de torque, uma para as rodas traseiras e outra para alimentar o eixo acoplada no diferencial dianteiro, este, por sua vez, responsável por transmitir o torque para as rodas dianteiras. (Figura 15).

Figura 15 – Perspectiva proposta 2



Fonte: Zotti, Lenz e Souza, 2020

O motor e a caixa de redução poderão ficar posicionadas no mesmo sentido que o utilizado atualmente com a transmissão de 4x2. Desta forma, o veículo não sofrerá alterações tão expressivas comparado com a proposta 1.

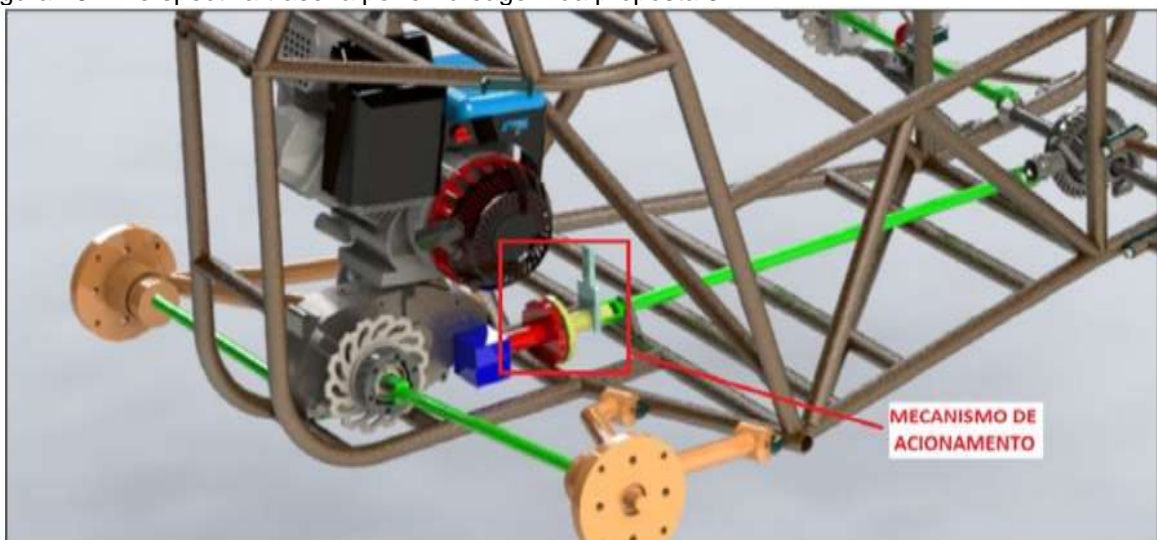
4.1.3 Proposta 3

Diferente da proposta 2, essa sugere um sistema de transmissão 4WD. Nesse caso, é utilizado um diferencial traseiro com bloqueio integral e diferencial dianteiro sem bloqueio, essa combinação permite um menor arrasto das rodas dianteiras, facilitando a manobrabilidade durante o esterçamento do volante. Além do mais, esse sistema permite que a integração do sistema 4WD seja acionado com um mecanismo de alavanca dentro do habitáculo, onde o piloto pode optar pelo uso da transmissão 4x2 e em ocasiões necessárias acionar o 4x4.

Para fazer esse acionamento foram levantadas duas opções de montagem para a mesma configuração do sistema:

- a) Acionamento por embreagem: O acionamento da alavanca é realizada com o piloto dentro do habitáculo, e de forma semelhante ao mecanismo de embreagem dos carros, quando a alavanca for acionada o desligamento/ligamento do torque é feito através de conjuntos de discos de fricção conforme mostra a Figura 16. Esse sistema demanda da implementação de suportes para a fixação dos discos e estará exposto as impurezas de pó e água ao sistema.

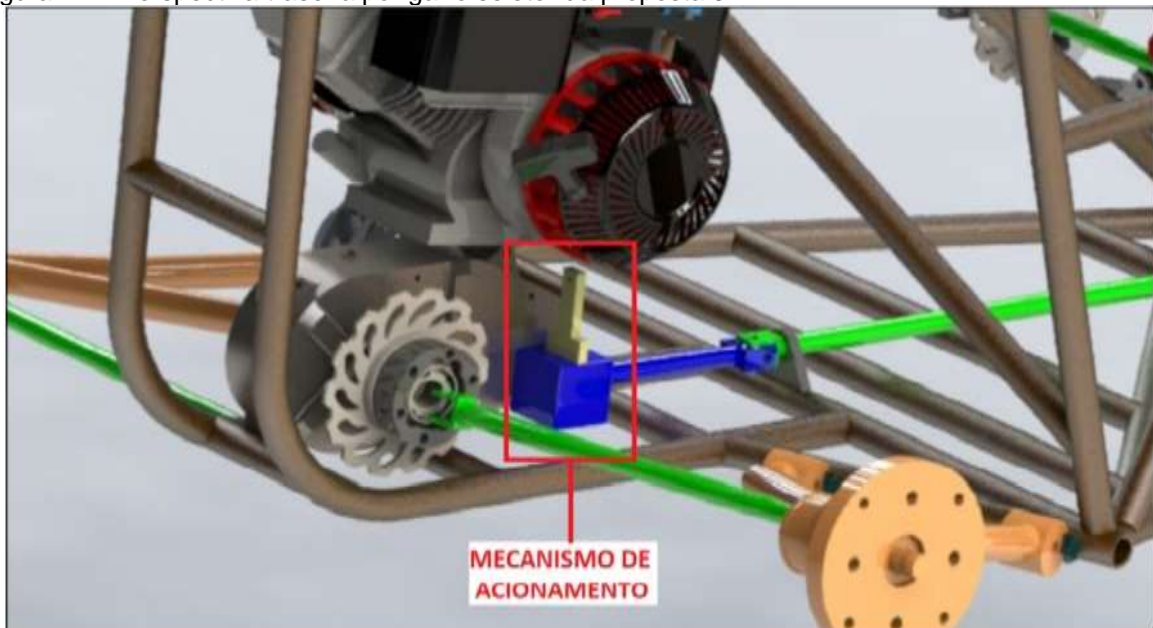
Figura 16 – Perspectiva traseira por embreagem da proposta 3.1



Fonte: Zotti, Lenz e Souza, 2020

b) Acionamento por garfo: O acionamento da alavanca de seleção de transmissão feita pelo piloto é semelhante ao ponto 1 da proposta 3, porém neste caso, em vez de haver um sistema de plato e disco exposto às condições da competição, um garfo seletor apoiado sobre uma luva deslizante ao eixo motriz fará esta ponte, transmitindo o torque. A Figura 17 ilustra o local de atuação do garfo seletor junto à caixa de redução, esse sistema se mostrou mais próximo das possibilidades construtivas da equipe, dada a sua confiabilidade e custo.

Figura 17 – Perspectiva traseira por garfo seletor da proposta 3.2



Fonte: Zotti, Lenz e Souza, 2020

4.1.4 Proposta 4

A quarta proposta, refere-se à implementação de um sistema de transmissão hidráulica. Um dos objetivos desse conceito seria reduzir a massa comparado com a proposta 1. Para isso, seria utilizado fluidos incompressíveis, tubulações de rede central rígida com finalidade de interligar uma bomba acoplada na CVT (*Continuously Variable Transmission*) do Baja para um sistema secundário de tubulações com material flexível, que é responsável por alimentar as rodas, e um mecanismo de conversor de torque. Este conceito, logo vem a somar alta complexidade na manufatura e na aquisição dos conversores de torque e a bomba de alimentação central, agregando um alto valor financeiro. Outro ponto que foi considerado é o aquecimento do fluido quando comprimido, a instalação de

trocadores de calor e o uso de suporte de armazenamento elétrico limitado para fazer a ventilação forçada, pesa negativamente na escolha do sistema 4x4 acionado através de um sistema hidráulico.

Posteriormente, ao realizar o levantamento das opções de conceitos para transmissão 4x4, foi efetuada uma matriz de decisão para definir o melhor sistema, conforme apresentado por Norton (2013). Este método consiste em definir a alternativa pela determinação da maior média ponderada das notas após uma análise técnica.

Na matriz de decisão, a primeira linha da tabela é reservada para os critérios de avaliação das propostas, enquanto que a segunda linha deve trazer o peso de cada um destes critérios.

Neste estudo os critérios de seleção foram: custos, manutenção, adaptação, construção e provas. A Tabela 1 apresenta os resultados em relação a cada proposta elaborada anteriormente.

Tabela 1 Matriz de Decisão

	Custo	Manutenção	Adaptação	Construção	Provas	Rank
Peso	0,25	0,20	0,15	0,15	0,25	1,00
Dois diferenciais (Dianteiro e Traseiro), com modelo de caixa de redução atual.	7	4	6	7	8	6,5
Um diferencial dianteiro, com modificação na caixa de redução.	0	9	0	0	0	0,2
Um diferencial dianteiro, com modificação na caixa de redução e possibilidade de engate do mecanismo.	7	8	6	6	9	7,4
Sistema de atuação totalmente hidráulico, para as quatro rodas do veículo	4	0	4	5	2	4,05

Legenda

0 = mais caro 0 = menos eficiente 0 = menos eficiente 0 = menos eficiente 0 = menos eficiente 0 = menos eficiente

10 = mais barato 10 = mais eficiente 10 = mais eficiente 10 = mais eficiente 10 = mais eficiente 10 = mais eficiente

Fonte: Zotti, Lenz e Souza, 2020

As notas atribuídas a cada um, baseiam-se nos critérios pré estabelecidos. De acordo com a matriz de decisão, a segunda proposta teve a maior nota, somando 8,2 no *ranking*, assim sendo estabelecido a opção dois como melhor sistema de transmissão para implementar no projeto. No qual o custo de aquisição é favorável, a manutenção das peças é baixa e de fácil reposição, devido aos modelos

de componentes selecionados, a adaptação e construção dos componentes é mais sucinta quando comparada com as demais propostas e o desempenho em provas dinâmicas é adequado à proposta.

Para a equipe Sinuelo, esse estudo proporcionou um domínio melhor sobre os conceitos de transmissão para um veículo baja, do mesmo modo que, com a utilização da ferramenta matriz de decisão foi possível compreender qual o melhor sistema para implementação para nosso projeto. Posto isso, em reuniões entre a gestão da equipe Sinuelo, definiu-se em seguir com a opção dois de transmissão.

4.2 DEFINIÇÃO DO DIFERENCIAL

Na definição do diferencial que será utilizado para transferir a força do cardan para as rodas dianteiras, foram considerados alguns fatores importantes pela equipe, sendo eles: custo, facilidade de aquisição, robustez, aplicação em veículos de mesmo porte e que se adequasse ao nosso projeto sem grandes complexidades.

Nesse sentido, o escolhido é o diferencial utilizado em veículos ATV da Honda, no modelo FOURTRAX TRX 420 FM 2011. A Figura 18 apresenta uma imagem do diferencial referente. Este diferencial tem uma aplicação muito similar à do veículo Baja da equipe Sinuelo, no que se diz respeito ao uso *Off-road*.

Figura 18 – Diferencial dianteiro ATV Honda Fourtrax TR 420 FM 2011



Fonte: Mercado Livre, 2022

Neste diferencial também está incluso um sistema de desacoplamento/acoplamento, onde o piloto pode dentro do habitáculo, ligar e

desligar a tração nas rodas dianteiras, o acionamento desse mecanismo é realizado com um sistema simples de cabo e alavanca, desde que seja feito com o veículo parado. A Figura 19 apresenta o sistema de desacoplamento/acoplamento do diferencial.

Figura 19 – Mecanismo de desacoplamento/acoplamento



Fonte: Mercado Livre, 2022

Independentemente a equipe ter definido um conceito de transmissão AWD, a opção de desligar a tração dianteira pode ser benéfica para a equipe em provas nas quais não necessita deste recurso, além de que o mecanismo incluso no diferencial é um sistema robusto e confiável, não necessitando o desenvolvimento de um projeto extra de acoplamento pela equipe. Sendo assim, o sistema de transmissão 4X4 projetado, passa a ser 4WD.

O diferencial escolhido é muito confiável pela sua vasta aplicação em produtos Honda. O mesmo também possui uma geometria compacta e robusta, ideal para a aplicação nesse projeto. O próximo passo foi entender mais sobre a durabilidade deste conjunto quando aplicado ao veículo Baja, para isso algumas especificações técnicas foram verificadas no manual do proprietário Honda, e uma das informações analisadas é referente à motorização e o peso do veículo Fourtrax. A Figura 20 apresenta essas informações descritas no manual.

Figura 20 – Peso e motor do veículo Honda Fourtrax TR 420 FM 2011

PESO	
Peso seco	237 kg (TRX420TM) 254 kg (TRX420FM)
MOTOR	
Tipo	OHV, monocilíndrico, 4 tempos, arrefecido a água
Cilindrada	420,2 cm ³
Diâmetro e curso	86,5 x 71,5 mm
Relação de compressão	9,9 : 1
Potência máxima	26,2 BHP (26,5 cv) a 6.000 rpm
Torque máximo	30,3 N.m (3,09 kgf.m) a 5.500 rpm

Fonte: Adaptado de Manual do Proprietário Honda, 2011

Com base nos valores apresentados, pode-se fazer uma relação entre a aplicação da Honda e a aplicação no protótipo da equipe Sinuelo, dito que o protótipo atual da equipe pesa 195 kg, e está equipado com um motor de 305 cm³ que gera um torque máximo de 18,4 N.m a 4000 RPM, conforme a Figura 23. Desta forma, é possível verificar que a relação de peso mostra que o protótipo Sinuelo é 22% mais leve, e tem 29,8% menos torque em seu motor, isso quer dizer que o diferencial vai trabalhar em condições mais suaves quando comparado com a aplicação original no ATV da Honda.

4.3 ADEQUAÇÃO DA RELAÇÃO DA TRANSMISSÃO

O diferencial por si só, possui uma relação entre suas engrenagens, mais especificamente entre pinhão e coroa, essa relação é responsável por reduzir a rotação do cardan e aumentar o torque fornecido para as rodas. A Figura 21 apresenta a relação existente entre pinhão e coroa do diferencial utilizado no FOURTRAX TRX 420 FM 2011.

Figura 21 – Relação do diferencial da Honda Fourtrax TR 420 FM 2011

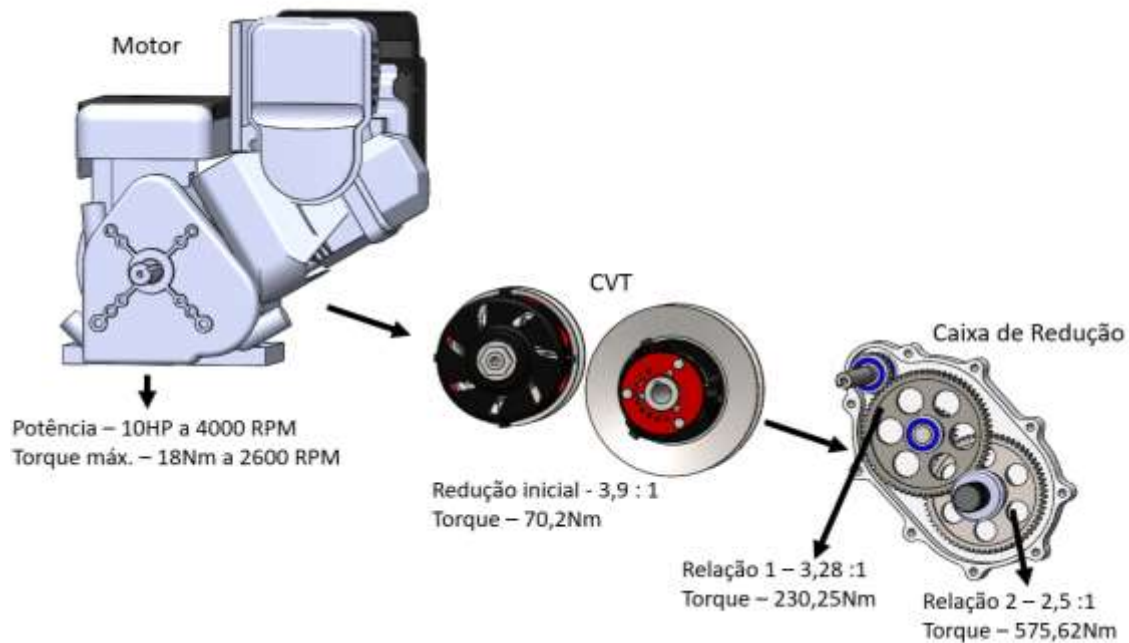
SISTEMA DE TRANSMISSÃO	
Tipo	5 velocidades à frente e 1 a ré
Embreagem	Centrífuga e multidisco em banho de óleo
Redução primária	2,103
Redução secundária	1,818
Redução final	
	Dianteira (somente TRX420FM) 3,231
	Traseira 3,154

Fonte: Adaptado do Manual do proprietário Honda, 2011

Esta relação de 3,231, deve ser sincronizada com a relação da transmissão atual da equipe Sinuelo. Ou seja, a relação entre a rotação das rodas dianteiras e rodas traseiras deve ser o mais próximo possível de 1:1, com o intuito de que não ocorram arrasto desnecessário das rodas gerando perdas de eficiência, do mesmo modo, para que não ocorra eventuais sobrecargas no sistema mecânico devido duas rodas fornecerem mais tração que as outras.

Para tal finalidade, deve-se ter o conhecimento das relações atuais utilizadas na transmissão da equipe. A Figura 22, apresenta um esquema com a configuração atual.

Figura 22 – Relações da transmissão da equipe Sinuelo 2022



Fonte: Autor, 2022

No projeto do 4x4 da equipe Sinuelo, será mantido toda a configuração atual da transmissão, e para enviar a força para o cardan, será utilizado o eixo intermediário da caixa de transmissão atual. Neste sentido, a preocupação com as relações entre diferencial e caixa de redução da equipe, passa a ser apenas a relação de engrenamento número 2 da caixa de transmissão atual, ou seja a relação de 2,5:1. Esta, deve ser recalculada para atingir o mais próximo possível da relação de 3,231:1 utilizada no diferencial, deste modo, as rodas dianteiras e traseiras terão a mesma rotação.

A relação de engrenamento 1 da caixa de transmissão atual, é de 3,28:1, muito próximo do desejado na relação de engrenamento 2, para sincronizar a

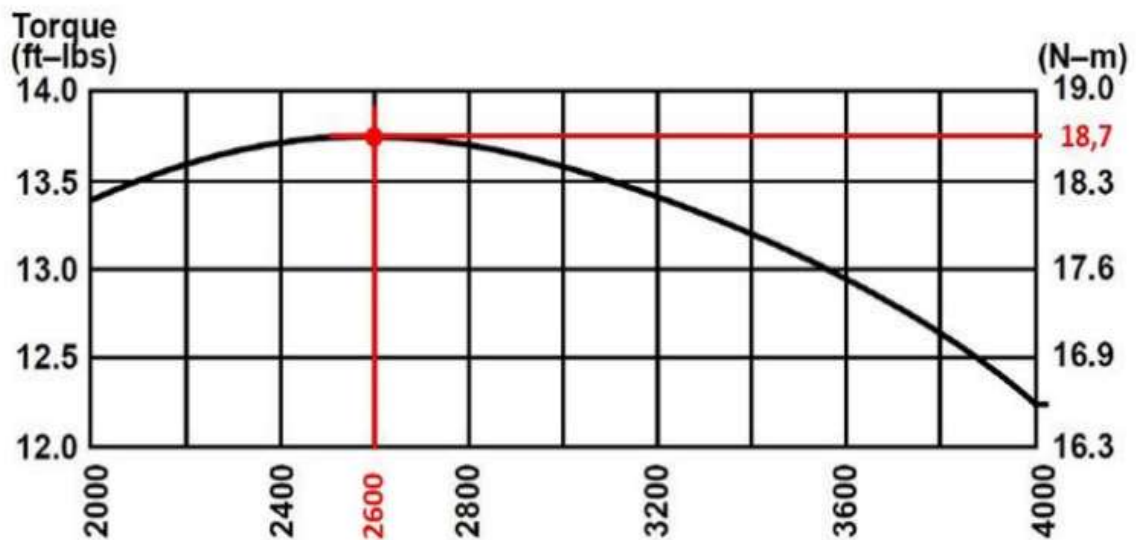
relação do sistema com o diferencial. Subtraindo a relação 1 da caixa de transmissão, com a relação do diferencial, chega-se a uma relação de aproximadamente 1:0,98 que soma uma diferença de apenas 2% comparado com a relação esperada de 1:1. Outro fator importante observado, é que a distância entre eixos da caixa de transmissão, é a mesma para os dois engrenamentos, com isso, para adequar as relações do 4x4, será utilizado o mesmo par de engrenagens do primeiro engrenamento da caixa de redução, no segundo.

Com a alteração da relação do segundo engrenamento da caixa de redução, o protótipo terá sua dinâmica veicular alterada, no que se diz respeito ao torque no eixo da roda, bem como em sua velocidade final. Esse comparativo será apresentado a seguir.

O primeiro passo é verificar qual a relação final da caixa de transmissão. Para isso, é necessário multiplicar as duas relações de 3,28 nela existente, quando multiplicadas o resultado é de 10,75:1, em seguida é possível calcular o torque no eixo da roda e a velocidade final.

Para calcular o torque, basta multiplicar o torque máximo fornecido pelo motor, pela relação da transmissão. Na Figura 23, os dados do motor *Briggs & Stratton Intek Pro*® 10 hp de 305 cilindradas são teóricos e retirados do gráfico fornecido pelo próprio fabricante.

Figura 23 – Gráfico torque x rotação do motor *Briggs & Stratton Intek Pro*® 10 hp



Fonte: adaptado de Cipolla, 2015

Para o torque máximo no eixo da roda, é considerado os 18,7 N.m. fornecidos pelo motor, multiplicado pelo valor máximo de relação da CVT (*Continuously*

Variable Transmission) que é 3,9 e depois multiplicado pelo valor da relação da caixa de transmissão que é 8,2, chegando ao valor final de 575,62 N.m. no eixo da roda para a configuração atual. Já alterando a relação da caixa de transmissão para 10,75 o valor do torque no eixo da roda fica em aproximadamente 755,22 N.m.

Para o cálculo da velocidade final alcançada pelo veículo, utilizou-se a equação 2:

$$V = \frac{RPM * 2\pi * r * 3,6}{60} \quad (2)$$

V = Velocidade final (km/h)

RPM = Rotação do eixo

r = raio do pneu (metro)

Logo, para a velocidade final do projeto atual, considerando a máxima rotação do motor de 4000 RPM, o raio do pneu de 0,29 metros, a menor relação da CVT de 0,9:1 e a relação da caixa de transmissão de 8,2:1 tens-se:

$$V = \frac{542 * 2\pi * 0,29 * 3,6}{60}$$

$$V = 59,2 \text{ km/h}$$

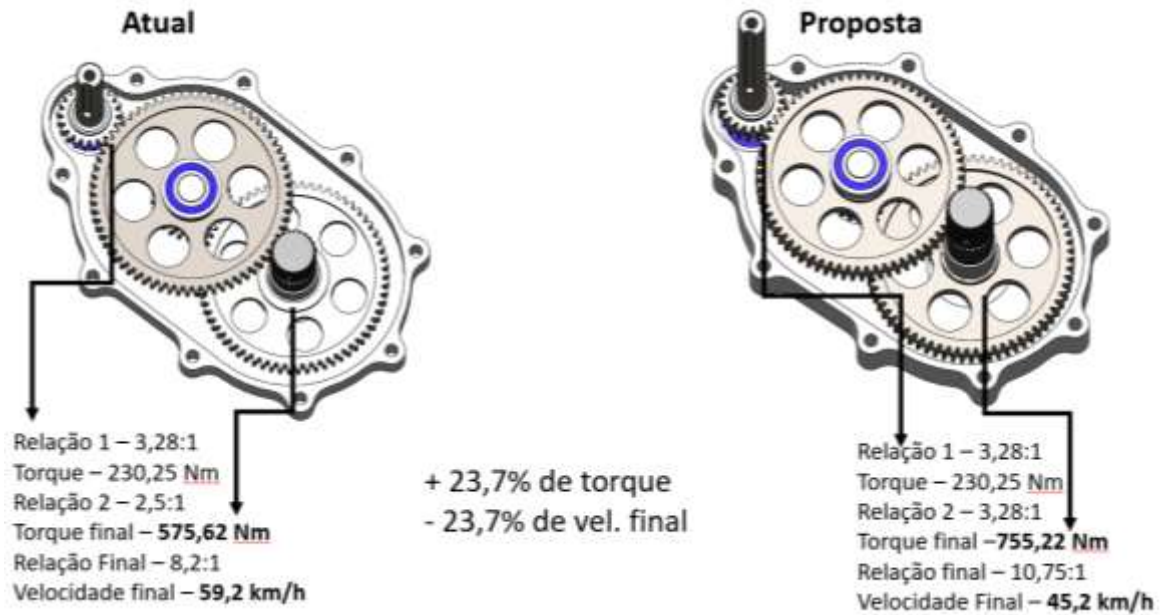
Na nova proposta de relação, utilizou-se os mesmos valores de entrada, porém alteraou-se a relação da caixa para 10,75, com isso tem-se o seguinte resultado:

$$V = \frac{413,4 * 2\pi * 0,29 * 3,6}{60}$$

$$V = 45,2 \text{ km/h}$$

A Figura 24 apresenta a comparação entre a transmissão atual e a proposta mostrando uma melhora significativa no torque final da transmissão, porém uma perda proporcional na velocidade final.

Figura 24 – Comparativos entre relações de transmissão



Fonte: Autor, 2022

Essas informações foram apresentadas para a equipe, e nesse cenário, foi entendido que a transmissão com mais torque traria mais benefícios para a equipe, dito que na maior parte da competição o carro está sujeito a provas de tração e de arrancada, poucas vezes a velocidade final é atingida. Além disso, na última competição Nacional, em abril de 2022, a equipe enfrentou alguns problemas de tração, no qual um deles não foi possível transpor um obstáculo e a outra foi uma má passada na prova de tração, obtendo a classificação de 32 no ranking. Na Figura 25 consta a classificação da equipe na prova dinâmica de tração.

Figura 25 – Classificação prova de tração Nacional 2022

	#	Equipe	Distância	Tempo	Pontos
23º	7	CEFAST BAJA SAE CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA DE MINAS GERAIS	6.84 6.51	-	30.17
24º	3	EESC USP ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS - USP	6.66 6.65	-	29.1
24º	35	BAJA UFMG UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS	6.43 6.46	-	29.3
26º	18	CAR-KARÁ BAJA SAE UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO NORTE	6.24 6.62	-	29.07
27º	11	KONUKETO BAJA UFSJ UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO JOÃO DEL REI	6.32 6.24	-	27.3
28º	51	UMB AJA UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA - UNB	6.14 6.31	-	27.24
29º	52	TCHÊ UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL	6.25 6.02	-	26.89
30º	2	SACI UNIVERSIDADE FEDERAL DE ITAJUBÁ	3.99 6.17	-	26.42
31º	39	ITA BAJA INSTITUTO TECNOLÓGICO DE AERONÁUTICA	3.87 6.16	-	26.36
32º	22	SINUELO FACULDADE HORÓZONTHA - RACOR UNIVERSIDADE ESTADUAL DE MARACÁ	6.02 5.31 5.82	-	25.53

Fonte: SAE, 2022

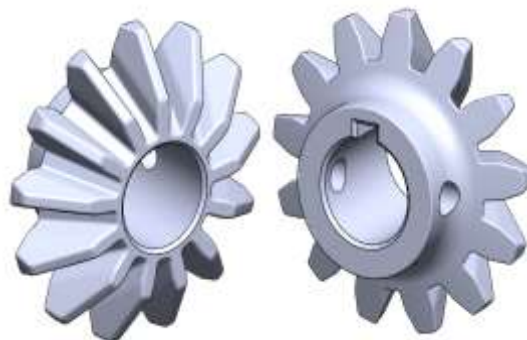
4.4 DESENVOLVIMENTO DO PROJETO CAD

Após ser definido o sistema utilizado e as relações operacionais, o próximo passo é modelar todos os demais itens que compõem a transmissão 4X4. Essa etapa é de extrema importância para o projeto, pois nela, serão analisados todos os fatores de montagem e de operação do sistema, contando interferências e limitações da transmissão. Neste desenvolvimento foi realizada apenas a modelagem CAD, baseando-se nos itens já dimensionados pela equipe e validados fisicamente, além de boas práticas de engenharia. Cálculos de dimensionamento ou análises computacionais (FEA), não estão no escopo deste trabalho. Para itens críticos, é sugerido que um trabalho futuro de FEA seja elaborado, a fim de garantir sua vida útil esperada pelo produto.

4.4.1 Sistema de saída de força para o cardã

Como apresentado anteriormente, a saída para o cardã será adaptada na caixa de transmissão atual da equipe, utilizando o eixo secundário para fazer a alteração do sentido da força, levando para a direção frontal do carro. No entanto, foram utilizadas duas engrenagens cônicas de dentes retos com 13 dentes (Figura 26), assim, não afetando a relação da transmissão. As engrenagens cônicas definidas, são engrenagens que possuem uma vasta aplicação em implementos agrícolas, mostrando assim confiáveis para a aplicação.

Figura 26 – Engrenagens cônicas de dentes retos



Fonte: Autor, 2022

Para fazer o alojamento destas engrenagens, uma das tampas da caixa de redução foi alterada, nesta alteração buscou-se manter todas as mesmas espessuras das tampas já utilizadas atualmente, também, sugere-se que o material mantenha-se o mesmo, liga de alumínio 6061-60 T6. Para a manufatura dessa

tampa, pode ser realizada com usinagem ou com processo de fundição, ficará a cargo da equipe definir qual melhor lhe convém. A Figura 27 apresenta a nova tampa da caixa de transmissão, onde ficarão alojadas as engrenagens cônicas.

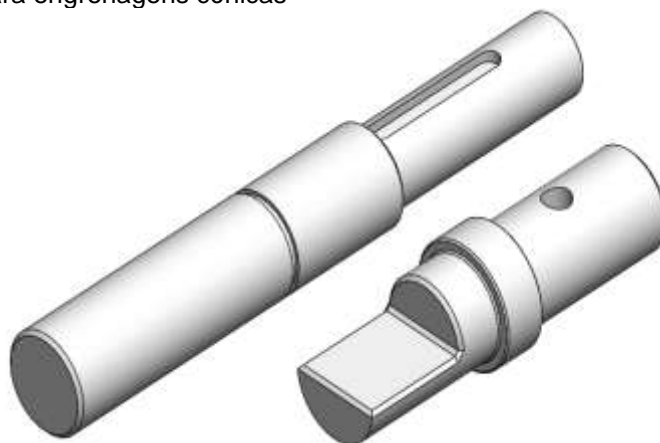
Figura 27 – Nova tampa da caixa de redução



Fonte: Autor, 2022

No que refere-se ao funcionamento das engrenagens dentro do alojamento, dois novos eixos foram desenvolvidos, esses eixos são similares com os já utilizados pela equipe, porém, agora com um diâmetro um pouco maior, passando de 20mm para 25mm. O material utilizado, deve ser o mesmo dos já dimensionados utilizados pela equipe, que são de aço 4340. A Figura 28 apresenta os dois eixos desenvolvidos.

Figura 28 – Eixos para engrenagens cônicas

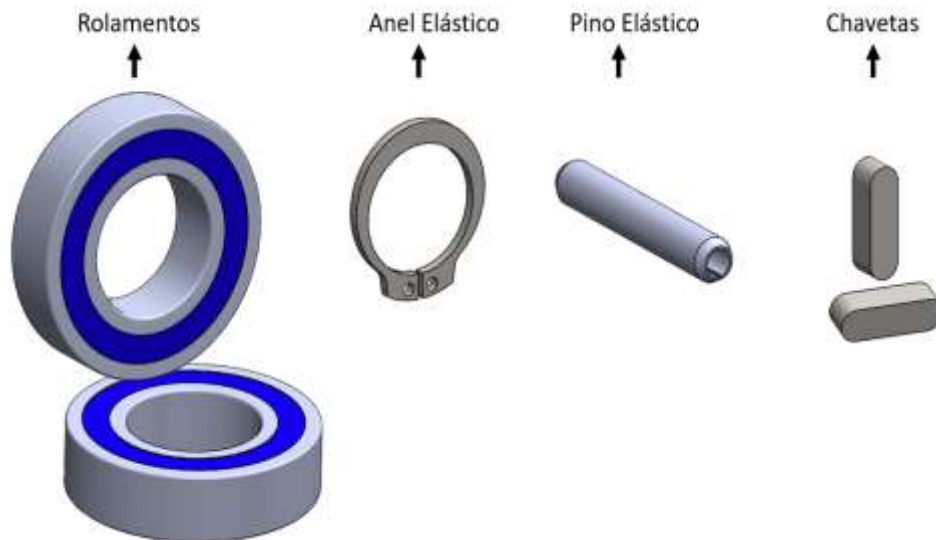


Fonte: Autor, 2022

Para finalizar a montagem dos componentes na caixa de transmissão, e garantir o posicionamento de cada componente e um bom funcionamento sem interferências, dois novos rolamentos de esferas são necessários. Estes, com

apenas uma coroa de esfera e com suas medidas externas de diâmetro 47 mm, diâmetro interno 25mm e largura de 12mm. Para impedir o movimento das engrenagens sobre os eixos, um conjunto de chavetas, anel elástico e pino elástico foram utilizados. A Figura 29 apresenta os rolamentos, chavetas, pinos elásticos e anel elástico utilizados.

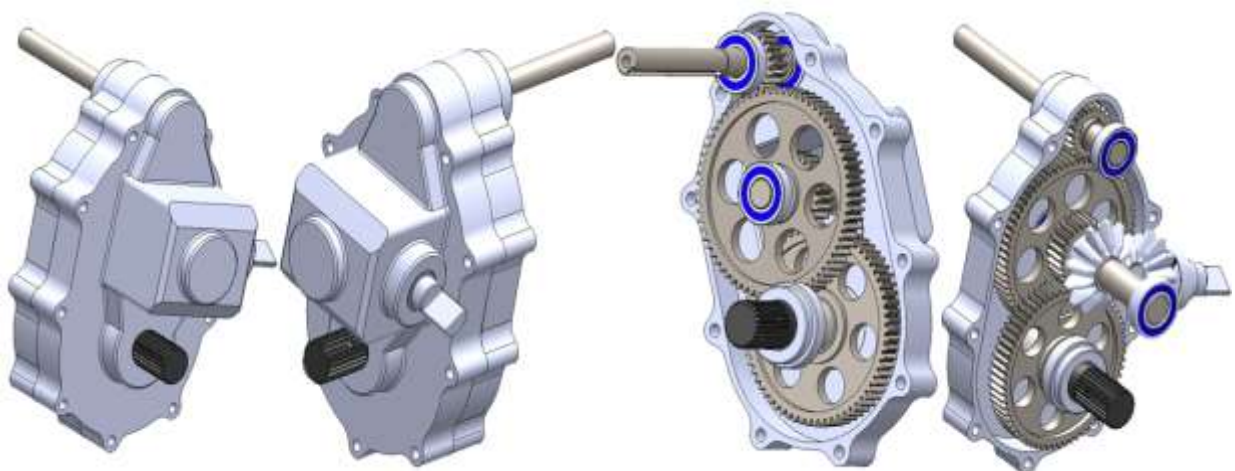
Figura 29 – Rolamentos, chavetas, pinos elásticos e anel elástico



Fonte: Autor, 2022

Finalizado o modelamento dos componentes que integram a caixa de transmissão com a saída de força para o cardã, é realizada a montagem dos componentes. Essa montagem já é realizada com o segundo engrenamento utilizando as mesmas engrenagens do primeiro engrenamento. A Figura 30 apresenta a montagem da caixa de transmissão.

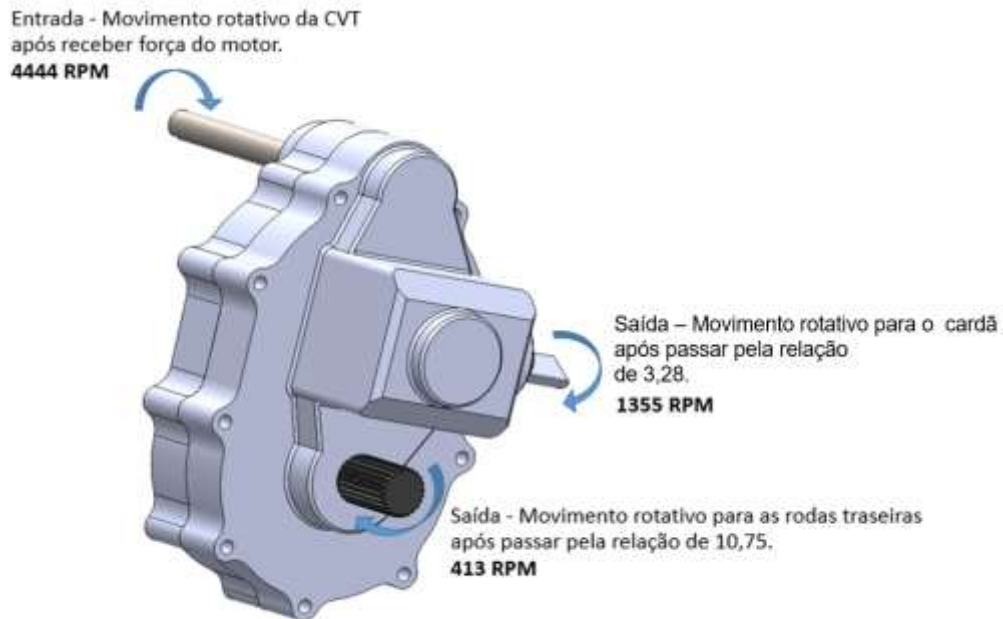
Figura 30 – Montagem da caixa de transmissão



Fonte: Autor, 2022

Para um maior entendimento de como essa caixa de redução se comporta na prática, a Figura 31 mostra como o movimento entra na caixa, e como ele vai sair após passar nas relações que nela compõem, considerando a rotação máxima do motor de 4000 RPM e após passar pela relação máxima de CVT que é 0,9.

Figura 31 – Entrada e saída do movimento na caixa de transmissão



Fonte: Autor, 2022

4.4.2 Sistema de cardã

No primeiro passo para o desenvolvimento do cardã, foi desenvolvido um sistema de acoplamento, onde os eixos possuem um rebaixo no meio de sua seção para manter os dois acoplados, uma luva deslizante é utilizada. Esse acoplamento será responsável por fazer a ligação entre a caixa de transmissão e o cardã. A Figura 32 apresenta o sistema de acoplamento utilizado.

Figura 32 – Sistema de acoplamento do cardã



Fonte: Autor, 2022

A luva utilizada para firmar esse acoplamento, é uma luva de aço 1020 com geometria simples para ser usinada. Na Figura 32, está ilustrado o anel elástico que tem a função de não permitir que a luva venha a deslizar e desacoplar o sistema no momento em que o mesmo está operando. Da mesma forma, na Figura 32, a primeira parte do conjunto do cardã está representada, essa parte é formada por um eixo rígido, usinado e de aço 1020, com duas funções importantes além de transmitir a força para o diferencial, uma delas é a de fazer o acoplamento na caixa de redução e a outra é fazer a ligação com uma junta universal na outra extremidade. Essa junta universal é responsável por alterar o sentido do restante do cardã, devido às limitações das geométricas do protótipo da equipe Sinuelo. Para a junta universal é utilizado um modelo já disponível no mercado, da linha de caminhões Mercedes Benz, robusto e de fácil aquisição. A Figura 33 ilustra o modelo de junta universal que será utilizado.

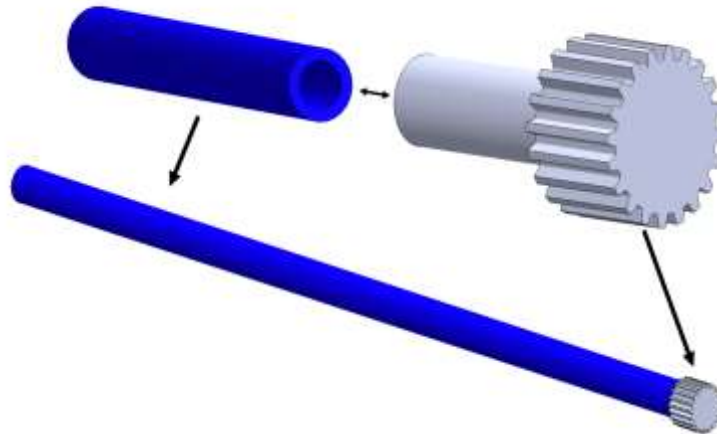
Figura 33 – Junta universal



Fonte: Mercado Livre 2022

Para o restante do eixo cardã, até o acoplamento no diferencial, é utilizado um tubo redondo de diâmetro externo 25,4mm (1") e parede de 4,3mm com material de aço 1020. Este é um tubo de catálogo, de fácil aquisição e não necessita passar por processo de usinagem. Nesse cardã, uma extremidade tem função de conectar a junta deslizante, e a outra, fazer o acoplamento no diferencial, o mesmo é realizado com um adaptador projetado para esse sistema. O adaptador deve ser usinado com aço 1045, após manufaturado, deve ser soldado em uma das extremidades do eixo cardã, o mesmo é modelado a partir das medidas do diferencial fornecidas por um vendedor especializado da Honda. A Figura 34 apresenta o eixo cardã e o adaptador do diferencial.

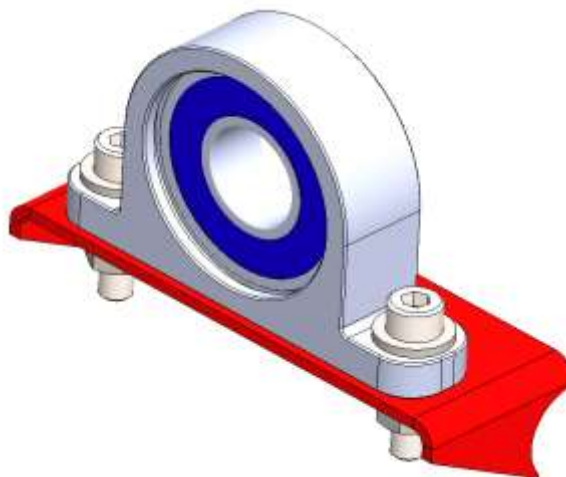
Figura 34 – Eixo cardan e adaptador do diferencial



Fonte: Autor, 2022

Para uma melhor segurança ao piloto, bem como para evitar altas vibrações no sistema, dois mancais de liga de alumínio 6160 - T6 foram desenvolvidos, sendo posicionados com parafusos e porcas sobre suportes no chassi, com o intuito de manter o eixo cardã em sua posição de trabalho. Os rolamentos utilizados são rolamentos de catálogo com uma única coroa de esferas e nas medidas de diâmetro interno 25,4 mm, externo 57,15 mm e largura de 15,88 mm. A Figura 35 apresenta o sistema de mancal desenvolvido.

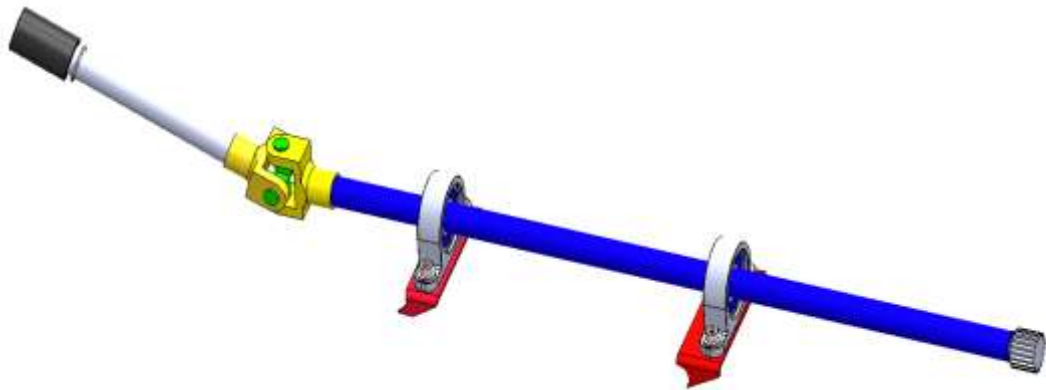
Figura 35 – Sistema de mancal do eixo cardã



Fonte: Autor, 2022

Após finalizar o modelamento de todos os itens que envolvem o conjunto do cardã, pode ser realizada a montagem completa do mesmo. A Figura 36 apresenta a montagem do cardã.

Figura 36 – Montagem do cardã

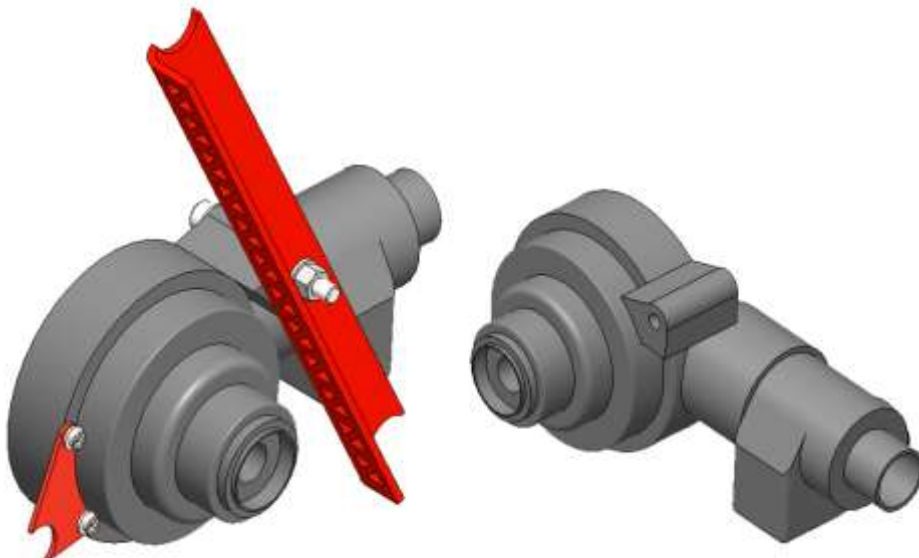


Fonte: Autor, 2022

4.4.3 Diferencial, sistema de semi-eixos e cubo de roda

Para dar continuidade no modelamento dos itens compostos na proposta de transmissão 4x4, um modelo representativo do diferencial foi desenvolvido. Após isso, foi possível dar seguimento e desenvolver os suportes necessários para a fixação do diferencial no chassi. Os suportes foram projetados para serem manufaturados em chapas de aço, um com dobra e outro plano, ambos com espessura de 4,75mm. Esses foram posicionados em locais onde não afetam o posicionamento do piloto e também de outros componentes do protótipo como, por exemplo, sistema de direção. Para a fixação, os suportes são soldados no chassi e o diferencial é montado com parafusos e porcas nos respectivos suportes. A Figura 36 apresenta o modelo CAD do diferencial e seus respectivos suportes.

Figura 37 – Modelo CAD do diferencial e seus suportes



Fonte: Autor, 2022

Feito isso, em seguida foi projetado o sistema de semi eixos, esses, responsáveis por transmitir a força da saída do diferencial para as rodas dianteiras. Os semi eixos definidos serão os mesmos já utilizados pela equipe na transmissão das rodas traseiras, eles são da linha Volkswagen do modelo Gol 2017 (Figura 38). Além de possuir uma fácil aquisição no mercado, os mesmos possuem uma geometria de simples montagem e manutenção, bons ângulos de trabalho, com ângulo máximo de 45° para as homocinéticas e 25° para as juntas deslizantes, isso possibilita um melhor curso de trabalho para a suspensão e direção.

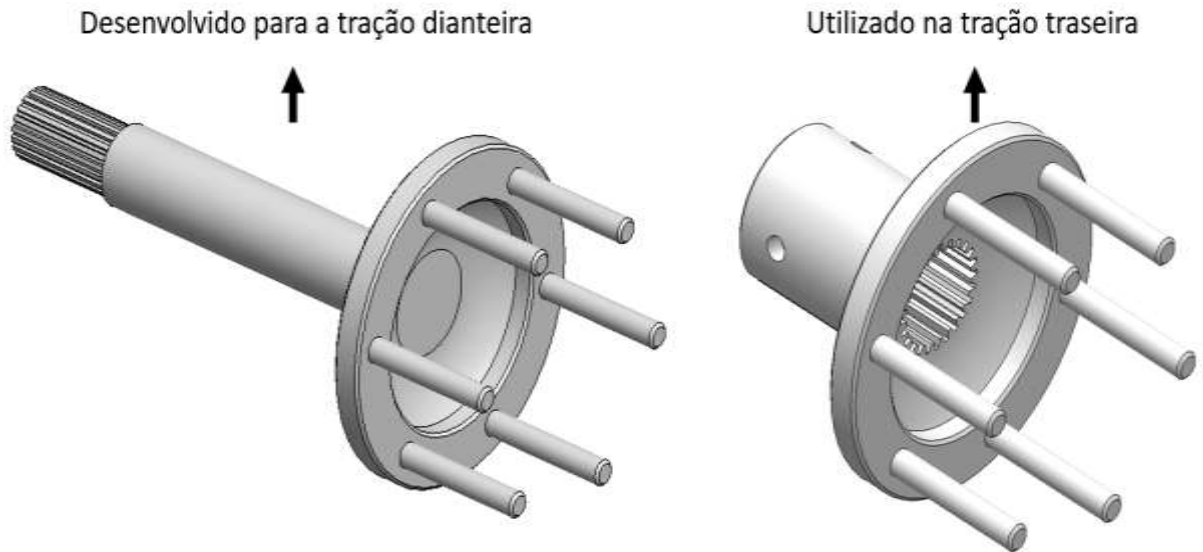
Figura 38 – Semi eixos linha VW Gol 2017



Fonte: Equipe Sinuelo, 2021

Para o acoplamento dos semi eixos no diferencial, foi utilizado o mesmo conceito de adaptadores que a equipe utiliza na transmissão atual, esses são simples e robustos, já validados fisicamente, nunca apresentando nenhum tipo de desgaste prematuro ou quebra. Na montagem dos acopladores, também são utilizados os mesmos conjuntos de mancais que são montados no cardã (Figura 36), isso para manter o sistema operando dentro de suas limitações, sem causar acidentes e riscos ao piloto. A Figura 39 apresenta o acoplador desenvolvido para a tração dianteira comparado com o já utilizado na transmissão traseira.

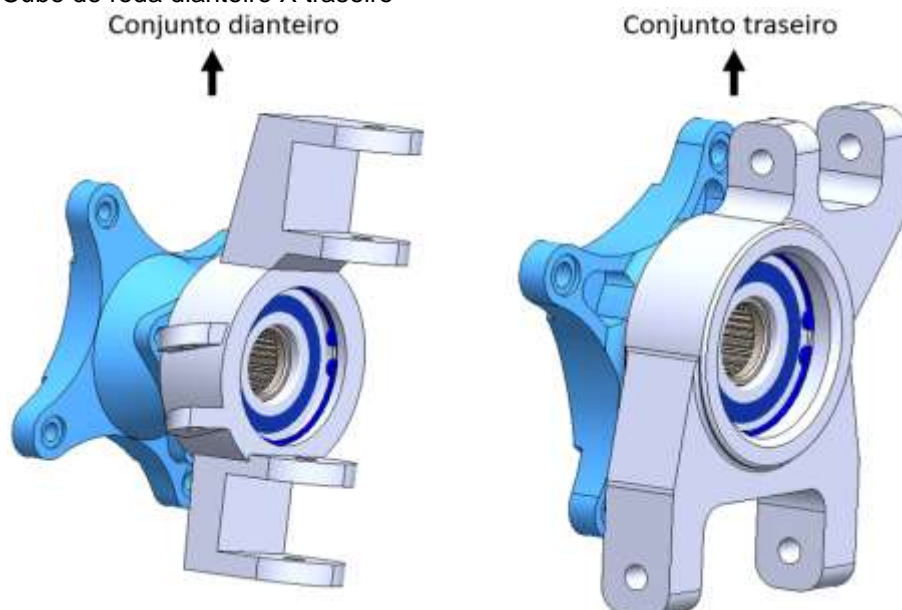
Figura 39 – Adaptador de semi-eixo desenvolvido X já utilizado



Fonte: Autor, 2022

Para fechar o ciclo do sistema de transmissão 4x4, é necessário realizar as alterações nos cubos de rodas dianteiros para transmitir a força do semi-eixo para as rodas. Para tal feito, foi utilizado o mesmo conceito já aplicado nas rodas traseiras do protótipo da equipe Sinuelo, e da mesma forma como os adaptadores de semi eixo, o sistema de cubo de rodas traseiros, já foram validados e possuem uma boa performance, com isso trazendo confiabilidade para o sistema que também será aplicado nas rodas dianteiras. A Figura 40 apresenta os cubos de rodas dianteiros alterados em comparação com os cubos de rodas traseiros já utilizados.

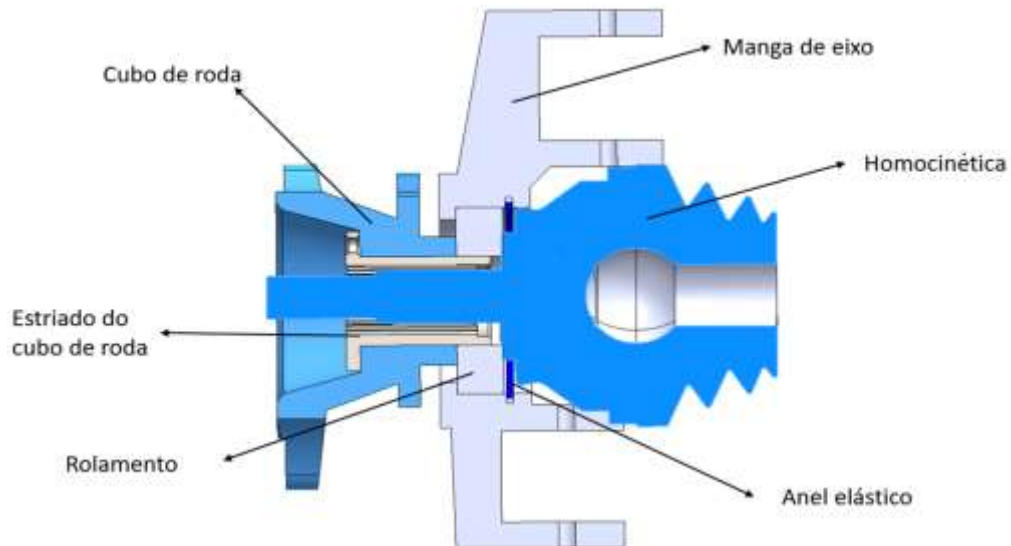
Figura 40 – Cubo de roda dianteiro X traseiro



Fonte: Autor, 2022

Na Figura 41, é apresentada uma vista em corte do sistema de cubos de rodas dianteiros com a montagem dos componentes que fazem o funcionamento para melhor evidenciar o funcionamento deste conjunto.

Figura 41 – Vista em corte conjunto cubo de roda dianteiro

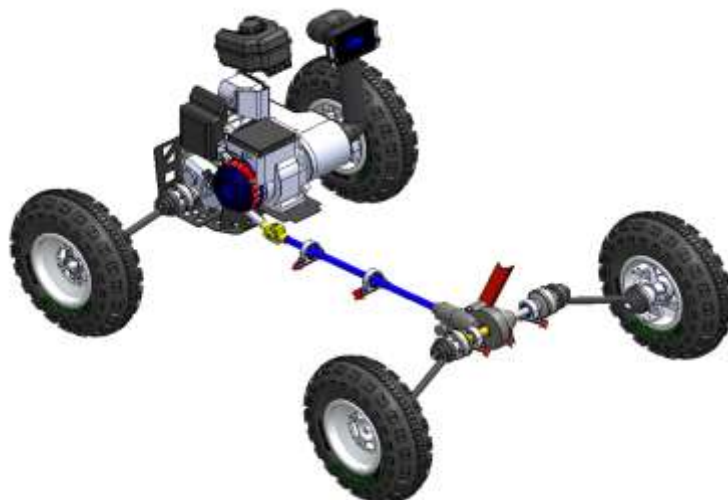


Fonte: Autor, 2022

4.4.4 Montagem completa do sistema

Após realizar o desenvolvimento do modelamento de todos os componentes envolvidos na proposta de transmissão 4x4, foi realizada a montagem completa do sistema no modelo CAD do projeto da equipe Sinuelo. A Figura 42 apresenta o conjunto de transmissão com sua montagem completa, porém, isolado. E a Figura 43 apresenta o conjunto montado no carro, destacando em amarelo o sistema 4x4.

Figura 42 – Sistema de transmissão em montagem isolada do chassis



Fonte: Autor, 2022

Figura 43 – Sistema de transmissão em montagem completa

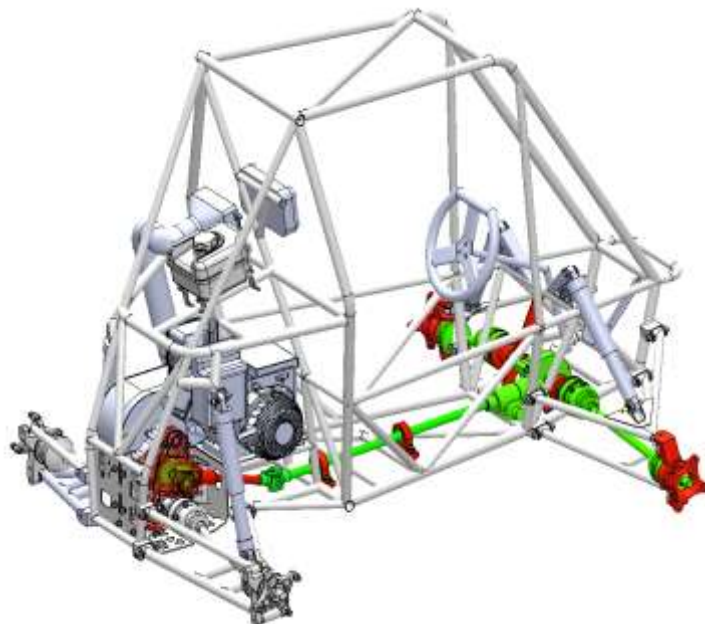


Fonte: Autor, 2022

4.5 RELAÇÃO DE ITENS E CUSTO TOTAL

Para facilitar a equipe no que se diz respeito à implementação do projeto, foi desenvolvido uma lista com os itens que poderão ser adquiridos no comércio e itens que deverão ser manufaturados específicos para o projeto. Nesta lista, foi levantado um preço aproximado de cada item, para com isso, chegar a um valor total aproximado de implementação. Também, para ilustrar essa diferença, a Figura 44 apresenta na cor verde os itens de comércio e em vermelho os itens manufaturados.

Figura 44 – Itens comprados (verdes) X itens manufaturados (vermelhos)



Fonte: Autor, 2022

Para a relação dos itens e o custo respectivo, na Tabela 2 é apresentada a lista para componentes comprados no mercado e seus valores aproximados, com base nos orçamentos atuais.

Tabela 2 – Lista de itens comprados e custo

Peça	Quantidade	Valor aproximado
Anel Elástico 75 mm	2	R\$ 17,00
Anel Elástico 25 mm	2	R\$ 8,00
Anel Elástico 53 mm	4	R\$ 20,00
Arruela M10	2	R\$ 0,75
Arruela M8	20	R\$ 5,00
Diferencial Honda ATV Fourtrax 420	1	R\$ 4.000,00
Engrenagem Cônicas John Deere	2	R\$ 240,00
Junta universal Mercedes Benz	1	R\$ 180,00
Parafuso M10	1	R\$ 3,75
Parafuso M8	20	R\$ 43,00
Pino Elástico 5 mm	1	R\$ 5,00
Porca M10 auto travante	1	R\$ 2,00
Porca M8 auto travante	20	R\$ 35,00
Rolamento 25 x 47 x 12	2	R\$ 53,00
Rolamento 25,4 x 51,7 5x 15,88	4	R\$ 95,00
Rolamento 35 x 72 x 17	2	R\$ 72,00
Semi eixo VW Gol 2017	2	R\$ 1.200,00
Tube AÇO SAE 1020 25,4 x4,3 x 740	1	R\$ 76,00
TOTAL		R\$ 6.055,50

Fonte: Autor, 2022

Já na Tabela 3, são apresentados os itens que deverão ser manufaturados, e da mesma forma, com seus respectivos custos, estimados através de orçamentos com empresas da região.

Tabela 3 – Lista de itens manufaturados e custo

Peça	Quantidade	Valor aproximado
Tampa da caixa redução - Liga de Al 6160 T-6	1	R\$ 1.500,00
Eixo menor engrenagem cônica - Aço 4340	1	R\$ 180,00
Eixo maior engrenagem cônica - Aço 4340	1	R\$ 230,00
Luva de acoplamento cardã - Aço 1020	1	R\$ 43,00
Eixo cardã menor - Aço 1020	1	R\$ 130,00
Suporte mancal - Aço 1020	4	R\$ 32,00
Alojamento do rolamento do mancal - Al 6160 T-6	4	R\$ 763,00
Manga direita - Al 6160 T-6	1	R\$ 589,00
Manga esquerda - Al 6160 T-6	1	R\$ 589,00
Cubos de roda dianteiros - Al 6160 T-6	2	R\$ 748,00
Suporte do diferencial maior - Aço 1020	1	R\$ 45,00
Suporte do diferencial menor - Aço 1020	1	R\$ 18,00
Adaptador semi eixo E. - Aço 1020	1	R\$ 66,00
Adaptador semi eixo D. - Aço 1020	1	R\$ 69,00
Acoplador do diferencial - Aço 1045	1	R\$ 230,00
TOTAL		R\$ 5.232,00

Fonte: Autor, 2022

O levantamento de custos para os itens comprados, foram baseados nos preços atuais de mercado, com pesquisas na *internet*, catálogos e lojas. Para os itens manufaturados, os custos foram calculados com base no custo da matéria prima do item, mais o custo da fabricação do mesmo, considerando a experiência de valores já gastos pela equipe em manufatura de componentes similares e com o orçamento de empresas parceiras que fornecem esse serviço de manufatura. Feito isso, foi possível chegar a um valor aproximado de implementação do projeto, considerando os 6.055,50 reais dos itens comprados e os 5.232 reais dos itens manufaturados, é dito que a equipe terá um custo aproximado de 11.287,50 reais.

CONCLUSÃO

Com base nos estudos realizados na primeira etapa do projeto, foi possível definir um conceito de transmissão que atendesse a expectativa da equipe no que se diz respeito ao seu plano de conceito, bem como os critérios pré estabelecidos. A definição do diferencial se mostrou eficaz em termos de aplicação no protótipo, mostrando trabalhar em condições muito aproximadas à sua aplicação original. Nas alterações da transmissão, para a adequação da relação do diferencial, foi possível chegar a uma variação de apenas 2% entre a rotação das rodas dianteiras e traseiras. Para minimizar ainda mais essa diferença, é sugerido que a equipe faça um estudo futuro da pressão nos pneus, podendo assim, compensar essa diferença com o diâmetro externo dos pneus, e logo, no seu perímetro.

No desenvolvimento do estudo, foi possível evoluir muito em relação aos primeiros esboços, com melhorias do sistema em geral, pensando em sua funcionalidade, montagem física e dinâmica veicular, desta forma, entregando um projeto de sistema 4x4 confiável, robusto e funcional. Porém, ainda é possível seguir com melhorias, estas poderão ser analisadas pela equipe, e definir as alterações a partir de acordo com o tempo disponível no cronograma. Uma das sugestões de trabalho complementar a este, é uma análise computacional de FEA, para entender melhor as tensões acumuladas no sistema, a fim de possibilitar uma maior vida útil, ou uma redução de massa em pontos específicos.

Entretanto, no final do estudo é possível perceber que os pontos negativos se sobressaem aos positivos, dito que o novo protótipo terá uma maior complexidade de design e de montagem, aumento no nível de ruídos, um aumento de massa estimado em 18,4 kg, além da dinâmica veicular afetada. Porém, esses pontos poderão ser analisados no futuro para que possam ser apropriadamente avaliados e tenham soluções implementadas com eficácia.

REFERÊNCIAS

- ABECON. **Chaveta mecânica: veja para que serve, principais tipos e aplicações.** São Paulo, 2021. Disponível em: <<https://www.abecom.com.br/chaveta-mecanica/>> Acesso em: 10 de novembro de 2022.
- AFFONSO, L. O. A. **Equipamentos Mecânicos: Análise de Falhas e Soluções de Problemas.** 3 ed. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2012.
- ANTUNES, I.; FREIRE, M. A. C. **Elementos de Máquinas.** São Paulo: Érica, 1998. (Coleção Estude e Use. Série Mecânica).
- ATV SAFETY. **What is na ATV?**, [2022]. Disponível em: <http://atvsafety.org/what-is-an-atv/>. Acesso em: 06 de novembro de 2022.
- BAJA SAE BRASIL. **Resultados Nacional 2022.** São Paulo: SAE, 2022. Disponível em: <<https://resultados.bajasaebrazil.online/22BR/>> Acesso em: 02 de novembro de 2022.
- BAJA SAE BRASIL. **Programas Estudantis / Baja SAE Brasil.** São Paulo: SAE, 2017. Disponível em: <https://saebrasil.org.br/programas-estudantis/baja-sae-brasil/> Acesso em: 11 de setembro de 2022.
- BERTO, V.; NAKANO, N. **A produção científica nos anais do Encontro Nacional de Engenharia de Produção: um levantamento de métodos e tipos de pesquisa.** Production, v. 9, n. 2, p. 65-75, 1999.
- CIPOLLA, G. **Desenvolvimento de caixa de redução para veículo Baja SAE.** São Paulo: Universidade Estadual Paulista, 2015.
- CROLLA, D. A. **Automotive engineering: powertrain, chasis system and vehicle body.** Oxford: Elsevier, 2009.
- FONSECA, J. J. S. **Metodologia da pesquisa científica.** Fortaleza: UECE, 2002.
- FRANCESCHI, A. D.; ANTONELLO, M. G. **Elementos de máquinas.** 1 ed. Santa Maria: Universidade Federal de Santa Maria, 2014.
- GAIOTTO, J. R. C. **Técnica 4x4: guia de condução fora de estrada.** Técnica 4x4, 2000.
- GIACOMAZZI, L. V. **Uma metodologia para caracterização mecânica de uma manga de termoplástico para semi-eixo homocinético.** 2017. 17 folhas. Monografia (Trabalho de Conclusão do Curso em Engenharia Mecânica) – Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2017.
- GIL, A. C. **Métodos e técnicas de pesquisa social.** 6. ed. Atlas, 2008.
- HALDERMAN, J. D. **Automotive technology.** 4. ed. Nova Jersey: Prentice Hall, 2012.

- HONDA. **Manual do Proprietário** – Fourtrax TRX420TM/FM. São Paulo: Honda, 2011.
- LECHNER, G.; NAUNHEIMER, H. et al. **Automotive transmissions**: Fundamentals, Selection, Design and Application. 2. ed. Berlim: Springer-Verlag, 1999.
- MARTINS, L. **Administração da produção**. São Paulo: Saraiva, 2002.
- MELCONIAN, S. **Elementos de máquinas**. 9. ed. São Paulo: Erica, 2009.
- MERCADO LIVRE. **Diferencial Dianteiro Honda Fourtrax 420 Até 2013**. São Paulo, Brasil. Disponível em: https://produto.mercadolivre.com.br/MLB-1559832239-diferencial-dianteiro-honda-fourtrax-420-ate-2013-_JM. Acesso em: 11 de setembro de 2022.
- MERCADO LIVRE. **Junta Universal Coluna Direção Mercedes Benz 1113 1313**. São Paulo, Brasil. Disponível em https://produto.mercadolivre.com.br/MLB-1596343727-kit-2-junta-universal-coluna-direcao-mercedes-benz-1113-1313-_JM#position=22&search_layout=stack&type=item&tracking_id=4246ab4a-6b3f-4e6f-a9cc-35aef99f0aed. Acesso em: 11 set. 2022.
- NICE, K. **Como funcionam os diferenciais**. Traduzido por HowStuffWorks Brasil. 2014. Disponível em: <https://auto.howstuffworks.com/differential3.htm> Acesso em 15 ago. 2022.
- NORTON, R, L. **Projeto de máquinas**: uma abordagem integrada. 2.ed. Porto Alegre: Bookman, 2004.
- NORTON, R. L. **Projeto de máquinas**: uma abordagem integrada. 4. ed. Porto Alegre: Bookman. 2013.
- POZELLI. **Pozelli engrenagens**. São Paulo. 2015. Disponível em: <http://www.pozelli.ind.br/>. Acesso em: 06 nov. 2022.
- PRODANOV, F. **Metodologia do trabalho científico**: métodos e técnicas da pesquisa e do trabalho acadêmico 2. ed. Novo Hamburgo: Feevale, 2013.
- PUGH, S. **Total Design: Integrated Methods for Successful Product Engineering**. Boston: Addison-Wesley, 1991.
- RAMESH, G.; SWATHI, B. **Design and analysis of universal coupling in power transmission**. AIJREAS, v. 1, n. 10, p. 136-151, oct. 2016. Disponível em: <http://publications.anveshanaindia.com/wp-content/uploads/2016/10/DESIGN-AND-ANALYSIS-OF-UNIVERSAL-COUPPLING-IN-POWER-TRANSMISSION.pdf>. Acesso em: 14 set. 2022.
- RAZÃO AUTOMÓVEL. **Como funciona um diferencial?** São Paulo. 2011. Disponível em: <https://www.razaoautomovel.com/2011/11/autopedia-como-funciona-um-diferencial> Acesso em: 06 de novembro de 2022.
- RIBAS, et al. **Transmissões presentes em tratores agrícolas no Brasil**. Ciência Rural, v.40, n.10, pp.2206-2209, out 2010. Disponível em:

<https://www.scielo.br/j/cr/a/SqCchqKpsRFHNFHtW8cGF4f/abstract/?lang=pt>.
Acesso em 20 ago. 2022.

- ROY, B.; BOUYSSOU, D. A. **Multicritère à la décision: méthodes et cas**. Paris: Economica, 1993.
- SAMPIERI, R. H.; COLLADO, C. F.; LUCIO, M. P. B. **Metodologia de pesquisa**. 5. ed. Porto Alegre: AMGH, 2013.
- SANTOS, V. A. dos. **Manual prático da manutenção industrial**. São Paulo: Ícone, 2007.
- SCLATER, N. **Mechanisms and mechanical devices: sourcebook**. 5. ed. Nova Iorque: McGraw-Hill, 2011.
- SKF. **Rolling Bearings**. São Paulo, Brasil, 2022.
- SOUSA, H. E. A. **Projeto de uma caixa de redução fixa para veículo mini-baja do IFPB**. Monografia (Graduação) – Curso de Tecnologia em Automação Industrial. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba, João Pessoa, 2010.
- TRIVIÑOS, A. N. da S. **Introdução à pesquisa em ciências sociais: a pesquisa qualitativa em educação**. São Paulo: Atlas, 2008.
- WEIHERMANN, H. W. **Estudo sobre aplicação de transmissão continuamente variável para veículos de pequeno porte**. Universidade Federal de Santa Catarina, 2015.
- ZANELLA, L. C. H. **Metodologia da pesquisa**. Florianópolis: SEAD/UFSC, 2006.
- ZOTTI, D.; LENZ, M. D. H.; SOUZA, R. R. de. **Estudo de propostas para um sistema de tração 4x4 em um veículo do tipo baja SAE**. Destaques acadêmicos, Lajeado, v. 12, n. 4, p. 253-265, 2020.