

CURSO DE ENGENHARIA MECÂNICA

Leandro Stein

PROJETO DE UM SISTEMA DE TRAÇÃO 4X4 PARA UM VEÍCULO *OFF-ROAD* DO TIPO BAJA

Santa Cruz do Sul

2020

Leandro Stein

PROJETO DE UM SISTEMA DE TRAÇÃO 4X4 PARA UM VEÍCULO OFF-ROAD DO TIPO BAJA

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao curso de Engenharia Mecânica da Universidade de Santa Cruz do Sul – UNISC para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Mecânica.

Orientador: Prof. Dr. Eng. Fernando Sansone de Carvalho

Santa Cruz do Sul

2020

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus e a minha família, em especial aos meus pais, e a minha esposa pela paciência, apoio e compreensão durante o desenvolvimento deste trabalho.

Agradeço também a todos os colegas e amigos da Equipe Baja de Galpão – UNISC pelas oportunidades e ensinamentos adquiridos.

RESUMO

O estudo a seguir trata do desenvolvimento de um projeto para a adaptação de um veículo *off-road* do tipo baja, originalmente com sistema de tração apenas em duas rodas, em um veículo onde haja a possibilidade, através de um mecanismo de acoplamento com comando acessível ao piloto dentro do carro, da utilização de tração nas 4 rodas. Com isso podendo o piloto durante o percurso da prova optar pelo sistema que torna o protótipo mais efetivo na transposição dos obstáculos. Proporcionando mais tração com o sistema acoplado afim de transpor terrenos de baixo atrito como lama, cascalhos ou pedriscos soltos em aclives ou para provas específicas de tração. Não prejudicando o desempenho em provas onde a agilidade em manobras se torna algo essencial, podendo realizar as mesmas com o sistema desacoplado.

Palavras chave: Tração. 4x2. 4x4. AWD. Baja.

ABSTRACT

The following study deals with the development of a project for the adaptation of an off-road vehicle of the baja type, originally with two-wheel drive system, in a vehicle where there is the possibility, through a coupling mechanism with control accessible to the driver inside the car, of the use of 4-wheel drive. With this the pilot can choose the system that makes the prototype more effective in the transposition of obstacles. Providing more traction with the coupled system in order to transpose low friction terrain such as mud, gravel or loose boulders on slopes or for specific tensile tests. Not impairing performance in tests where agility in maneuvers becomes something essential, being able to perform the same with the uncoupled system.

Keywords: Traction. 4x2. 4x4. AWD. Baja.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Organograma 1 - Desenvolvimento da equipe.	14
Figura 2 - Veículo 4x2	21
Figura 3 - Veículo 4x4	22
Figura 4 - Eixo cardã.	23
Figura 5 – SISTEMA DE TRANSMISSÃO POR CORRENTE	24
Figura 6 - Inércias rotacionais de um veículo	31
Figura 7 - Transformação de inércia	33
Figura 8 - Croqui proposta 1	37
Figura 9 - Croqui proposta 2	37
Figura 10 - Croqui proposta 3	38
Figura 11 - Croqui proposta 4	39
Figura 12 - Fragmento Plano de Conceito e Peças de Múltipla	40
Figura 13 - Matriz de decisão do tipo de transmissão	41
Figura 14 – Acoplamento roda dentada traseira.	42
Figura 15 – Corrente e proteção.	43
Fotografia 16 - engrenagens planetárias	44
Figura 17 - Sistema de acoplamento	45
Figura 18 - Conjunto de transmissão	45
Figura 19 – Obtenção da inercia rotacional.	46
Figura 20 – Tabela inércias 1.	46
Figura 21 – Tabela inércias 2.	47
Figura 22 – Comparativo entre angulos de esterçamento.	48
Figura 23 – Comparativo torque de frenagem.	49
Figura 24 – Projeto final em 3D.	51

LISTA DE SÍMBOLOS

N.m	Newton metro
kg/m ²	Quilogramas por metro cuadrado
kg.cm ²	Quilogramas centímetro cuadrado
rad/s	Radiano por segundo
rad/s ²	Radiano por segundo cuadrado
m/s ²	Metro por segundo cuadrado
mm	Milímetro

LISTA DE SIGLAS

ANSI	<i>American National Standards Institute</i>
SAE	<i>Society Automotive Engineers</i>
CDSBSR	Collegiate Design Series Baja SAE Rules
CAD	<i>Computer Aided Design</i>
CAE	<i>Computer Aided Engineering</i>
SIG	Sistema Integrado de Gestão
AWD	<i>All-Wheel Drive</i>
4WD	<i>Four wheel drive</i>
RWD	<i>Rear Wheel Drive</i>
FR	<i>Front right</i>
FL	<i>Front left</i>
RR	<i>Rear right</i>
RL	<i>Rrear left</i>
ECDR	Engrenagens Cilíndricas de Dentes Retos
CVT	<i>Contiuously Variable Transmission</i>
OEM	<i>Original Equipment Manufacturer</i>
CG	Centro de gravidade

Sumario

1 INTRODUÇÃO.....	12
1.1 TEMA	12
1.1.1 COMPETIÇÃO BAJA SAE	12
1.1.2 EQUIPE BAJA DE GALPÃO-UNISC	13
1.2 PROBLEMA	15
1.3 HIPÓTESE.....	15
1.4 OBJETIVOS.....	16
1.4.1 OBJETIVOS GERAIS.....	16
1.4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	16
1.5 JUSTIFICATIVA	16
1.6 REFERENCIAL TEÓRICO	19
1.6.1 PNEUS.....	19
1.6.2 TRANSMISSÃO.....	20
1.6.3 TIPOS DE TRAÇÃO.....	20
1.6.4 EIXO CARDÃ.....	22
1.6.5 TRANSMISSÃO POR CORRENTE	23
1.6.6 DIFERENCIAL.....	24
1.6.7 INÉRCIA ROTACIONAL.....	24
1.6.8 MATRIZ DE DECISÃO.....	25
1.7 METODOLOGIA.....	25
1.7.1 CARACTERIZAÇÃO DA PESQUISA.....	25

1.7.2 CLASSIFICAÇÃO DA PESQUISA	27
1.7.3 DEFINIÇÃO DA METODOLOGIA	27
2 PROJETO TRANSMISSÃO 4X4	36
2.1 DEFINIÇÃO DE PROPOSTAS PARA O NOVO SISTEMA	36
2.1.1 PRIMEIRA PROPOSTA	36
2.1.2 SEGUNDA PROPOSTA	37
2.1.3 TERCEIRA PROPOSTA.....	38
2.1.4 QUARTA PROPOSTA	38
2.2 SOLUÇÃO ADOTADA PARA PROJETO	39
2.3 PROJETAR COMPONENTES DO SISTEMA.....	41
2.3.1 TRANSMISSÃO TRASEIRA.....	42
2.3.2 TRANSMISSÃO	43
2.3.3 DIFERENCIAL.....	43
2.4 INÉRCIA ROTACIONAL	46
2.5 REALIZAR MUDANÇAS NO PROJETO CAD.....	47
2.5.1 SUSPENSÃO E DIREÇÃO.....	47
2.5.2 FREIOS	48
2.5.3 DESIGN E ERGONOMIA	49
3 CONCLUSÃO	52

1 INTRODUÇÃO

1.1 Tema

Este trabalho tem seu tema definido dentro da Engenharia Automotiva, abordando a área de *powertrain* de veículo *off-road* tipo baja SAE.

A SAE (*Society Automotive Engineer*) Sociedade de Engenheiros da Mobilidade em tradução livre, tem por iniciativa propagar o conhecimento nas diversas áreas da engenharia da mobilidade em todo o mundo, visando o aperfeiçoamento e a habilitação dos alunos da área através de seus programas estudantis. O programa Baja SAE é um deles, nele os alunos dos cursos de Engenharia devem fabricar um veículo *off-road* do tipo baja do zero, devem criar, projetar, desenvolver, para participar de competições onde, além do desempenho do veículo, também são avaliados os projetos, colocando assim estes alunos em contato com adversidades que surgirão quando acessarem ao mercado de trabalho, tornando-os profissionais mais qualificados.

Neste trabalho serão realizadas alterações no protótipo BG18 da Equipe Baja de Galpão – UNISC.

O período de realização deste trabalho é entre 26 de fevereiro do ano de 2020 e 16 de novembro deste mesmo ano.

1.1.1 Competição Baja SAE

As competições são divididas em quatro partes. Primeiro são realizadas as provas de segurança, onde os juízes avaliam se o protótipo está de total acordo com o regulamento e se o mesmo oferece condições de segurança para realizar as provas dinâmicas.

Depois são realizadas as apresentações dos projetos desenvolvidos pelos alunos de cada instituição, esta possui um tempo limite para que sejam feitas as apresentações e mais um tempo para que os avaliadores questionem caso haja dúvidas.

Em seguida as provas dinâmicas desafiam os veículos medindo seu desempenho, analisado durante as provas. Na aceleração e retomada as equipes tentam atingir os melhores tempos possíveis; já na prova de tração, mede-se a distância que é percorrida com um peso atrelado ao carro; manobrabilidade, é cronometrado o tempo que cada piloto leva para contornar uma pista sinuosa. Prova de suspensão, que avalia o tempo dos competidores em um circuito cheio de obstáculos e é uma das mais difíceis por exigir que o protótipo seja levado constantemente ao seu limite; *Super Prime*, uma competição do tipo “mata-mata”, em que dois carros competem entre si em uma volta na pista e os perdedores são eliminados. Enduro, para finalizar a competição, uma prova em que todos os veículos se enfrentam em uma pista com vários obstáculos, durante 4 horas consecutivas, na qual são contabilizados os números de voltas que cada equipe consegue completar ao final deste tempo.

Cada etapa da competição tem uma pontuação predefinida e aplicada as equipes conforme a qualificação e no final o campeão é definido pela soma delas.

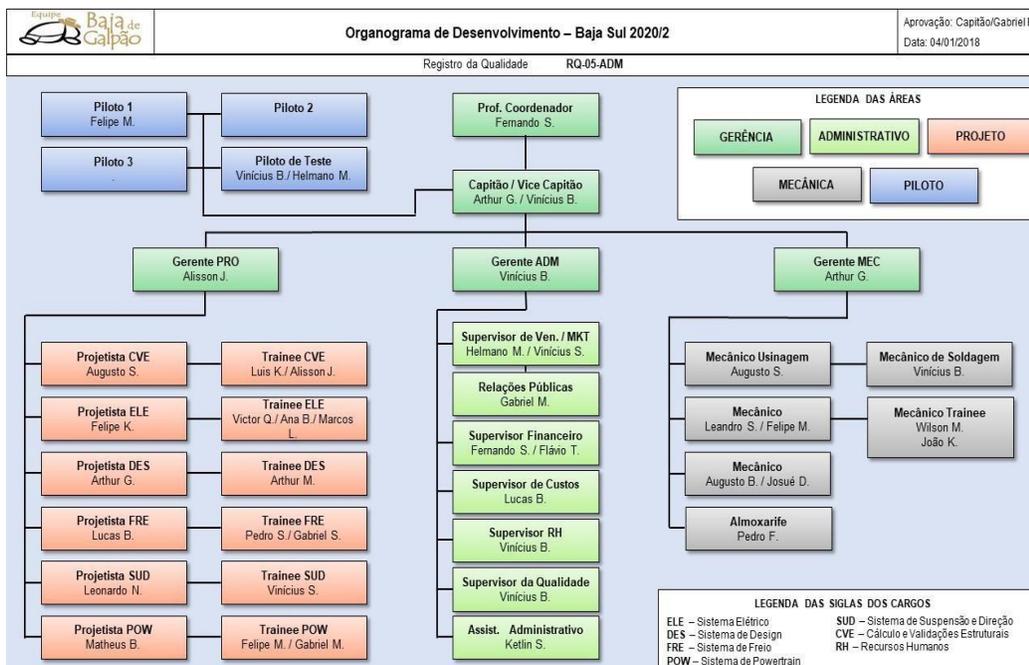
A universidade de Santa Cruz do Sul é representada nas competições pela equipe Baja de Galpão – UNISC.

1.1.2 Equipe Baja de Galpão-UNISC

A Equipe Baja de Galpão – UNISC é participante do programa BAJA SAE e compete desde o ano de 2007. E em 2020 conta com 23 participantes alunos dos cursos de Engenharia da Universidade de Santa Cruz do Sul – UNISC.

Para maior praticidade e controle durante o projeto e a fabricação do Baja o mesmo é dividido em três grandes áreas, como demonstrado no Organograma 1.

Organograma 1 - Desenvolvimento da equipe.



Fonte: Equipe Baja de Galpão – UNISC, 2020.

1.1.2.1 Área de projeto

É responsável pelo dimensionamento, modelo virtual e validação do veículo, contando com o auxílio de *softwares* do tipo *Computer Aided Design* (CAD) e *Computer Aided Engineering* (CAE).

1.1.2.2 Área administrativa

Responsável por prover a infraestrutura de apoio às atividades de projeto e mecânica. Para isso dispõe de ferramentas e documentos específicos do Sistema Integrado de Gestão da equipe (SIG).

1.1.2.3 Área mecânica

Fica encarregada pela fabricação de componentes, montagem e manutenção do carro.

Durante estes 13 anos a equipe desenvolveu 6 protótipos e participou de todas as competições onde os resultados obtidos demonstram a evolução

constante mantendo o projeto entre os quatro primeiros colocados no campeonato regional desde 2015, sagrando-se campeão no ano de 2016 e pelo nacional vindo de um 22º lugar em 2018, ficando em 6º lugar no ano seguinte e chegando a conquista do campeonato em 2020, habilitando a equipe a uma participação inédita em uma etapa mundial.

1.2 Problema

Visando atender ao regulamento da competição internacional, e melhorar a tração do protótipo na transposição de obstáculos e provas nas quais ela é um fator importante, será desenvolvido então, o projeto de um sistema de tração nas quatro rodas.

Porém, para essa finalidade, faria-se necessário o uso de um sistema em que a força motriz fosse distribuída nas quatro rodas de maneira igual e constante, conhecido como sistema bloqueado, fazendo com que todas as rodas girem ao mesmo tempo mesmo estando uma ou mais sem, ou com pouco, contato com o solo.

No entanto durante a competição existem provas onde o veículo é avaliado quanto a sua agilidade em percursos extremamente sinuosos e contorno de cones, nesses casos tal sistema prejudicaria os resultados e o endurecimento de resistência que em alguns trechos o sistema seria útil e em outros seria um limitante ou até um empecilho para a transposição dos obstáculos. Sendo assim qual o sistema deve ser desenvolvido a fim de alcançar os melhores resultados nos diversos obstáculos transpostos durante as provas?

1.3 Hipótese

Para a definição de qual sistema servirá da melhor forma para alcançar o objetivo de resolução do problema, os sistemas serão avaliados em uma ferramenta de análise do tipo matriz de tomada de decisão.

Espera-se que a utilização do sistema 4x4 com sistema de acoplamento/desacoplamento seja o que reúna os maiores benefícios para o alcançar os melhores resultados nas competições.

1.4 Objetivos

Neste tópico serão expostos os objetivos gerais e específicos deste trabalho.

1.4.1 Objetivos gerais

Este trabalho tem o objetivo de desenvolver o projeto de um sistema que transmita o torque gerado pelo propulsor de maneira a tracionar todas as rodas do protótipo BG18 para melhorar sua força trativa e torná-lo mais ágil e eficaz na transposição dos obstáculos, afetando o mínimo possível sua dinâmica veicular.

1.4.2 Objetivos específicos

Para atingir o objetivo proposto foram definidos os seguintes objetivos específicos:

- Estudar dentre as opções de sistema tração nas 4 rodas, qual atende satisfatoriamente à utilização proposta para o veículo;
- Atender ao plano de conceito da equipe;
- Propor soluções com boas práticas de engenharia para desenvolver o projeto de todas as partes necessárias do sistema escolhido.

1.5 Justificativa

Conforme a CDSBSR *Revision B (Collegiate Design Series Baja SAE Rules)*, que regulamenta as competições internacionais, se tornará obrigatório às equipes o uso de um sistema de tração nas 4 rodas *Four wheel*

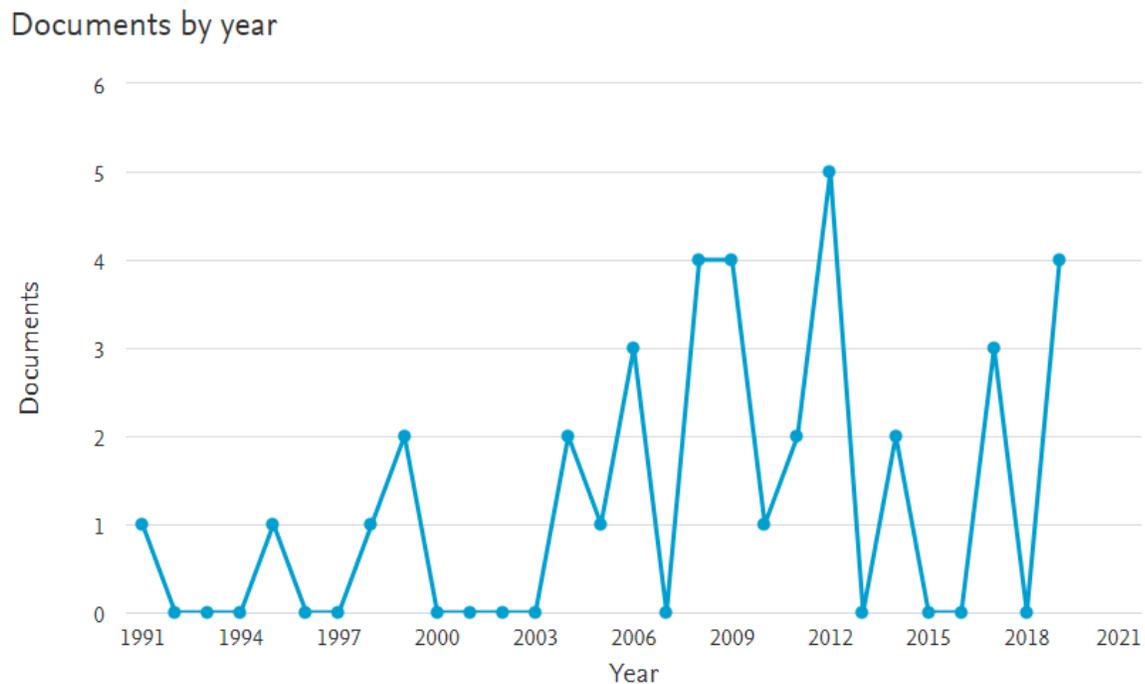
drive/ All-Wheel Drive (AWD/4WD) no qual a força motriz é enviada para as 4 rodas.

Na equipe Baja de Galpão – UNISC, os protótipos construídos desde 2007 até os dias atuais, possuíam apenas tração nas rodas traseira *Rear Wheel Drive (RWD)*, sendo assim, não estaria apta a participar no evento internacional.

Visando adaptar-se ao regulamento internacional este trabalho se justifica quando sua execução pode resultar em uma solução de engenharia que satisfaça as exigências impostas pela SAE em suas competições.

Segundo GAIOTTO (2000) veículos com tração nas 4 rodas tem menor possibilidade de perda de tração em pisos com pouca aderência, como terrenos úmidos, barrentos ou arenosos, se comparemos com veículos 4x2, dificultando assim que o veículo pare.

O estado da arte deste tema foi observado através de pesquisas na base de dados *Scopus* (2020) e foi possível verificar a quantidade de publicações feitas com a palavra-chave “4x4 *conversion*” e os resultados estão apresentados no gráfico 1, assim pode ser notado que o assunto foi abordado primeiramente em uma publicação no ano de 1991 e vem sendo apresentado por várias vezes - Publicações referentes à conversão 4x4 no decorrer dos anos até 2019.

Gráfico 1 - Publicações referentes à conversão 4x4 no decorrer dos anos

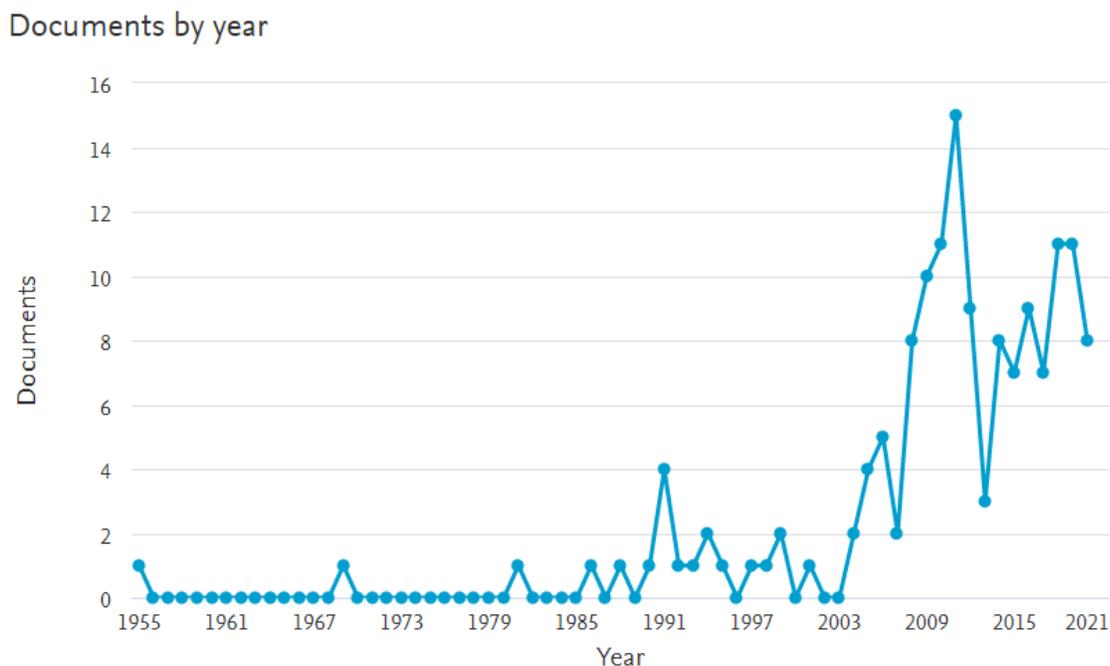
Fonte: SCOPUS, 2020.

Nota-se que a partir do ano de 2004 existe uma maior evolução nas pesquisas sobre o assunto e tendo seu ápice, até o presente ano, em 2012 com 5 publicações.

Realizou-se também uma pesquisa sobre o assunto de transmissão 4x4, usando como palavra-chave “4x4 *transmission*” e apresentou através do

gráfico 2, o número de pesquisas realizadas e que apesar de ter seu primeiro no ano de 1955, ele teve um aumento de interesse nas últimas 3 décadas.

Gráfico 2 - Publicações referentes à transmissão 4x4 no decorrer dos anos



Fonte: SCOPUS, 2020.

1.6 Referencial teórico

Neste capítulo são apresentados alguns conceitos teóricos estudados em livros, periódicos e base de dados relacionados aos sistemas de tração, estas informações servirão para uma melhor definição do sistema que melhor atenderá ao propósito deste trabalho e como desenvolvê-lo.

1.6.1 Pneus

São elementos de extrema importância para a transmissão das forças dinâmicas entre o automóvel e o piso assim como reduzir a transferência de vibrações geradas por imperfeições da pista (REIMPELL, 2001).

A tração de um pneu está proporcionalmente ligada ao carregamento ao qual está submetido, porém não de forma linear, então dois

pneus de mesmo perfil submetidos a um carregamento similar tem maior tração do que do que se fossem submetidos a dois carregamentos diferentes com soma igual (GILLESPIE, 1992).

1.6.2 Transmissão

É um conjunto de elementos que asseguram que a potência do motor seja transmitida a todos os mecanismos a ele empregados (RIBAS E.A., 2010).

Em NAUNHEIMER (2011) são apresentados sistemas de transmissão automotivos de forma bastante ampla, explanando processos de fabricação e testes de vários elementos destes sistemas, além das suas evoluções com o passar do tempo. Tendo seu principal foco, no entanto, está em projetos de transmissão, na escolha de suas relações, diferenciais, árvores, embreagens e caixas de transmissão.

1.6.3 Tipos de tração

A transmissão do torque do propulsor para as rodas do veículo pode ser dividida em três sistemas distintos, com relação ao número de rodas que recebem este torque, sendo eles 4x2, 4x4 e AWD, que serão aprofundados em seguida.

1.6.3.1 Sistema 4x2

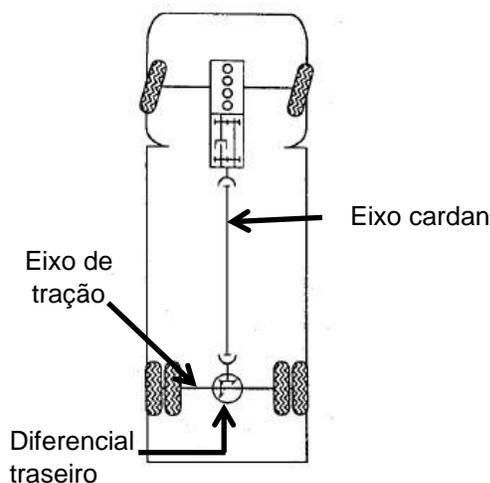
O primeiro valor é referente ao número de rodas que o veículo possui. O segundo valor é referente a quantidade desta que exercem tração. Trata-se então de um veículo de quatro rodas das quais duas são motrizes.

Um automóvel com este sistema pode ser definido como de Tração dianteira, caso as rodas que recebem o torque do motor sejam as anteriores,

ou tração traseira se o mesmo ocorrer apenas nas rodas posteriores (CROLLA, 2009).

Este sistema é utilizado pela maioria dos veículos de leve porte e uso rodoviário. Suas vantagens são: Sua leveza, simplicidade e tração, em geral suficiente, para que o torque seja transmitido ao solo de forma confiável (LECHNER e HARALD, 1999).

Figura 2 - Veículo 4x2



Fonte: Adaptado de LECHNER e HARALD, (1999).

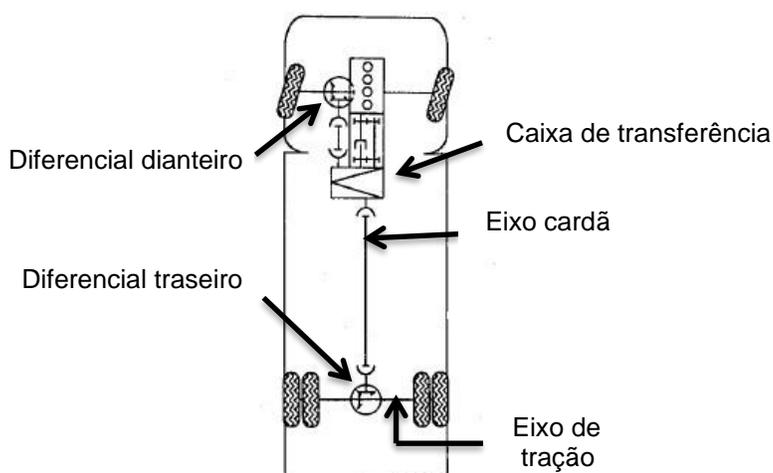
1.6.3.2 Sistema AWD

Sistema que se refere a veículos com tração distribuída nas quatro rodas de modo integral, ou seja, não pode ser desacoplado. A proporção do torque a ser entregue entre os eixos dianteiros e traseiros pode mudar dependendo do projeto (CROLLA, 2009).

1.6.3.3 Sistema 4x4

Refere-se também a veículos com tração nas 4 rodas, porém em veículos com sistema 4x4 as rodas recebem o torque do propulsor de forma síncrona e pode ser realizado o desacoplamento, de forma automática ou manual, passando assim a operar da mesma forma de um 4x2. Este sistema é geralmente aplicado em veículos utilitários ou para uso fora de estrada pois proporciona uma melhor aderência a diferentes tipos de estradas.

Figura 3 - Veículo 4x4

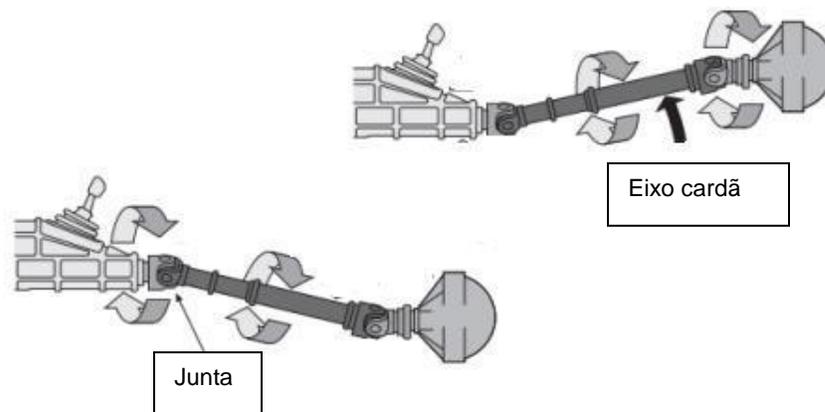


Fonte: Adaptado de LECHNER e HARALD, (1999).

1.6.4 Eixo cardã

O eixo cardã ou eixo de transmissão, tem como principal finalidade a transmissão da potência ou movimento rotatório entre dois sistemas. Devido a forma como é requisitado, às cargas e movimentos aos quais este elemento é submetido, torna-se a mais suscetível falha por fadiga (AFFONSO, 2012).

Figura 4 - Eixo cardã.



Fonte: Adaptado de Weihermann (2015).

1.6.5 Transmissão por corrente

Este tipo de sistema de transmissão tem seu padrão normatizado pela ANSI (do inglês *American National Standards Institute*) ou Instituto Americano de Padrões.

Conforme Budinas e Nisbett (2011), este sistema de transmissão possui como principais características, uma vida útil relativamente longa, uma relação de transmissão constante por não permitir escorregamento e a capacidade de transmitir torque para mais de um eixo a partir de um único eixo motor e neste caso faz-se necessário que todas as rodas dentadas estejam em um mesmo plano (MELCONIAN, 2009)

Figura 5 – SISTEMA DE TRANSMISSÃO POR CORRENTE



Fonte: <http://www.enco.com.br/>

1.6.6 Diferencial

Conforme KARIN NICE (2014), ele é o elemento que em grande parte dos veículos o torque recebe a última transformação antes de chegar as rodas. E também diz ter três funções principais dos pontos

- Direcionar a força do motor para as rodas;
- É o último mecanismo de redução da velocidade angular na transmissão do veículo antes de chegar as rodas;
- Permitir que ambas as rodas deste eixo em que se encontra o diferencial transmita uma potência para o solo em velocidades diferentes.

O nome diferencial vem justamente pela característica apresentada neste último ponto.

1.6.7 Inércia rotacional

A descrição de inércia surgiu como uma ideia com Galileu Galilei na tentativa de explica-la, no entanto foi Isaac Newton que formulou a primeira lei do movimento dos corpos, em sua obra publicada no final do século XVII, conhecida como Princípio da Inércia, com a sentença: “Todo corpo continua em seu estado de repouso ou de movimento uniforme em uma linha reta, a

menos que seja forçado a mudar aquele estado por forças aplicadas sobre ele” NEWTON, (1999).

A inércia rotacional é dependente da massa de um objeto. Quanto maior a distância entre a maior concentração de massa de um corpo e seu eixo de rotação, maior será sua inércia rotacional. Ou seja, depende exclusivamente da distribuição da massa em relação ao eixo de giro (HEWITT, 2015).

1.6.8 Matriz de decisão

Esta ferramenta viabiliza a tomada de decisão dentre duas ou mais alternativas através da avaliação de até cinco critérios destas.

Para PUGH (1991), é uma ferramenta para tomar uma decisão considerando todos critérios de grande relevância.

Roy *et al.* (1993), define que seu uso abrange quatro problemáticas: encontrar a melhor alternativa, agrupar as alternativas dentro de classes bem definidas, ranquear as alternativas e descrever como cada alternativa atende a todos os critérios simultaneamente.

1.7 Metodologia

Este capítulo apresenta a classificação de qual tipo de pesquisa foi utilizado neste trabalho, bem como os métodos científicos utilizados e as fases de pesquisa que foram seguidas na execução desse trabalho, a fim de alcançar os objetivos preestabelecidos.

1.7.1 Caracterização da pesquisa

A metodologia pode ser entendida por um estudo, compreensão e avaliação dos métodos disponíveis para a construção de uma pesquisa.

Tratando-se de nível aplicado, a metodologia irá examinar, descrever e avaliar os métodos e as técnicas de pesquisa que poderão ajudar na coleta e continuação das informações, tendo como pretensão encaminhar e resolver os problemas apresentados na pesquisa (SAMPIERI, 2013).

A natureza de um trabalho pode ser classificada como básica ou aplicada. Tem-se por básica a pesquisa que gera conhecimentos novos e significativos para o avanço da ciência, porém sem aplicação prática, envolvendo verdades e interesses de cunho universal. Para aplicada, se classificam as pesquisas que objetivam a geração de conhecimentos com aplicação prática, almejando obter soluções para problemas específicos, envolvendo, assim verdades e interesses locais (PRODANOV & DE FREITAS, 2013).

Segundo a forma de abordar o problema, classificada em quantitativa, pelo fato dos dados obtidos a através de *softwares* serem numéricos e necessitam das técnicas estatísticas para serem interpretados, já do ponto de vista de seus objetivos, podendo ser classificada em pesquisa exploratória, pois busca-se familiarizar com um o assunto muito específico e assume a forma de estudo de caso (GIL,2008).

As pesquisas descritivas, por sua vez, têm por objetivo descrever criteriosamente os fatos e fenômenos de determinada realidade, de forma a obter informações a respeito daquilo que já se definiu como problema a ser investigado (TRIVIÑOS, 2008).

A pesquisa experimental envolve como o próprio nome diz um experimento, onde variáveis a serem analisadas são controladas pelo usuário, interferindo diretamente no resultado (ZANELLA, 2006).

Ela é também classificada como uma simulação, pelo uso de técnicas computacionais em função do método utilizado para simular o comportamento do sistema a partir dos modelos matemáticos (BERTO e NAKANO, 1999).

De acordo com, a pesquisa-ação presume uma participação planejada na problemática a ser investigada pelo pesquisador. Apresentando

metodologia sistemática, visando transformar uma realidade em questão, a partir do seu entendimento, conhecimento e comprometimento para a ação do grupo ou indivíduo envolvido na pesquisa (FONSECA, 2002).

1.7.2 Classificação da pesquisa

Este trabalho possui uma metodologia de trabalho de natureza aplicada por possuir o intuito de resolver o problema apresentado de forma prática. O problema será abordado de forma mista, pois sendo quantitativa e qualitativa a pesquisa, proporciona uma maior obtenção de dados do que sendo estas realizadas em separado.

Quanto ao ponto de vista dos objetivos esta pesquisa classifica-se como exploratória, pelo fato que se faz necessário realizar análises, desenvolver hipóteses visando solucionar o problema

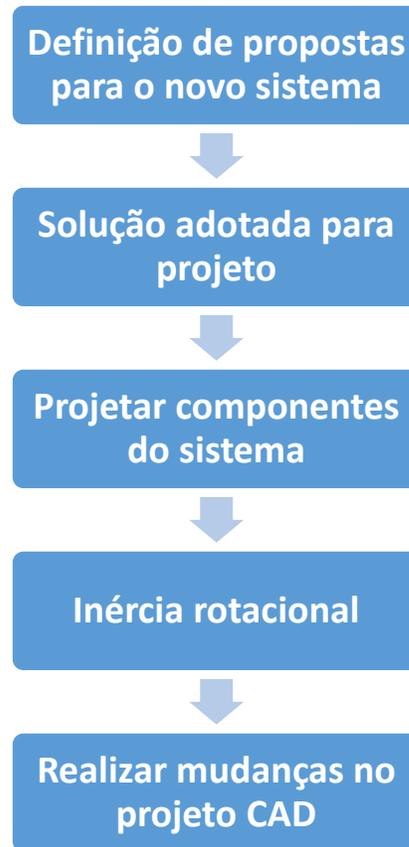
Os procedimentos utilizados são a pesquisa bibliográfica para o conhecimento dos conceitos utilizados, pesquisa documental e pesquisa-ação, pois pretende-se a participação planejada e resolução do problema em questão.

E ainda, do ponto de vista dos procedimentos técnicos utilizados, classifica-se entre pesquisa experimental e de simulações.

1.7.3 Definição da metodologia

Um fluxograma com as etapas de aplicação da metodologia é apresentado no fluxograma abaixo e suas etapas serão detalhadas no capítulo da metodologia.

Fluxograma 1 - Metodologia



Fonte: Autor (2020).

1.7.3.1 Definição de propostas para o novo sistema

São desenvolvidos alguns pré-projetos ou esboços em conjunto com a equipe de maneiras a resolver o problema, sendo um deles definido como solução a ser adotada pela gerencia da equipe.

1.7.3.2 Solução adotada para projeto

A solução adotada é definida através de uma matriz de decisão pela gerencia e tem sequência com o desenvolvimento dos componentes em software 3D.

1.7.3.3 Desenvolver sistema em CAD

Nesse passo será realizado o desenvolvimento do sistema, Através de boas práticas de Engenharia, seguindo o plano de conceito da equipe e utilizando um software de desenho CAD 3D, para isto será utilizado o software SolidWorks® 2018. Esta etapa se dá após a tomada de decisão sobre qual o sistema atende de melhor forma a finalidade do protótipo.

1.7.3.3.1 Plano de conceito

O conceito da equipe é baseado em veículos off-road que possuam tração nas quatro rodas, permitindo o acoplamento da tração dianteira quando conveniente. Este conceito não prevê atributos de um veículo para venda em larga escala e sim em um baja de competição off-road que seja campeão da competição regional sul, alcance as 3 primeiras colocações na competição nacional e as 10 primeiras na mundial. As alterações focam em um carro que não necessite de grandes mudanças para a implementação de um sistema 4WD, mantendo parâmetros do veículo 4x2, como caixa de transmissão e motor centralizados, além de semieixos de mesmo comprimento e intercambiáveis, assim como pinças e discos de freio traseiros. Além disso, o veículo deve ser de fácil fabricação, de baixo custo, seguro, ergonômico, confortável, com carenagens atraentes, com ótima dirigibilidade, aceleração, alta velocidade final, sem perda de força, com baixo nível de vibrações e resistente. Também deve ser de fácil operação e uso das informações do carro exibidos ao piloto. O veículo deve ficar entre os 2 primeiros colocados em cada prova dinâmica na competição regional. O carro deve atender todas

as especificações de segurança (integridade do chassi e confiança na frenagem) em detrimento de outros aspectos, se for o caso.

1.7.3.4 Cálculo inércia rotacional do sistema

Após o sistema ser projetado e avaliado pelo *software* 3D, obtêm-se as massas respectivas do sistema e com dados sobre o veículo já existentes no acervo da equipe será possível então o cálculo da inércia rotacional de todo sistema de *powertrain* do veículo podendo ser realizadas mudanças caso se façam necessárias.

Para que ocorra uma aceleração ou desaceleração angular em uma inércia rotacional, é necessário aplicar um momento (M) apresentado na equação (1) a seguir.

$$M = J \alpha \quad (1)$$

Em que:

M = Torque [N.m];

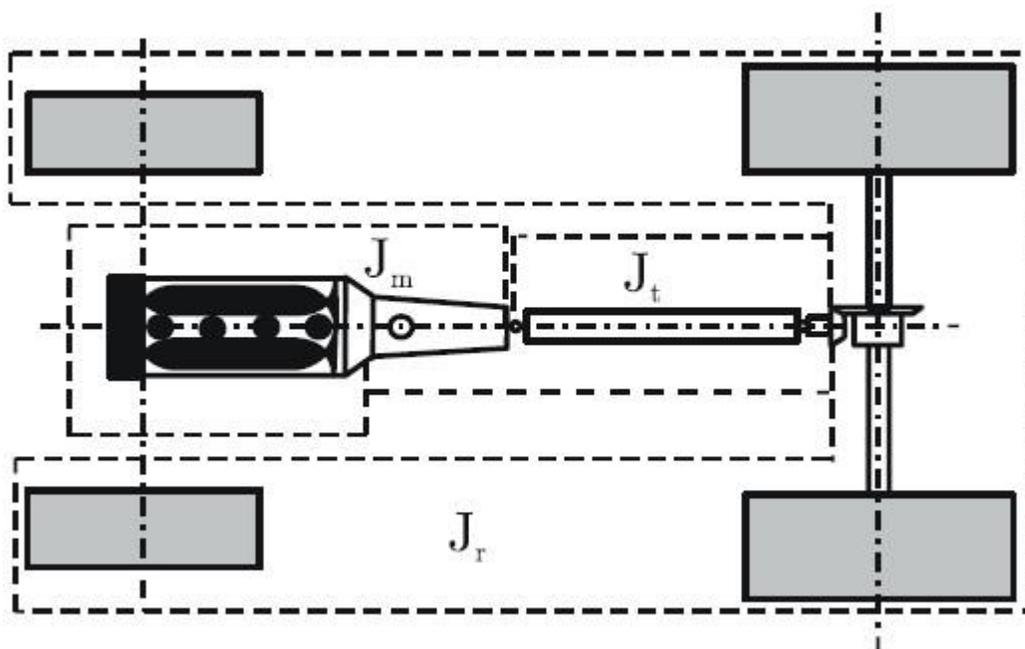
J = Inércia de rotação, proporcional a massa e a geometria da peça girante [kg/m²];

α = Aceleração angular [rad/s²].

No caso do protótipo Baja, que usa uma caixa de redução, onde os componentes têm inercias e rotações distintas, não podemos aplicar a equação anterior diretamente. Utiliza-se então como método subdividir o sistema em três grupos a fim de obter a inercia de cada um em separado.

Na figura abaixo é demonstrado como é feita esta divisão.

Figura 6 - Inércias rotacionais de um veículo



Fonte: Nicolazzi, 2008.

Em primeiro tem-se a inércia das rodas e agregados= J_r .

Neste cálculo são considerados pneus, rodas semieixos, discos e cubos de freios, diferenciais, etc.

Na sequência tem-se a inércia da transmissão= J_t .

Referente a caixa de câmbio como propriamente dito, no caso específico do protótipo temos ainda acoplado a caixa de redução a polia movida da *Continuously Variable Transmission* (CVT), que deve ter sua inércia calculada neste momento.

Por fim temos a inércia do motor= J_m .

São considerados todos os componentes girantes fixos ao motor, novamente o *baja* tem uma ressalva com relação a polia motora da CVT, por ficar também acoplada ao motor.

Para atingir uma força no ponto de contato com o solo que seja equivalente a força da inércia, divide-se o torque obtido na equação (1) pelo raio do pneu, como demonstrado nas equações a seguir:

$$Q''_I = \frac{M}{rd} \quad (2)$$

Ou ainda,

$$Q''_I = \frac{J\alpha}{rd} \quad (3)$$

A relação entre a aceleração angular e linear de uma roda no ponto de contato com o solo é representado pela Equação (4):

$$a = \alpha r_d \quad (4)$$

Em que,

a = Aceleração linear

[m/s²];

r_d = Raio dinâmico

do pneu [m];

α = Aceleração

angular [rad/s²].

Pode-se dizer então que:

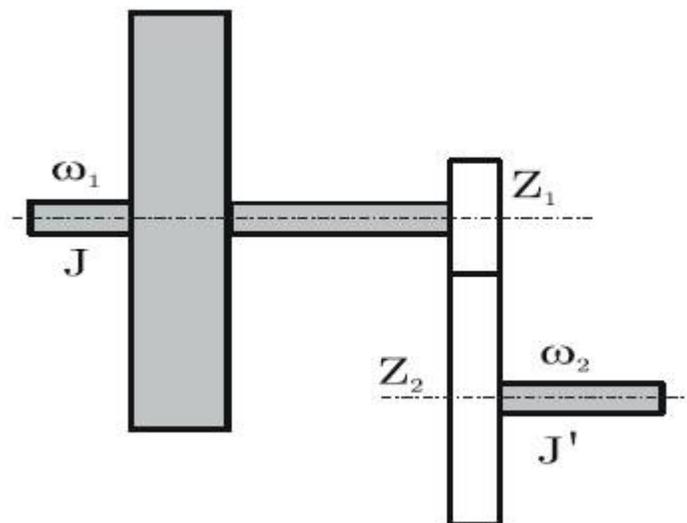
$$\alpha = \frac{a}{r_d} \quad (5)$$

Fazendo a substituição dessa aceleração na expressão do torque, consegue-se relacionar a resistência de inércia rotativa com a aceleração linear, conforme equação (1):

$$Q''_I = \frac{J\alpha}{rd^2} \quad (6)$$

Como as rodas não estão girando na mesma velocidade das inércias de transmissão e do motor então a soma dessas grandezas não pode ser usada para o cálculo da inércia total J . Assim, tendo a inércia unida a um eixo, que através de uma redução de transmissão i transmite movimento para outro eixo, conforme figura 8, pode-se descobrir uma inércia equivalente neste último e resolver o problema citado, Nicolazzi (2008).

Figura 7 - Transformação de inércia



Fonte: Nicolazzi, 2008.

Para descobrir a inércia J' equivalente no outro eixo, considera-se a lei de conservação de energia, ou seja, a energia cinética deve ser a mesma em ambos os casos. Logo:

$$\frac{1}{2}J\omega_1^2 = \frac{1}{2}J'\omega_2^2 \quad (7)$$

Onde,

J = Inércia real [kg/m²];

ω_1 = Velocidade angular da inércia J [rad/s];

J' = Inércia equivalente [kg/m²];

ω_2 = Velocidade angular da inércia equivalente [rad/s].

Sendo:

$$\omega_1 = i \omega_2 \quad (8)$$

Então:

$$J(i\omega_2)^2 = J' \omega_2^2 \quad (9)$$

Teremos, após uma simplificação, que:

$$J' = i^2 J \quad (10)$$

Onde i é a relação de transmissão [adimensional].

A inércia rotativa total do protótipo como o apresentado na imagem (carro) é adquirida pela soma das três parcelas: do motor, da transmissão e do eixo das rodas, conforme equação a seguir:

$$J = J_r + i_t j^2 (J_t + i_{CVT} r^2 J_m) \quad (11)$$

1.7.3.5 Realizar mudanças no projeto CAD

Com os dados recolhidos nas etapas anteriores faz-se necessário mudanças no projeto CAD de todo o protótipo de modo a acomodar este novo sistema. Este será com certeza a etapa de maior impacto para um projeto já existente e por tanto é realizada em acordo com conceitos da equipe afim de obter o melhor resultado possível em ambos os subsistemas.

2 PROJETO TRANSMISSÃO 4X4

O desenvolvimento do trabalho se dá através da elaboração de um projeto que atenda o regulamento da competição internacional, definindo o sistema que atenda as propostas com suas devidas validações para a futura implementação no veículo da equipe.

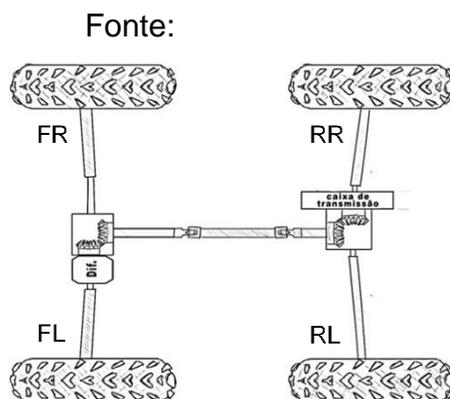
2.1 Definição de propostas para o novo sistema

Foram desenvolvidas, em reuniões com a equipe, quatro propostas de configurações para o sistema 4x4, que atendam o plano de conceito, dentre as quais uma seria adotada afim de ser projetada para o veículo seguindo o plano de conceito da equipe.

2.1.1 Primeira proposta

Utilizar a caixa de transmissão do BG18 deslocada para a direita (muito próxima dos pontos de ancoragem da suspensão traseira), suficientemente para acomodar uma caixa auxiliar com um par de engrenagens cônicas e cardã centralizado. Diferencial dianteiro seria levemente deslocado à esquerda. Utilização de um único disco de freio *on board* na traseira, ou dois discos nas rodas com semieixos traseiros de diferentes comprimentos.

Figura 8 - Croqui proposta 1

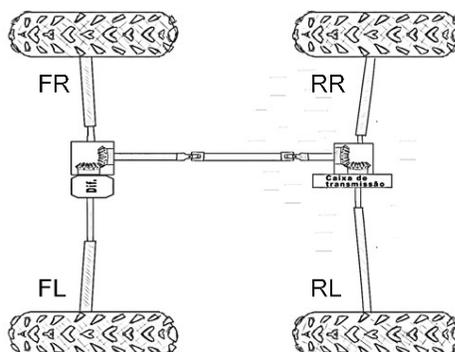


Fonte: Autor

2.1.2 Segunda proposta

Utilizar a caixa de transmissão do BG18 centralizada e cardã deslocado à direita, não entrando em conflito com a suspensão traseira, discos de freio e tulipas. Os semieixos traseiros seriam intercambiáveis. O cardã poderia ser centralizado dentro do *cockpit* com a utilização de duas juntas universais por baixo do motor. O diferencial dianteiro seria centralizado ou levemente deslocado para a esquerda.

Figura 9 - Croqui proposta 2

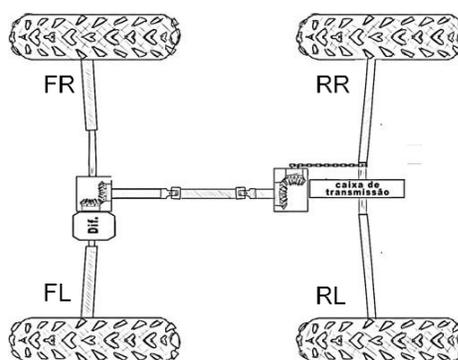


Fonte: Autor

2.1.3 Terceira proposta

Utilização de sistema de corrente e engrenagens cônicas na saída da tração traseira com a caixa do BG20, com cardã centralizado, não afetando os semieixos e a suspensão traseira. Porém, a fixação da pinça de freio do lado da corrente seria prolongada. Utilização de diferencial dianteiro deslocado para a esquerda.

Figura 10 - Croqui proposta 3

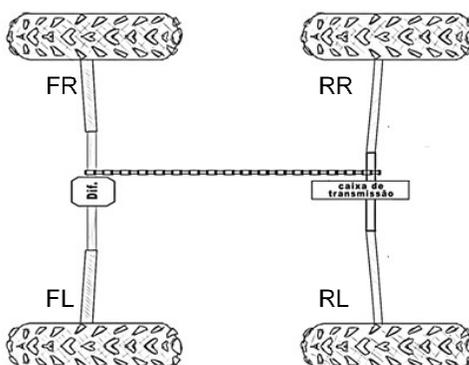


Fonte: Autor

2.1.4 Quarta proposta

Utilização de sistema por corrente em todo conjunto de fornecimento de tração ao eixo dianteiro, com dois pinhões e caixa de transmissão do BG20 centralizada, não afetando o comprimento dos semieixos, apenas estendendo a fixação da pinça de freio traseira direita. O diferencial dianteiro seria centralizado.

Figura 11 - Croqui proposta 4



Fonte: Autor

2.2 Solução adotada para projeto

Após a análise das quatro propostas optou-se pela solução 4, sendo esta adotada para o desenvolvimento de um projeto com sistema 4WD, permitindo acoplar e desacoplar a transmissão para as rodas dianteiras quando conveniente. Além disso, foram estabelecidos pontos que nortearam o projeto através da RQ-00-PRO Plano de Conceito e da RQ-09-PRO Peças de Múltipla Interação (Figura 12) do SIG – Sistema Integrado de Gestão da equipe, cabendo destacar que o projeto seria realizado visando atender ao regulamento internacional, principalmente para questões de chassi e proteções do *Powertrain*.

Figura 12 - Fragmento Plano de Conceito e Peças de Múltipla

Baja de Galpão		Plano de Conceito	Aprovação Coordenador Data: 11/04/11 Página: 1 de 4			
REGISTRO DA QUALIDADE RQ-00-PRO						
Referência do produto	BG20 4WD	Data:	24/08/2020			
Descrição	Baja de Galpão - UNISC	Matrícula	00			
Participantes	Alisson J., Arthur G., Helmano M., Fernando S., Vinicius S., Lucas B., Pedro S., Luis K., Leonardo N., Augusto S., Felipe K., Victor Q., Vinicius B., Matheus B.					
Conceito do produto: <i>desenvolver os conceitos de estrutura, de chassis de chassis, de transmissão, de direção, de freio e de eixo de eixo, necessitando de testes e validações de conceito.</i>						
O conceito é baseado em veículos off-road que possuam tração nas quatro rodas, permitindo o acoplamento da tração dianteira quando conveniente. Este conceito não prevê atributos de um veículo para venda em larga escala e sim em um baja de competição off-road que seja campeão da competição regional sul, alcance as 3 primeiras colocações na competição nacional e as 10 primeiras na mundial. As alterações focam em um carro que não necessite de grandes mudanças para a implementação de um sistema 4WD, mantendo parâmetros do veículo 4x2, como caixa de transmissão e motor centralizados, além de semieixos de mesmo comprimento e intercambiáveis, assim como pinças e discos de freio traseiros. Além disso, o veículo deve ser de fácil fabricação, de baixo custo, seguro, ergonômico, confortável, com carenagens atraentes, com ótima dirigibilidade, aceleração, alta velocidade final, sem perda de força, com baixo nível de vibrações e resistente. Também deve ser de fácil operação e uso das informações do carro exibidas ao piloto. O veículo deve ficar entre os 2 primeiros colocados em cada prova dinâmica na competição regional. O carro deve atender todas as especificações de segurança (integridade do chassis e confiança na frenagem) em detrimento de outros aspectos, se for o caso.						
1. Determinar o mercado alvo <i>identificar público alvo, segmentação e nichos de mercado.</i>						
Cliente <i>(identificação e segmentação):</i>	UNISC e avaliadores da SAE					
Consumidor Final <i>(idade, sexo, altura e características):</i>	Piloto com limite máximo de altura em 1,90 m e peso de 109 kg e mínimo de 1,45 m e 42 kg e juízes. Ambos os sexos (percentil masculino de 99% ao feminino de 1%).					
Componente	Sistemas					Data Aprovação
	SUD	POW	ELE	DES	FRE	
Braço Inferior Dianteiro						14/10/2020
Capô						14/10/2020
Carenagens Laterais						14/10/2020
Cubo de Roda Dianteiro						17/10/2020

Fonte: Equipe baja de galpão.

A escolha da solução 4 se deve inicialmente pela utilização de corrente, conforme definido pela matriz de decisão (Figura 13). Além disso, a interação do sistema de corrente com os demais sistemas do carro se torna mais amigável. Na parte traseira, os semieixos poderão ser intercambiáveis, assim como pinças e discos de freio. O sistema de suspensão traseira, já consolidado, não sofrerá interferências, sendo que a caixa de transmissão e o motor permanecerão centralizados, não havendo tanto deslocamento do centro de gravidade. Dentro do *cokcpit*, o sistema de corrente apresenta um empacotamento menor se comparado ao cardã, que pela regra deve ter uma proteção maior. Além disso, este último requer o uso de juntas universais e mancais de apoio, o que a corrente não impõe. Outro ponto de vantagem da corrente é que ela não requer mudança de direção de rotação, já que transmite a rotação paralelamente aos eixos, enquanto o cardã precisa de algum mecanismo de engrenagens cônicas, que permitam que a rotação seja direcionada perpendicularmente. Desta forma, o sistema de cardã se torna mais complexo pela utilização de maior número de componentes. O sistema de corrente, por ser menos complexo, não requer tanta precisão ou alinhamento, já que essas possuem folgas maiores. Porém, desafia o projeto como um todo, visto que não é tradicionalmente utilizado em transmissões

4x4, podendo sofrer com a grande distância entre os eixos de rotação, problemas de tensionamento e deslocamentos excessivos, além do alto nível de ruídos e vibrações.

Figura 13 - Matriz de decisão do tipo de transmissão

Análise	Diretrizes POW	Peso	Corrente		Cardã		Correia	
			Nota	Parcial	Nota	Parcial	Nota	Parcial
MASSA	75	0,15	10	1,53	6	0,92	10	1,53
APARÊNCIA	40	0,08	6	0,49	8	0,65	5	0,41
DFMA	70	0,14	9	1,29	5	0,71	6	0,86
CUSTO	50	0,10	10	1,02	4	0,41	8	0,82
DESEMPENHO	90	0,18	9,8	1,80	8,6	1,58	9,6	1,76
CONFORTO	70	0,14	6	0,86	8	1,14	6	0,86
CONFIABILIDADE	95	0,19	8,5	1,65	9	1,74	4	0,78
TOTAL	490	1,00	8,63		7,16		7,01	

Fonte: Equipe Baja de Galpão.

2.3 Projetar componentes do sistema

Com a definição de qual sistema melhor atende os requisitos de competição e o plano de conceito da equipe, em seguida são modelados seus componentes em software 3D a fim de avaliar suas dimensões e posicionamentos e necessidade de mudanças.

2.3.1 Transmissão traseira

Na parte traseira o sistema continuará utilizando como transmissão primária a CVT. Já como transmissão secundária, será utilizada a caixa de transmissão de ECDR (Engrenagens Cilíndricas de Dentes Retos) desenvolvida para o novo protótipo da equipe, BG20, contando esta com apenas uma marcha a frente, substituindo o conceito de uma caixa com sistema de marcha a frente, neutro e ré que equipava o protótipo BG18, melhorando desta forma o empacotamento do sistema, além de reduzir a massa, contando ainda com um ganho de confiabilidade por apresentar menor número de componentes. Os semieixos e acoplamentos para as rodas continuarão sendo os mesmos componentes já desenvolvidos e consolidados em projetos anteriores. A roda dentada traseira será ancorado no flange da tulipa, disposta na árvore de transmissão final do eixo traseiro (Figura 14).

Figura 14 – Acoplamento roda dentada traseira.



Fonte: Autor.

2.3.2 Transmissão

A transmissão entre os eixos traseiro e dianteiro será realizada por um sistema de corrente, modelo GKW® SIMPLEX S 401 (ASA 60), dimensionada conforme MELCONIAN (2009). Esta será protegida de avarias por uma capa de alumínio conforme regulamento, seguido de um revestimento interno e espaçadores de material polimérico, reduzindo impactos com a proteção e direcionando corretamente a corrente, (Figura 15).

Figura 15 – Corrente e proteção.



Fonte: Autor

2.3.3 Diferencial

Na parte dianteira será implementado um sistema de diferencial centralizado no cockpit, a fim de compensar a diferença de velocidade das rodas durante manobras de curvas, evitando que o veículo perca direção. O

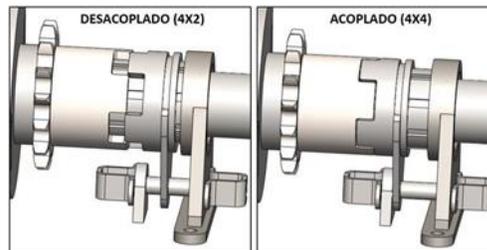
sistema do diferencial contará com engrenagens do diferencial do Volkswagen® Gol (Fotografia 16), componentes que além de serem OEM (Original Equipment Manufacturer), também são de fácil aquisição e baixo custo, com uma carcaça de aço SAE 1045 com 4mm de espessura, cortada a laser e soldada, a fim de reduzir os custos e facilitar a implementação. Além disso, a ancoragem entre a tulipa e a engrenagem planetária será feita por anel interno e estriado, como na peça original, ancorando as peças axialmente e facilitando a remoção de todo conjunto em caso de manutenção.

Fotografia 16 - engrenagens planetárias



Fonte: Autor

Ainda, contará com um pinhão dianteiro e sistema de acoplamento (Figura 17) no eixo final da transmissão dianteira, para permitir que o piloto possa acoplar e desacoplar o sistema, através de uma alavanca posicionada entre suas pernas, conforme a necessidade para a transposição do obstáculo.

Figura 17 - Sistema de acoplamento

Fonte: Autor

Juntamente ao eixo e as engrenagens planetárias do diferencial, tulipas serão ancoradas para transmitir a força motriz às rodas dianteiras, seguido de semieixo de junta homocinética que ligará ao cubo de roda. O conjunto de transmissão dianteiro de tulipa, semieixo e junta homocinética (Figura 18) foi escolhido por apresentar ângulos de trabalho e deslizamento axial compatíveis com o curso de suspensão e esterçamento, além de ser um sistema já validado, intercambiável com o sistema traseiro e por apresentar melhor angulação de trabalho para as rodas, sem variar velocidade como ocorre em juntas universais. Além disso, a tulipa apresenta espaço radial reduzido em comparação à junta deslizante e possui deslocamento axial condizente com o projeto, não sendo necessária a implantação de um semieixo deslizante com duas juntas homocinética.

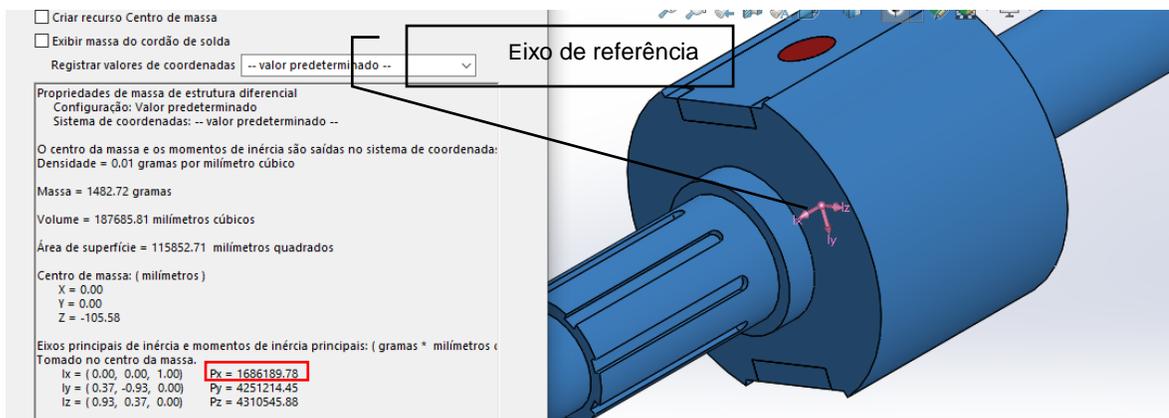
Figura 18 - Conjunto de transmissão

Fonte: Autor

2.4 Inércia rotacional

Obtêm-se através do *software* 3D CAD os valores de inércia para cada peça (figura19), observando os eixos sobre os quais ocorre o movimento rotacional. Depois, os valores são multiplicados pelo quadrado da relação de transmissão do componente com o eixo das rodas (figuras 20 e 21) A inércia rotacional total do protótipo se dá através das somas destes valores.

Figura 19 – Obtenção da inercia rotacional.



Fonte: Autor

Figura 20 – Tabela inércias 1.

Componente	Quantidade	Inércia [g.mm ²]	Inércia [kg.m ²]	Inércia total [kg.m ²]
Jr - INÉRCIA NA RODA E AGREGADOS				
Pneu Carlisle AT489 23x7x10"	2	322547010,6	0,322547011	0,645094021
Aro	2	25414046,6	0,025414047	0,050828093
Homocinética rolamentada	2	671120,77	0,000671121	0,001342242
Cubo de roda dianteiro	2	636977,63	0,000636978	0,001273955
Disco de freio dianteiro	2	1195210,52	0,001195211	0,002390421
Rolamento 61814 70x90x10	2	228613,85	0,000228614	0,000457228
Rolamento 61910 50x72x12	2	135917,86	0,000135918	0,000271836
Pista Interna	2	56656,76	5,66568E-05	0,000113314
Semi-eixo	2	106161,88	0,000106162	0,000212324
Trizeta Onix	2	92008,35	9,20084E-05	0,000184017
Tulipa	2	658522,98	0,000658523	0,001317046
Diferencial + Estrutura	1	1686189,78	0,00168619	0,00168619
Coroa	1	6931,86	6,93186E-06	6,93186E-06

Fonte: Autor

Figura 21 – Tabela inércias 2.

Homocinetica rolamentada	2	671120,77	0,000671121	0,001342242	0,001342242
Trizeta Onix	2	92008,35	9,20084E-05	0,000184017	0,000184017
Pista Interna	2	56656,76	5,66568E-05	0,000113314	0,000113314
Tulipa	2	591575,27	0,000591575	0,001183151	0,001183151
Semi-eixo	2	108136,04	0,000108136	0,000216272	0,000216272
Rolamento 61814 70x90x10	2	228613,85	0,000228614	0,000457228	0,000457228
Rolamento 61910 50x72x12	2	135917,86	0,000135918	0,000271836	0,000271836
Coroa	1	6931,86	6,93186E-06	6,93186E-06	6,93186E-06
J_t - INÉRCIA DA TRANSMISSÃO (INTERMEDIÁRIA)					
RELAÇÃO DE TRANSMISSÃO: 2,5					
Montagem árvore 2 (engrenagem 2)	1	3684408,96	0,003684409	0,003684409	0,023027556
J_t - INÉRCIA DA TRANSMISSÃO (FINAL)					
RELAÇÃO DE TRANSMISSÃO: 7,19					
Polia movida CVT	1	4433530,84	0,004433531	0,004433531	0,229196254
Montagem árvore 1 (engrenagem 1)	1	6002156,25	0,006002156	0,006002156	0,31028807
J_m - INÉRCIA DO MOTOR					
RELAÇÃO DE TRANSMISSÃO: 9,4908					
Virabrequim motor série 19	1	1614556,9	0,001614557	0,001614557	0,096954448
Volante do motor série 20	1	32036436,44	0,032036436	0,032036436	1,923794087
Correia CVT	1	4818082,76	0,004818083	0,004818083	0,289326784
Rotor CVT	1	388155,37	0,000388155	0,000388155	0,023308804
Polia motora CVT	1	5974229,7	0,00597423	0,00597423	0,358753627

2.5 Realizar mudanças no projeto CAD

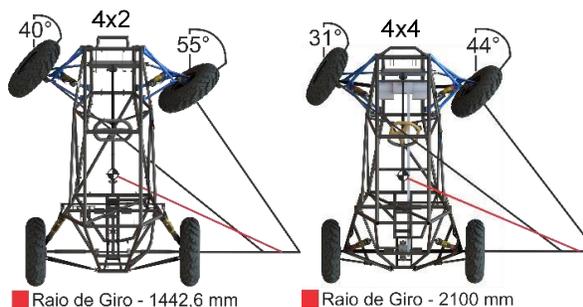
Após os modelamentos dos componentes que serão agregados ao protótipo, fazem se necessárias mudanças em componentes já existentes no projeto original a fim de acomodar o novo sistema.

2.5.1 Suspensão e direção

O tipo de suspensão duplo A será mantido tanto para dianteira quanto traseira, pelo fato do amplo controle dos parâmetros geométricos, bem como a melhor distribuição de esforços. Referente a suspensão dianteira, a ancoragem do amortecedor passará ao braço superior, tendo em vista que o semieixo sofreria de interferência com o amortecedor caso mantido como anteriormente, no braço inferior. Para acomodação do diferencial dianteiro, a caixa de direção sofreu um deslocamento na posição longitudinal em direção

à frente do carro. Dessa forma, os ângulos de esterçamento das rodas foram consideravelmente reduzidos. Contudo, esse é um malefício bem-vindo, visto que há uma angulação máxima da junta homocinética em 47° . Com o aumento considerável no raio de giro, passando de 1442,6 para 2100 mm (Figura 22). Para definir os *hardpoints* dianteiros, objetivou-se reduzir ao máximo a altura do *roll center* e definir uma razão de instalação em que o curso de suspensão não afetasse o sistema de tulipa e trizeta.

Figura 22 – Comparativo entre angulos de esterçamento.



Fonte: Autor.

2.5.2 Freios

Para o dimensionamento do sistema de freios, tem-se um aumento da inércia rotacional no eixo dianteiro, visto a maior quantidade de componentes rotativos ligados a ele. Já no eixo traseiro, devido a mudança da caixa de transmissão, a qual tem uma relação de transmissão menor e componentes mais refinados, houve uma redução da inércia rotacional, enquanto a inércia translacional é ligeiramente afetada devido à massa extra do sistema 4x4 e da posição do CG (Figura 23). O conjunto traseiro será mantido na saída da caixa de transmissão, buscando a redução de massa não suspensa e

menores comprimentos de tubulações. Os dianteiros permanecem nas rodas, visto a falta de espaço para colocá-lo junto ao *cockpit*.

Figura 23 – Comparativo torque de frenagem.

Pavimento	μ	Torque de Fren. Dianteiro [N.m]			Torque de Fren. Traseiro [N.m]		
		4x2	4x4	Diferença	4x2	4x4	Diferença
Terra	0,59	284,32	284,44	0,042%	223,36	216,86	-2,996%
Asfalto	0,71	366,06	366,20	0,040%	244,87	237,05	-3,298%

Fonte: Autor.

2.5.3 Design e Ergonomia

O chassi do projeto 4x4 foi pensado inicialmente para cumprir as regras impostas pelo regulamento internacional, não atendendo completamente o regulamento nacional. Para alocação do sistema 4x4 e todas as mudanças que implicam na sua implementação, o chassi sofrerá mudanças em toda sua traseira em relação ao berço do motor e da caixa de transmissão, bem como na parte de fixação (montantes). Em relação a parte dianteira, para alocação do diferencial e semieixos dianteiros, o conceito permanecerá com ângulo de ataque em 10° para não alterar as configurações de suspensão, sendo adicionados montantes para fixação dos mancais que suportam as cargas advindas da transmissão dianteira. Ainda, o chassi sofrerá mudanças que demandam uma estrutura à parte para elevar o assento do banco, possibilitando a passagem da transmissão da corrente. Por consequência das modificações do chassi, outros componentes sofrem alterações. O capô terá sua geometria modificada pela adição de um tubo para ancoragem do amortecedor dianteiro. O assoalho passará de 6 para 2 módulos fixados por

baixo do chassi, a fim de facilitar a manutenção do sistema de corrente. Já a chapa corta-fogo passará a ser fechada em vez de capela para cumprir o regulamento internacional, enquanto o *splash shield* será inteiriço para receber o novo tanque de combustível que é completamente diferente do usado nas competições nacionais. As carenagens continuarão com o mesmo conceito de fixação por presilhas OEM, recebendo recortes adicionais para passagem do sistema de transmissão das rodas dianteiras. Em relação aos ângulos de ergonomia, estes sofrerão uma série de consequências devido ao reposicionamento do banco para a passagem da corrente. O posicionamento dos pés para operação dos pedais é modificado pela alocação do diferencial dianteiro. Consequentemente haverá uma piora na visualização do painel através do volante e nos ângulos de joelho, cotovelo, torço e principalmente quadril (66°), sendo o recomendado pela norma SAE J1100 [3] no mínimo 90° .

A seguir na figura 24, vemos todos os componentes novos e os que foram alterados, em uma montagem final.

Figura 24 – Projeto final em 3D



3 CONCLUSÃO

Evidentemente que independente das alternativas de tração 4x4 apresentadas haveria um aumento na massa total do veículo, além de mudanças no seu desempenho dinâmico geral. Com o sistema de tração adotado, estima-se um aumento de 14,98 kg na sua massa, incluindo as adequações dos componentes dos demais sistemas do veículo, sendo estes dados validados após a sua implantação. Além disso, evidencia-se que os pontos negativos se sobressaem aos positivos, principalmente no quesito de perda de desempenho em aceleração e velocidade e no desempenho em curvas. De toda forma, espera-se que a solução adotada a perda de desempenho do veículo seja minimizada se comparada às demais e que o veículo atenda aos requisitos do Plano de Conceito, apresentando desempenho conforme o planejamento da equipe em competições futuras a nível nacional onde espera-se que haja a introdução do uso de tração nas quatro rodas.

Ainda, espera-se uma piora significativa em vibrações e ruídos, devido principalmente à utilização de corrente, ao contato dos pés do piloto próximo ao diferencial dianteiro e ao assento próximo à transmissão. Porém, esses pontos caberão a serem estudados futuramente para que possam ser devidamente avaliados e tenham soluções implementadas com eficácia, como uso de elastômeros para absorção de parte de vibrações e ruídos nas interfaces de transmissão.

REFERÊNCIAS

- AFFONSO, L.O.A. Equipamentos Mecânicos: Análise de Falhas e Soluções de Problemas. 3 ed. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2012.
- BERTO, Rosa Maria Villares; NAKANO, Davi Noboru. 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.
- BUDYNAS, Richard G.; NISBETT, J. Keith. Elementos de Máquinas de Shigley. [S.l.]: Editora Afiliada, 2011.
- FONSECA, J. J. S. Metodologia da Pesquisa Científica. Fortaleza: UECE, 2002.
- GAIOTTO, 2000. Gaiotto, João Robertode Camargo. Técnica 4x4: guia de condução fora de estrada. Técnica 4x4, 2000.
- GIL, Antonio Carlos. Métodos e técnicas de pesquisa social. 6. ed. Editora Atlas SA, 2008.
- GILLESPIE, Thomas D. Fundamentals of vehicle dynamics. SAE Technical Paper, 1992.
- HEWITT, Paul G. Física conceitual. 12.ed. rev. Porto Alegre: Bookman, 2015. ISBN 978-85-8260-341-3.
- LECHNER, G.; NAUNHEIMER, H. Automotive Transmissions: Fundamentals, Selection, Design and Application. Berlin, Heidelberg, 1998.
- MELCONIAN, Sarkis. Elementos de máquinas. 9ª ed. Revisada, 2009.
- NAUNHEIMER, H. et al. Automotive Transmissions. 2ª edição. New York: Springer, 2011.
- NEWTON, Isaac. The Principia: Mathematical Principles of Natural Philosophy. A new translation by I.B. Cohen and A. Whitman, University of California press, Berkeley, 1999. Disponível em: < <https://www.passeidireto.com/arquivo/48164526/principia-isaac-newton/36> >. Acesso em: 06/07/2020.
- NICE, K. HOW AUTOMATIC TRANSMISSIONS WORK. Disponível em:

<<http://auto.howstuffworks.com/automatic-transmission.htm>>. Acesso em 03/07/2020.

NICOLAZZI, L. C.; ROSA, E. da; LEAL, L. C. M. Uma introdução à modelagem quase-estática de veículos automotores de rodas. Florianópolis: Publicação interna do GRANTE - Departamento de Engenharia Mecânica da UFSC, 2008.

PRODANOV, Cleber Cristiano; DE FREITAS, Ernani Cesar. Metodologia do trabalho científico: métodos e técnicas da pesquisa e do trabalho acadêmico - 2a Edição. Editora Feevale, 2013.

PUGH, S. [February 1991]. Total Design: Integrated Methods for Successful Product Engineering.

RIBAS, Rodrigo Lampert et al. Transmissões presentes em tratores agrícolas no Brasil. Cienc. Rural [online]. 2010, vol.40, n.10, pp.2206-2209. Epub Oct 08, 2010. ISSN 0103-8478.

REIMPELL, Joransen; STOLL, Helmut; BETZLER, Jurgen. The automotive chassis: engineering principles. Elsevier, 2001.

ROY, B.; Bouyssou, D. Aide Multicritère à la décision: méthodes et cas. Paris: Economica, 1993.

SAE INTERNATIONAL. Society of Automotive Engineers. CDSBSR-Revision_B. Disponível em: <<https://www.bajasae.netcdsweb-gen-DocumentResources.aspx>> Acesso em: 22/06/2020.

SAMPIERI, R. H.; COLLADO, C. F.; LUCIO, M. P. B. Metodologia de pesquisa. 5. ed. Porto Alegre: AMGH, 624p, 2013.

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, Liane Carly Hermes. Metodologia da pesquisa. SEAD/UFSC, 2006.