

**REVISÃO DO ESTUDO NO SISTEMA DE DIREÇÃO DO PROJETO BAJA SAE
DESENVOLVIDO NA FAHOR - FACULDADE HORIZONTALINA**

GEORIG PLACK, Augusto ^{1*}; FRISKE, Marcos Rafael ²; BLEDOV, Gustavo ²;
CAMARGO, Jonathan Felipe²

¹ FAHOR, Curso de Engenharia de Controle e Automação, Faculdade Horizontalina, Campus Arnaldo Schneider, Avenida dos Ipês, 565, Horizontalina, RS, Brasil.

² FAHOR, Curso de Engenharia Mecânica, Faculdade Horizontalina, Campus Arnaldo Schneider, Avenida dos Ipês, 565, Horizontalina, RS, Brasil.

* Autor Correspondente: ap002157@fahor.com.br

RESUMO

O projeto baja consiste no desenvolvimento de um veículo *off road* desenvolvido por estudantes de engenharia durante sua graduação, que visa colocar em prática conceitos vistos em sala de aula. Este trabalho tem por objetivo analisar através do auxílio do regulamento competitivo RATBSB (Regulamento Administrativo e Técnico Baja SAE Brasil), o sistema de direção que pode ser utilizado no veículo. Analisando também alguns aspectos que influenciam no correto funcionamento do veículo, para gerar uma base teórica para os futuros estudos que se apliquem ao tema em questão. O estudo será feito através de pesquisas bibliográficas, seguindo com a construção do referencial teórico. Posteriormente será feita a análise do veículo Baja presente na própria instituição, para entender o real funcionamento da direção deste. Tem-se também como objetivo apontar sugestões de melhorias no seu sistema de direção.

Palavras chave: Baja, Direção, Funcionamento.

**REVIEW OF THE STUDY IN THE PROJECT DESIGN SYSTEM BAJA SAE
DEVELOPED IN FAHOR - FACULDADE HORIZONTINA**

ABSTRACT

Baja is an off road vehicle developed by engineering students during their graduation, which aims to put into practice concepts seen in the classroom. The objective of this work is to analyze, through the aid of the competitive regulation RATBSB (Administrative and Technical Regulation Baja SAE Brazil), the steering system that can be used in the vehicle. Also analyzing some aspects that influence the correct functioning of the vehicle, to generate a theoretical basis for the future studies that concern to this subject. The study will be done through bibliographical research, followed by construction of the theoretical reference. Subsequently, the vehicle will be analyzed in the institution itself, to understand its real operation. It is also intended to point out suggestions for improvements in the actual steering system.

Keywords: Baja, Direction, Operation.

1 INTRODUÇÃO

O projeto Baja SAE é muito conhecido entre os estudantes de engenharia, ele foi criado nos Estados Unidos, local onde aconteceu sua primeira competição no ano de 1976. Em 1991, foram iniciadas as atividades do Baja no Brasil e apenas no ano de 1994 o projeto Baja SAE Brasil foi lançado, e sua primeira competição aconteceu no ano de 1995.

Atualmente a equipe Sinuelo Fahor da instituição participa ativamente nas duas competições, que acontecem anualmente no Brasil: o Baja SAE Brasil etapa Sul e o Baja SAE Brasil etapa Nacional. A equipe hoje, conta com 38 membros e é dividida em subsistemas, onde cada um possui um líder, que é responsável por coordenar as atividades de cada área. Todos com o objetivo comum que é o desenvolvimento/construção de um veículo off road de alto desempenho. O subsistema de Suspensão e Direção é muito importante para o projeto, pensando nisso, buscou-se estudar de forma mais específica o sistema de direção do baja.

A metodologia utilizada no trabalho iniciou-se com o estudo do regulamento RATBSB, pesquisas bibliográficas, construção do referencial teórico, observações e análise do sistema de direção do veículo existente, e as posteriores sugestões de melhorias.

O presente artigo que tem por objetivo abordar os aspectos teóricos da direção do Baja, da parte conceitual, dos tipos de direção, da sua funcionalidade, dos seus componentes e uma breve introdução da norma SAE Brasil, que limita alguns aspectos da direção do mesmo.

2 DESENVOLVIMENTO E DEMONSTRAÇÃO DOS RESULTADOS

2.1 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1.1 VOLANTE

O volante é a interface entre o condutor e a direção do veículo, geralmente é um aro circular que tem a função de ajudar o condutor a guiar o veículo, e seu funcionamento é dado por movimentos circulares ocasionados pelo condutor. Desde forma que ocorre a interação entre o volante e a caixa de direção fazendo as rodas do veículo girarem para o sentido desejado. (MARCHEZIN, 2018).

No projeto Baja SAE BRASIL e nas suas respectivas competições existem algumas regras para a geometria de um volante.

B11.5.1 O volante não pode conter furos ou rasgos em que consiga passar um círculo de 6 mm de diâmetro, mas não um de 50 mm. Este requisito tem o objetivo de impedir que dedos fiquem presos em caso de uma força brusca virar o volante. (RATBSB, 2018, pág 78).

B11.5.2 O volante deve possuir um perímetro contínuo que seja aproximadamente circular ou oval, isto é, o perfil do perímetro exterior pode possuir seções retas, mas não seções côncavas. Volantes em forma de “H” ou “8” não são permitidos. (RATBSB, 2018, pág 78).

B11.5.3 Todos os volantes serão avaliados pelos Juízes Credenciados de Segurança quanto a adequação do projeto, qualidade de fabricação, robustez e fixação. (RATBSB, 2018, pág 78).

A figura 1 mostra seis exemplos de volantes permitidos e não permitidos durante uma competição baja.

Figura 1 - Geometria dos volantes permitidos e não permitidos.



Fonte: RATBSB, 2018, pág 78.

2.1.2 COLUNA DE DIREÇÃO, ÁRVORE DE DIREÇÃO E NORMAS QUE DELIMITAM O SISTEMA

A coluna de direção é uma haste cilíndrica, na maioria das vezes metálica, fixada no interior da estrutura do veículo onde fica alojada a árvore de direção. A coluna possui rolamentos de esferas para reduzir o atrito de giro da árvore e aguentar as vibrações do mesmo, além disso a coluna de direção é projetada para que quando haja uma colisão frontal ela se deforme, evitando assim que o condutor do veículo fique prensado entre o assento e o volante. (MARCHEZIN, 2018).

A árvore de direção é um par de hastes cilíndricas, conforme mostra a imagem abaixo, que fazem a função de transferir o movimento do volante aos terminais de direção, consequentemente dando início ao deslocamento das rodas, permitindo o guiamento do veículo.

Uma dessas hastes é oca e a outra é maciça, e elas giram sobre os rolamentos da coluna de direção, as hastes também são conectadas por pinos de cisalhamento, desta forma em caso de colisão do carro o objetivo é que eles quebrem, fazendo com que a parte oca cubra a haste maciça, impedindo que a árvore atinja o motorista. (MARCHEZIN, 2018).

Figura 2 - Coluna de Direção e Árvore de Direção.



Fonte: Carros Infoco, 2018.

Quanto às normas que delimitam este sistema, não existe nada específico, porém quesitos de segurança como os citados acima, devem ser respeitados.

2.1.3 SISTEMAS DE DIREÇÃO

O sistema de direção consiste em um conjunto que transforma o movimento do volante em movimento angular das rodas, permitindo assim a mudança da trajetória retilínea durante a condução.

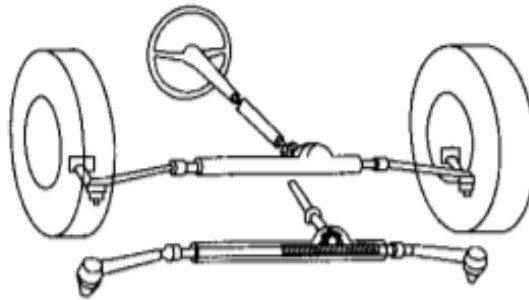
“A função do sistema de direção é controlar as rodas dianteiras e/ou traseiras em resposta aos comandos do motorista, fornecendo controle direcional do veículo”. (GILLESPE, 1992).

De forma geral existem três tipos de sistemas de direção: hidráulica, elétrica e mecânica, todavia para o veículo baja, “os sistemas de direção devem ser mecanicamente operados. Sistemas *steer-by-wire* e sistemas operados hidraulicamente são proibidos”. (RATBSB, 2018).

2.1.4 SISTEMAS DE DIREÇÃO MECÂNICO

O sistema de direção mecânico (figura 3) é composto por um sistema de engrenagens para realizar a conversão dos movimentos do volante em movimentos das rodas. Quanto a classificação dos dentes, eles normalmente são do tipo dente reto e helicoidal.

Figura 3 - Exemplo de Sistema de Direção Mecânica.



Fonte: Gillespie, 1992, pág 276.

De acordo com Rosa (2010), o funcionamento da direção mecânica, deve atuar como um redutor direto dos esforços no volante, ajudando assim o condutor a manobrar as rodas sem empregar muito esforço. Por se tratar de um sistema totalmente mecânico, quando comparado aos demais sistemas de direção existentes, ele possui um esforço maior e possui uma relação de transmissão mais alta. A relação utilizada é dada pelo giro do volante em graus e o movimento angular das rodas, essa relação é dada também pelo esforço do condutor durante o movimento do volante.

2.1.5 TIPOS DE CAIXA DE DIREÇÃO

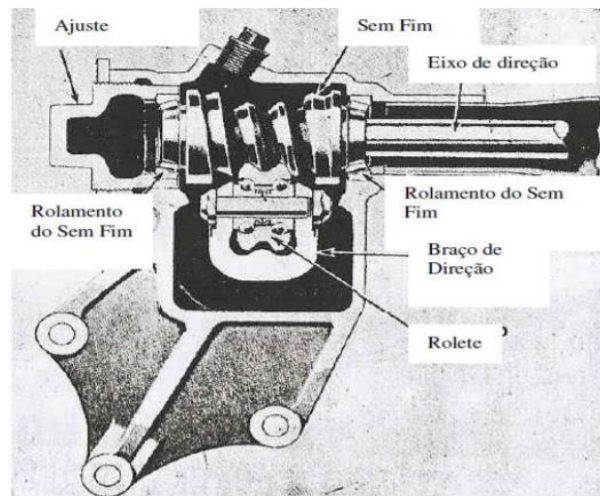
A caixa de direção é responsável por transmitir os movimentos da coluna de direção para a barra de direção. Nos sistemas de direção mecânica destacam-se as do tipo: pinhão e cremalheira, setor e rosca sem fim com esferas recirculantes, e setor e rosca sem fim sem esferas recirculantes.

2.1.5.1 CAIXA DE DIREÇÃO COM SETOR E ROSCA SEM FIM

A caixa de direção com rosca sem fim, conforme a figura 4, é um sistema que usa um parafuso sem fim e um setor dentado para realizar a conversão dos movimentos.

Com a rotação do volante a rosca sem-fim recebe este movimento e o transmite para o setor ocasionando um deslocamento angular, a este está acoplado um braço de direção (“Pitman”) que o acompanha. O braço de direção por sua vez transmite este movimento para as mangas de eixo (ligadas às rodas) através dos barramentos de direção acoplados a ele na sua extremidade. (Rosa, 2010).

Figura 4 - Caixa de Direção Com Setor e Rosca Sem Fim.



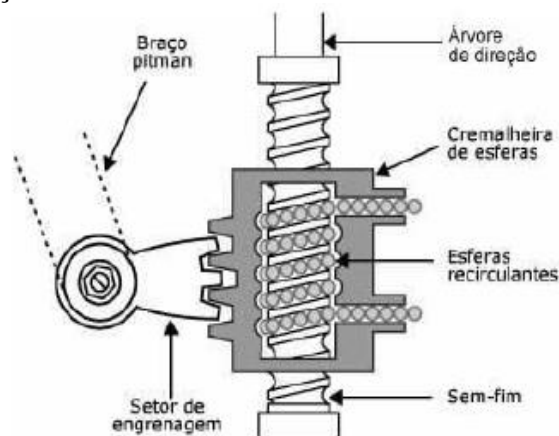
Fonte: Rosa, 2010, pág 4.

2.1.5.2 CAIXA DE DIREÇÃO COM ROSCA SEM FIM E ESFERAS RECIRCULANTES

A caixa de direção com rosca sem fim e esferas recirculantes possui um princípio de funcionamento parecido com o setor e rosca sem fim, porém neste sistema o eixo de direção se conecta através de uma haste com rosca sem-fim, a uma cremalheira de esferas com furo rosqueado. (ROSA, 2010).

Conforme a figura 5, podemos observar que a rosca sem-fim não faz contato direto com a rosca da cremalheira, devido ao alojamento de esferas em todos os filetes, que recirculam através da engrenagem enquanto esta se movimenta. Portanto, as esferas atuam na redução do atrito e do desgaste da engrenagem, assim como reduzem a folga de engrenamento. (ROSA, 2010).

Figura 5 - Caixa de direção com rosca sem fim e esferas Recirculantes



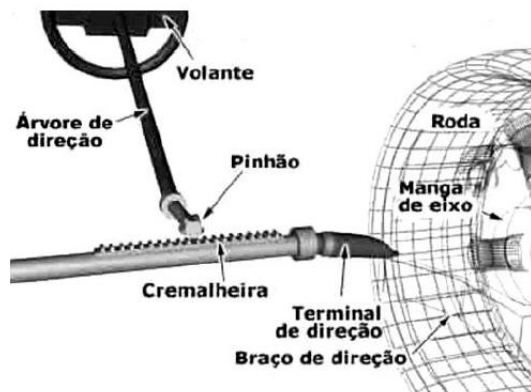
Fonte: Rosa, 2010, pág 6.

2.1.5.3 CAIXA DE DIREÇÃO COM PINHÃO E CREMALHEIRA

A caixa de direção com pinhão e cremalheira (figura 6) é considerada a mais simples entre as anteriores, conseqüentemente com menos componentes. Esse mecanismo possui um menor custo de fabricação, como também uma menor folga em suas barras de ligação. Apresenta fácil operação e entrega alta eficiência para o sistema, desta forma, é um dos mais utilizados pelas equipes de Baja SAE BRASIL. (MARCHEZIN, 2018).

O mecanismo deste sistema funciona através de um pinhão que é fixado à árvore de direção, e esse pinhão engrenado em uma cremalheira (cremalheira é uma haste linear dentada). Desta forma, quando o volante é girado a árvore de direção gira no mesmo sentido do volante, conseqüentemente o pinhão também, assim pelo engrenamento a cremalheira realiza movimentos lineares conforme podemos observar na figura abaixo. (MARCHEZIN, 2018).

Figura 6 - Direção pinhão e cremalheira.



Fonte: Rosa, 2010, pág 6.

2.1.6 GEOMETRIA DE ACKERMAN

Segundo Gillespie (1992), as translações laterais dos mecanismos de direção transmitidos através dos barramentos da roda direita e esquerda possuem importantes características geométricas.

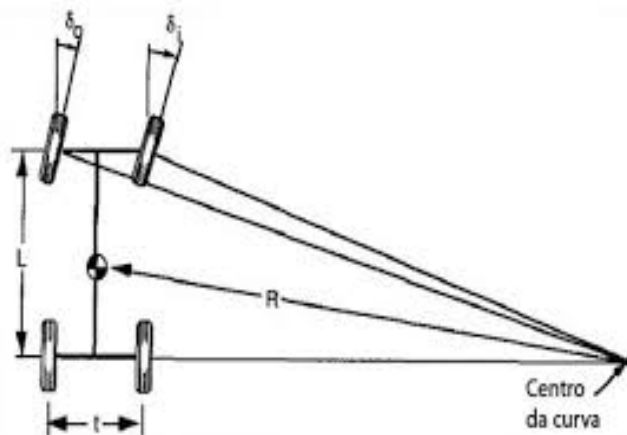
A geometria de Ackerman é um trapézio, que nas rodas produz um ângulo de esterçamento, por isso o ângulo da roda interna é maior que o da roda externa. Desta forma garantindo melhor relação entre os ângulos de esterçamento dos pneus e o centro de curvatura do veículo. (MARCHEZIN, 2018).

Conforme Gillespie os cálculos dos ângulos das rodas interna e externa podem ser definidos pelas equações:

$$\delta_o = \arctan \frac{L}{R + \frac{t}{2}} = \frac{L}{R + \frac{t}{2}} \quad (1) \quad \delta_i = \arctan \frac{L}{R - \frac{t}{2}} = \frac{L}{R - \frac{t}{2}} \quad (2)$$

Observando a figura 7 e as fórmulas (1) e (2), concluímos que L é a distância entre eixos do veículo, t é a distância entre as rodas de um mesmo eixo e R é a distância do centro do veículo até o centro de curvatura.

Figura 7 - Geometria de Ackerman.



Fonte: Gillespie, 1992, pág. 278.

2.2 MATERIAL E MÉTODOS

O estudo iniciou-se com a pesquisa bibliográfica sobre os assuntos abrangentes, para a construção do referencial teórico. Após entendimento básico das teorias necessárias referente ao sistema de direção do veículo, foram definidos os tipos de direção, assim como as normas responsáveis por limitar alguns aspectos importantes, tanto na construção quanto na competição do Baja.

Para o desenvolvimento deste artigo, foi necessária a colaboração de membros da equipe do Baja, principalmente dos responsáveis pelo subsistema de suspensão e direção, além da coordenação do professor orientador do projeto.

2.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Com base nas pesquisas realizadas e no regulamento RATBSB, observou-se que, o volante presente no atual veículo (figura 8) atende aos requisitos do regulamento e não seria necessária sua alteração para próximo projeto. Também constatado em testes e avaliações das competições anteriores comprovados pelos juízes e pela Equipe Sinuelo FAHOR. Na imagem

abaixo é possível observar a atual modelagem do volante presente no veículo.

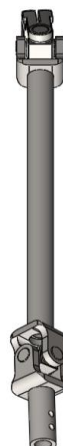
Figura 8 - Volante.



Fonte: Equipe Sinuelo FAHOR, 2019.

Analisando a atual coluna de direção (figura 9) presente no veículo, observa-se que ela realiza de forma satisfatória a sua função de transmissão do movimento do volante para a caixa de direção, porém esta apresenta alguns problemas quanto a folga nas suas articulações. De acordo com o estudo feito por integrantes do subsistema suspensão e direção da Equipe Sinuelo FAHOR, o problema apresentado ocorreu durante a competição nacional na qual começou a apresentar a devida folga pelo esforço do conjunto, ocorrendo o desgaste na cruzeta. A possível causa desta folga são as cruzetas e para a correção desta, torna-se necessário fazer a substituição da cruzeta ou de toda a coluna de direção.

Figura 9 - Coluna de direção.



Fonte: Equipe Sinuelo FAHOR, 2018.

Observando ainda a imagem 9, nota-se que a forma como a coluna de direção é fixada na caixa de direção, na parte inferior, com o auxílio de parafusos e porcas, apresenta folga. As

folgas poderiam ser corrigidas, se o sistema de fixação fosse substituído por um acoplamento estriado, o mesmo que é utilizado na ligação do volante com a coluna de direção.

Quanto a caixa de direção atual, que utiliza o sistema pinhão e cremalheira, com engrenagem de dente reto e cremalheira com os mesmos porém com adelgaçamento, atende as necessidades do projeto e da norma. Porém pode ser realizada uma melhoria quanto ao tipo de cremalheira presentes na caixa de direção, a mesma poderia ter cremalheira com dentes retos, devido a sua maior resistência.

Analisando também a barra de direção do veículo, foi possível constatar que apresenta bom funcionamento, conferido nas competições e testes realizados pela equipe Sinuelo FAHOR durante a execução do projeto. Com base nisso não é necessária nenhuma melhoria para esta barra de direção.

CONCLUSÃO

Por meio deste estudo, constatou-se que, o sistema de direção do veículo Baja SAE da FAHOR - Faculdade Horizontina está dentro das normas RATBSB. A execução/construção de um excelente veículo dentro das normas é de suma importância pois anualmente a Faculdade participa ativamente de duas competições Brasileiras de veículos Baja.

A metodologia foi iniciada com o estudo do regulamento RATBSB, pesquisas bibliográficas, construção do referencial teórico, estudo dos vários sistemas de direção, seus componentes e sua funcionalidade, observações e análises do atual sistema de direção presente no veículo. Estes passos foram muito importantes para o conhecimento teórico do trabalho a ser executado, além de possibilitar uma posterior aplicação prática no veículo.

Os objetivos propostos no trabalho foram alcançados pelo grupo, uma vez que, conseguiu-se estudar o atual sistema de direção existente no atual veículo Baja, adquirindo assim novos conhecimentos na área. Foram apontados problemas existentes quanto ao funcionamento do sistema de direção do veículo, além das respectivas sugestões de melhorias.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6022: **Informação e Documentação: artigo em publicação periódica científica impressa**: apresentação. Rio de Janeiro, 2003.

GILLESPIE, T. D., **Fundamentals of Vehicle Dynamics**, SAE, Warrendale, 1992. 294 f.

MARCHEZIN, Renan Augusto Peetz. **Projeto de uma caixa de direção para um protótipo Baja**. Trabalho de Conclusão de Curso. Escola de Engenharia Mecânica, Piracicaba, Dezembro, 2018.

ROSA, Manoela Tarcila Martins. **Sistemas de Direção**. Curso Apren. Industrial - Mecânica de Automóveis. SENAI - HORTOTEC/CA, Belo Horizonte, Dezembro, 2010.

CARROS INFOCO. **Funcionamento e detalhes do sistema de direção tipo pinhão e cremalheira**. Disponível em: <http://www.carrosinfoco.com.br/carros/2017/01/funcionamento-e-detalhes-do-sistema-de-direcao-tipo-pinhao-e-cremalheira/> Acesso em: 24 abr. 2019.

AUTOCAR UP. **Desvendando os Segredos do Alinhamento, Balanceamento, Cáster e Câmbier**. Disponível em: <https://autocarup.com.br/alinhamento-balanceamento-caster-e-camber/> Acesso em: 30 abr. 2019.

NOTÍCIAS DA OFICINA, Marcos Junior. **Geometria de suspensão e desgaste de pneus**. Disponível em: <http://www.noticiasdaoficina.com.br/v2/2011/12/geometria-de-suspensao-e-desgaste-de-pneus/>. Acesso em: 01 abr. 2019.