

**CENTRO PAULA SOUZA
FATEC SANTO ANDRÉ**

Tecnologia em Mecânica Automobilística

**Rodney Tertuliano da Silva
Vinicius Ferreira de Oliveira**

**SISTEMA DE DIREÇÃO PARA O EIXO TRASEIRO
ESTERÇANTE**

Santo André

2021

Rodney Tertuliano da Silva

Vinicius Ferreira de Oliveira

**SISTEMA DE DIREÇÃO PARA O EIXO TRASEIRO
ESTERÇANTE**

Trabalho de Conclusão de Curso entregue à Fatec Santo André como requisito parcial para obtenção do título de Tecnólogo em Mecânica Automobilística.

Orientador: Prof. Me. Eliel Wellington Marcelino

Santo André

2021

FICHA CATALOGRÁFICA

S586s

Silva, Rodney Tertuliano da
Sistema de direção para o eixo traseiro esterçante / Rodney
Tertuliano da Silva, Vinicius Ferreira de Oliveira. - Santo André,
2021. – 90f: il.

Trabalho de Conclusão de Curso – FATEC Santo André.
Curso de Tecnologia em Mecânica Automobilística, 2021.

Orientador: Prof. Eliel Wellington Marcelino

1. Mecânica. 2. Sistema de direção. 3. Automóvel. 4. Direção
traseira. 5. Tecnologia. 6. Direção em todas as rodas. 7. Sistema
de rodagem. 8. Volante. I. Oliveira, Vinicius Ferreira de. II.
Sistema de direção para o eixo traseiro esterçante.

629.2



Rodney Tertuliano da Silva
Vinícius Ferreira de Oliveira

SISTEMA DE DIREÇÃO PARA O EIXO TRASEIRO ESTERÇANTE

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado a FATEC SANTO ANDRÉ
como requisito parcial à obtenção de título
de Tecnólogo em 2021.

Professor Orientador
Prof. Me. Eliel Wellington Marcelino

MEMBROS DA BANCA EXAMINADORA

Presidente da Banca
Prof. Me. Eliel Wellington Marcelino
Fatec Santo André

Primeiro membro da Banca
Prof. Fernando Garup Dalbo
Fatec Santo André

Segundo Membro da Banca
Prof. Marco Aurélio Fróes
Fatec Santo André

Local: Fatec Santo André
Horário: 18:30
Data: 10/12/2021

SANTO ANDRÉ
2021

Dedicamos esse trabalho a todos que já sofreram com a manobra de baliza em um trânsito lotado, e pior, que alguém tomou sua vaga por não ter sido rápido o suficiente, dedicamos também a todos os reprovados nos exames do Detran que se sentiram prejudicados nesse momento tão tenso...

AGRADECIMENTOS

Agradeço à importantes colegas da Fatec Itaquera, em especial aos monitores que tanto me ajudaram no início da minha jornada acadêmica, entre eles Felipe Samuel Antunes da Silva, Leticia Castanheira, Isis Monte, ao grande Michel Mora Batista que me ensinou a amar e a viver a matemática. Agradeço ao professor Fernando Grings que me ajudou em cálculo, professor Marcelo Boaro que foi chave importante em física, professor Paulo Pereira que constantemente me inspira em matemática. Agradeço a paciência dos meus pais. Agradeço por ter uma boa equipe com Vinicius Ferreira de Oliveira, que confiamos na excelência de nosso projeto e agradeço por termos um orientador competente como o professor Me Eliel Wellington Marcelino que nos incentiva a sermos sempre os melhores tecnólogos que podemos ser. E por fim nosso agradecimento a todos os mecânicos que colaboraram conosco com fornecimento de peças. Por Rodney Tertuliano da Silva.

Agradeço a um professor em especial, na qual conheci durante minha vida estudantil, Roberto Dalefi, que colocou uma semente na minha cabeça de sempre persistir e correr atrás dos meus objetivos, e aos professores da Fatec Santo André, sobretudo Marco Aurélio Fróes, Suely Midoki Aoki e Eliel Wellington Marcelino, como dito acima, que sempre nos incentiva a evoluir, melhorar e se aperfeiçoar como profissionais. Agradeço pela boa harmonia de equipe com Rodney Tertuliano da Silva, que acreditamos no potencial desse projeto, junto ao orientador e excelente professor Me Eliel Wellington Marcelino, para o sucesso desse projeto. Por Vinicius Ferreira de Oliveira.

“Se eu vi mais longe, foi por estar
sobre ombros de gigantes.”

ISAAC NEWTON

RESUMO

O presente trabalho teve como propósito demonstrar a utilização de Sistemas de Direção para o Eixo Traseiro Esterçante, ou seja, da direção nas quatro rodas. Nas Tendências do Google a diferença é gritante do pouco conhecimento que se tem do sistema direcional nas quatro rodas em comparação ao convencional dianteiro, muito embora tal inovação não esteja muito distante da primeira patente do automóvel, o Triciclo de Benz. Passando do desenvolvimento do primeiro veículo com eixo traseiro direcional pela Cotta Automobile; o primeiro de acesso ao público, Mercedes W 139; o primeiro em massa, Honda Prelude e os atuais como no Porsche 911. Não vingou no passado devido ao custo e a pouca vantagem à época, o que muda substancialmente atualmente, 80% dos motoristas das grandes metrópoles citam que um dos maiores estresses do uso de carro próprio é com relação a estacionamento, em particular com a manobra de baliza, sendo motivo de 30% das causas de reprovações de candidatos à primeira habilitação. É motivação deste trabalho, divulgar esse conhecimento tecnológico esquecido, melhorar a qualidade de vida das pessoas e proporcionar um melhor uso dos espaços públicos. A metodologia seguida apresenta a história dos sistemas de direção convencionais em paralelo com o sistema direcional completo e a divergência dos mecânicos para os eletrônicos. Mostrar cálculos de geometria e o desenvolvimento da miniatura física e projeto em escala, finalizando com tendências futuras.

Palavras-chave: Direção traseira. Sistema de direção. Sistema de rodagem. Baliza. Mecânica automobilística.

ABSTRACT

The present work aimed to demonstrate the use of Steering Systems for the Steering Rear Axle, that is, four-wheel steering. In Google Trends, the difference is glaring in the little knowledge that one has of the four-wheel directional system compared to the conventional front, even though such innovation is not far from the first automobile patent, the Benz Tricycle. Moving on from the development of the first vehicle with a directional rear axle by Cotta Automobile; the first publicly accessible, Mercedes W 139; the first in mass, Honda Prelude and the current ones like the Porsche 911. It didn't catch on in the past due to the cost and little advantage at the time, which changes substantially nowadays, 80% of drivers in large cities cite that one of the biggest stresses of use of own car is related to parking, in particular with the parking maneuver, being the reason for 30% of cases of failure of candidates for the first license. The motivation for this work is to disseminate this forgotten technological knowledge, improve people's quality of life and provide better use of public spaces. The methodology followed presents the history of conventional steering systems in parallel with the complete steering system and the divergence from mechanics to electronics. Show geometry calculations and physical miniature development and scale design, ending with future trends.

Keywords: Rear steering. Steering system. Running system. Parking maneuver. Automotive mechanics.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1: Geometria de pino mestre	28
Figura 2: Sistema de forças e momentos no pneu	29
Figura 3: Geometria do conjunto	30
Figura 4: Modelo tipo bicicleta de um veículo com esterçamento nas quatro rodas.	31
Figura 5: Honda Prelude 1987.....	32
Figura 6: Componentes da direção mecânica 4WS do Honda Prelude	33
Figura 7: Direção nas quatro rodas, modelo de bancada	34
Figura 8: Eixo traseiro de um Honda Prelude 1987 com 4WS	34
Figura 9: Eixo traseiro de um Honda Prelude também 1987, com direção convencional	35
Figura 10: Volante traseiro de um Honda Prelude 1987 com 4WS	36
Figura 11: Vista explodida da caixa de direção traseira do Honda Prelude 1987 com 4WS	37
Figura 12: Posição da planetária de acordo com movimento do eixo excêntrico.....	37
Figura 13: Caixa de direção 4WS – Honda Prelude 1987.....	39
Figura 14: Honda Prelude 1992	40
Figura 15: Arranjo dos componentes eletrônicos de um Honda Prelude 1991.....	41
Figura 16: Componentes da direção traseira 4WS do Honda Prelude 1991.....	42
Figura 17: Em vermelho, as buchas que fazem o direcionamento automático	43
Figura 18: Itens da suspensão de eixo traseiro auto direcional.....	44
Figura 19: Porsche 928: Funcionamento da suspensão traseira	45
Figura 20: Veículo com sistema FWS, sob a condição de Ackermann.....	47
Figura 21: Veículo sob a condição de Ackermann.....	47
Figura 22: Influência da condição de Ackermann ideal, sob o entre eixo e a bitola FWS	49
Figura 23: 4WS Positivo.....	50
Figura 24: Demonstração de um veículo com 4WS positivo, entrando em uma curva a esquerda.....	51
Figura 25: Demonstração do veículo com 4WS negativo, entrando em uma curva a esquerda.....	53

Figura 26: Força atuando no pneu recebendo a frenagem	54
Figura 27: Força atuando no pneu recebendo aceleração	54
Figura 28: Força lateral sobre o pneu	55
Figura 29: Distribuição de forças laterais na área de contato	55
Figura 30: Gráfico de curvas de rigidez	56
Figura 31: Fenômeno de histerese	57
Figura 32: Vista lateral de tensão normal e a resultante F_z no pneu em movimento	58
Figura 33: Efeito do ângulo de escorregamento	60
Figura 34: Coeficiente longitudinal de atrito como função de s para sistemas de aceleração e frenagem	61
Figura 35: Miniatura na escala 1/18 modelo Stock Car 2019, com adaptações.....	63
Figura 36: Materiais e ferramentas 1.0	64
Figura 37: Materiais e ferramentas 1.1	64
Figura 38: Materiais e ferramentas 1.2.....	65
Figura 39: Montagem da miniatura com todos os itens.....	66
Figura 40: Esterçamento das rodas traseiras no sentido negativo.....	66
Figura 41: Sistema de direção nas quatro rodas – visão geral.....	67
Figura 42: Chassi tipo escada – confecção.....	68
Figura 43: Foco na soldagem das engrenagens cônicas.....	69
Figura 44: Mancais de fixação	69
Figura 45: Mancais de fixação e visão superior lateral.....	70
Figura 46: Braço pitman.....	71
Figura 47: Visão lateral para projeto de ângulo de caster com kingpin.....	72
Figura 48: Conjunto do sistema AKC.....	73
Figura 49: Ilustração da central do eixo traseiro em comparação ao dianteiro.....	73
Figura 50: Vista de trás do conjunto de suspensão traseiro.....	74
Figura 51: Esquema de funcionamento do AKC.....	74
Figura 52: Teste com o sistema Tapete Voador 2.0	75

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Tabela de valores de μ_0 para diferentes pavimentos.....**59**

Tabela 2: Valor médio de coeficientes longitudinais de atrito para pneu 215/65R15 .**61**

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AKC: Controle Cinemática Ativa, em inglês

CG: Centro de Gravidade

CVT: Transmissão Continuamente Variável, em inglês

CATT: Eixo Traseiro Autodirecional, em inglês

ECU: Electronic Control Unit

FWS: Esterçamento nas Rodas Dianteiras

SAE: Sociedade dos Engenheiros Automotivos, em inglês

TCS: Sistema de controle de tração, em inglês

UC: Unidade de Controle

4WS: Esterçamento nas Quatro Rodas

LISTA DE SÍMBOLOS

Ca = rigidez lateral dos pneus;

cv = cavalo;

F = força;

Fr = força de reação no pneu frontal;

Fy = força lateral do pneu;

Fz = força decomposta de Fr;

k = coeficiente de rigidez vertical do pneu;

km = quilômetro

m = metro;

cm = centímetro

mm = milímetro

nm = newton metro;

T = torque;

Rg = raio do pneu descarregado;

Vx = velocidade longitudinal do veículo;

r = velocidade angular;

a = ângulo de escorregamento do pneu;

Dz = deflexão;

μ_0 = coeficiente de resistência ao rolamento

RW = raio do pneu

Wo = Velocidade angular da roda externa

Wi = Velocidade angular da roda interna

R1 = Distância dela entre o centro de rotação e o centro de massa do veículo

ω_r = Bitola traseira

So = Ângulo de esterçamento da roda externa a curva

Si = Ângulo de esterçamento da roda interna a curva.

ω = Bitola

ωf = Bitola dianteira

I = Distância entre eixos

SUMÁRIO

1. Introdução	16
1.1. Objetivo	19
1.2. Motivação	19
2. Revisão Bibliográfica	20
3. Metodologia	27
3.1. Como Funciona o Sistema de Direção	27
3.2. Dinâmica da Convergência da Roda	29
4. Tecnologias de Esterçamento nas Quatro Rodas	30
4.1. Exemplos de Aplicação	31
4.2. Honda Prelude	32
4.3. Direção nas Quatro Rodas Depende do Ângulo de Direção	33
4.4. Sistema Eletrônico Direção Passiva nas Rodas Traseiras	39
4.5. Sistema CATT	43
4.6. Modelamento matemático para o sistema 4WS: Direção cinemática	46
4.7. Esterçamento 4WS	49
5. Pneu	53
5.1. Rigidez do pneu	56
5.2. Resistência ao rolamento	57
5.3. Força longitudinal	60
5.4. Força lateral	62
6. Testes	62
6.1. Protótipo em escala	63
6.2. Protótipo de bancada	67
7. Tendências Futuras	72
7.1. Sugestões de Projetos Futuros	75
8. Conclusão	76
9. Referências	78
10. Apêndice - Programação	83
10.1. Apêndice 1 - Fluxogramas	85

10.2. Apêndice 2 - Passo-a-passo da montagem do protótipo em escala.....	88
--	-----------

1. Introdução

É desconhecido para muitos, sejam motoristas, sejam profissionais da área automobilística, e até mesmo pode parecer uma tecnologia recente, porém, sistemas com direcionamento do eixo traseiro esterçante não surgiram muito distantes da primeira patente de um veículo auto propelido, sendo ele, segundo Froes, o Triciclo de Benz de 1886 [1]. Ao pesquisar nas Tendências do Google se nota o pouco conhecimento do público quanto ao tema [51], que se fosse mais difundido evitaria tantas reprovações nos exames à primeira habilitação, 30%, conforme Gazeta do Povo (2006) e na frustração dos motoristas quanto à possibilidade de estacionamento nas grandes metrópoles, 80%, conforme Sygic (2015) [49, 50].

Segundo Kimes (2013), em 1903 a *Cotta Automobile Company* dos Estados Unidos foi a primeira empresa a lançar veículos a vapor literalmente 4x4, isto é, tanto tração nas quatro rodas como direção nas quatro rodas [2, 3]. Conforme Georgano (2001) no mesmo ano a patente fora vendida para uma marca que abraçou totalmente a ideia, a *Four Wheel Drive Wagon Company*, onde somente de 6 a 16 veículos foram produzidos [4, 5]. Em concordância com Niemann (2002) concomitante com Kraus (2014), em 1907 a *Daimler-Motoren-Gesellschaft* evoluiu com o lançamento do primeiro veículo a MCI com tração e direção nas quatro rodas para uso no dia-a-dia. Um detalhe importante, é que buscaram adotar esse sistema de direcionamento traseiro porque o 4x4 pesava o veículo e causava mais vibrações, com isso não era possível usar a forma usual das engrenagens cônicas nas rodas que seguiam o ângulo de direção de forma telescópica, tendo que envolver as partes sensíveis em um invólucro cilíndrico estável, esta solução restringiu severamente o ângulo de direção dianteiro a no máximo 23°, para corrigir isso que tomaram como medida o uso do eixo traseiro esterçante [6, 7]. Segundo Schrider (2008), em 1927 a *Società Automobili Brevetti Angelio* (SABA) da Itália, também buscou produzir seu protótipo com direção nas quatro rodas, o Stelvio, era um veículo 1.0 de 22 cv, todavia seu projeto não foi para frente, sendo encerrado em 1928 [8]. Conforme Oswald (1987), em 1936 a Daimler-Benz quase iniciou uma nova era dos veículos bidirecionais, o Mercedes-Benz W-139, também denominado 170 VL. Se tratava de um veículo 1.7 de 38 cv, 100 Nm que desenvolvia até 82 km/h e com a direção em todas as rodas somente 30 km/h, que será explicado o porquê no capítulo 4 desta monografia. Ou seja, era possível

desligar o sistema de direcionamento traseiro quando não fosse mais tão necessário, para curvas fechadas de baixas velocidades. As rodas traseiras são suspensas em um eixo giratório com mola helicoidal, o eixo dianteiro com duas molas de lâminas transversas. O 170 VL, apesar da originalidade frente a seu antecessor, 170 VG, retrocedeu em outros quesitos, como não sendo mais possível desconectar o sistema 4x4 quando preciso, para à época isso era mais importante do que redução de raio de giro, com isso, o Mercedes-Benz W-139, vendeu somente 42 unidades. De 1937 a 1941 a Daimler-Benz lançou o Mercedes-Benz W-152, também chamado de tipo G5 *Kübelwagen*, outrossim com direção nas quatro rodas, de motor 2.0 L, 45 cv de potência, 125 Nm de torque e velocidade máxima de até 85 km/h. As rodas traseiras e dianteiras estão suspensas em um eixo giratório com mola helicoidal e o dianteiro com braços duplos. Desenvolvido para fins militares e civis, concerne de um carro colonial de caça. Dessa vez vendendo mais que seu antecessor, 378 unidades, quase que totalmente por importação [9]. De acordo com Oswald (2004), em 1938 a Wehrmacht também lançou seu modelo de carro padrão, mais especificamente na linha leve *off-road* com direcionamento nas quatro rodas, inclusive produzidos pela BMW, denominada BMW 325, contudo com o estopim do uso militar na segunda guerra seu uso não era ainda adequado, tendo uma rejeição de cerca de 90% por parte dos soldados [10].

Segundo a enciclopédia eletrônica alemã Wikimedia, após um hiato de 45 anos a Honda quebra paradigmas, com o primeiro veículo de direção nas quatro rodas para produção em série. De 1972 a 2002 surge o cupê esportivo médio Honda Prelude, totalizando uma marca de cinco gerações seu nome não é mera questão do acaso, ele passa a ser um divisor de águas no segmento de direção nas quatro rodas. Durante seu curso de construção inúmeras inovações entraram em série pela primeira vez. Na Alemanha mesmo ele só passou a ser disponível no final do ano 2000 e nos Estados Unidos no fim de sua linha em 2002. De tão importante que foi para a indústria automobilística, embora subestimado, poder-se-ia fazer um artigo completo sobre esse emblemático carro. Dentre as inovações podemos citar da sua primeira geração: em 1978 um teto de vidro deslizante operado eletricamente e em 1980 era uma transmissão automática de três velocidades denominada *Hondmatic*, segundo informações do próprio manual do Honda prelude de 1987.

Na sua segunda geração: foi o primeiro motor 1.8 L de três válvulas com carburadores duplos e uma transmissão automática de 4 velocidades para todos os

modelos. Fazendo jus à sua fama de pioneiro, foi o primeiro carro japonês com sistema de freios ABS. Na versão 2.0 L veio com injeção múltipla e em 1985 com conversor catalítico. Outra inovação foi vincular um sistema de navegação a bordo, além disso introduziu pela primeira vez uma suspensão de braço duplo triangular para produção em série.

Não obstante, só com a sua terceira geração, parte o uso em série da direção mecânica nas quatro rodas, na Honda este sistema é intitulado de 4WS (*Four Wheels Steering*), remete de um veículo top de linha, 1.9 L, com 145 cv de potência, 180 Nm de torque e velocidade máxima de 212 Km/h. Além disso vinha equipada com um sistema de tração ASR e diferencial de deslizamento limitado. Tais feitos fizeram com que fosse eleito o carro do ano pela *Wheels Magazine* na Austrália. A direção funcionava mecanicamente com tração planetária, rodas grandes e um pequeno ângulo de direção. A caixa de direção 4WS (Esterçamento nas Quatro Rodas) será abordada em detalhes no capítulo 4.2.

Em 1992 surge outra divisão do sistema de esterçamento nas quatro rodas, dessa vez a quarta geração do Honda Prelude inova com o sistema passivo, melhor dizendo, um sistema não mais mecânico, mas sim controlado e supervisionado por sensores que percebem o direcionamento do volante e o enviam para uma unidade de controle eletrônico (ECU) traseira que inverte o sentido da direção quando em baixas velocidades e, o mantém para a mesma direção quando em velocidades superiores a 30 km/h. Outros tipos de sistemas de direção passiva, incluindo o francês CATT, serão abordados no capítulo 4.5 desta monografia. Com a sua última e 5ª geração, em 1997, a inovação técnica concerne a introdução da Distribuição de Força Motriz Ativa Controlada Eletronicamente que reduz a tendência de subesterço nas curvas ao girar a rodas externa com mais rapidez e força. Graças a essa implementação foi eleito o “carro de melhor controle abaixo dos 30 mil dólares” pela revista *American Car and Driver Magazine*, no mesmo ano de seu lançamento [12, 13].

Desde então muitas outras montadoras japonesas lançaram modelos com direção nas quatro rodas, como Mitsubishi Sigma, conforme a revista alemã *Auto+Motor Technik Teste* (ed. 51. 1991) [14], em 1993 Mitsubishi 3000 GT, em consulta ao próprio manual do veículo [15], Nissan 300 ZX, conforme Covelos (2002) [16], Nissan Skyline V35/V36, conforme consulta ao manual do veículo de 1997 [17] e o Mazda 626 GT, conforme consulta ao manual do veículo de 1988 [18]. Nesse ínterim

A BMW trouxe melhorias no BMW Série 8 de 1989 a 1999, com a Cinemática do Eixo Traseiro Ativo, uma tecnologia afim de minimizar o risco de derrapagem no caso de manobras evasivas repentinas, conforme Dietsche, na 25ª edição do Livro de Bolso Automotivo, em tradução livre [19]. Entrementes, segundo a enciclopédia eletrônica alemã Wiki, a montadora francesa Renault foi a última indústria a produzir carros com direção integral, de acesso ao público, sendo eles o Renault Laguna GT [20], Renault Talisman conforme a Wikipédia a enciclopédia livre [21] e Renault Megane, em concordância com Reinz (2017), no site alemão Auto Motor Und Sport [22]. Doravante somente montadoras de luxo continuaram com a implementação desse segmento, sendo elas as alemãs Audi, segundo Wiki [23] e Porsche com seus modelos Q7 4M e 991 respectivamente, segundo a matéria *Aktive Hinterachslenkung: Was kann diese Technik?*, no site alemão t-online [24], a chinesa Infiniti com o QX70, a japonesa Lexus no modelo GS, conforme Wiki [25, 26] e as italianas Lamborghini e Ferrari com seus modelos Aventador, F12 e GTC4 Lusso [27, 28 e 29] respectivamente, segundo ficha técnica disponível no site oficial das montadoras. Todas elas usando o sistema passivo, controlado eletronicamente, que serão melhor abordados no capítulo 4.4 desta obra.

1.1. Objetivo: Explicar o funcionamento de tecnologias de sistemas de direção veiculares, com foco em sistemas de direção do eixo traseiro, para isso entender a história e sua evolução são essenciais, além de componentes e sistemas envolvidos, como sistemas servo assistidos, volantes, rodas e pneus. Ao se mostrar o entendimento do princípio de funcionamento montar uma miniatura física e também um projeto em escala real.

1.2. Motivação: As tecnologias de mecânica automobilística evoluíram muito no quesito conforto, segurança e performance, doravante, sistemas de mobilidade, principalmente tecnologias de direção veiculares se limitaram à facilidade de esterçamento do volante servo assistido. Todavia, fora do âmbito nacional, já existe uma atenção quanto à essa necessidade premente. Em português mesmo a quantidade de material e pesquisa são absolutamente escassas. Sendo ainda tal desenvolvimento de tecnologia de extrema importância para a agilidade e facilidade de manobra nas grandes metrópoles. Ademais, podendo inclusive redimensionar o

uso dos espaços urbanos. Sistemas de manobrabilidade possuem grande relevância quanto a melhoria da saúde mental dos motoristas, e os autores estão motivados a aquecer essa inovação para o país e para a comunidade científica brasileira.

2. Revisão Bibliográfica

Segundo Oliveira, o desenvolvimento de um sistema novo de munhão do semieixo, irá melhorar o desempenho das peças que o formam quanto a geometria da direção, devido às modificações na estrutura do veículo, referente a prática de modalidades Off-Road (Fora de Estrada). Devido as inúmeras modificações na estrutura do veículo, para prática do esporte fora de estrada, e o não cuidado de adaptar corretamente essas peças, em consequência, acontecem quebras de componentes. Os resultados demonstram que segundo as simulações, o projeto possui uma segurança confortável para a aplicação, porém procurando evoluir, ele possui upgrades que ajudaria a melhorar o produto como: O emprego de aço de baixa liga, na manufatura do munhão, para garantir resistência e estabilidade do processo e por fim a troca da trava do garfo para cruzeta com trava interna, pois reduziria uma eventual fadiga da região e a troca do pino dos mancais, para reduzir a concentração de tensões na interface flange e o eixo. Conclui-se que devido ao crescimento do esporte fora de estrada o mercado desse nicho de negócio tem crescido e esses projetos desenvolvidos, foi possível identificar pontos em que caberia uma melhora em prol da confiabilidade e desempenho, para manter a integridade do produto. O projeto tem capacidade para ser fabricado, mas desde que haja testes em protótipos para encontrar erros no produto que passariam despercebidos [30].

Conforme Malheiros, foi desenvolvido um sistema de suspensão frontal, para um veículo *Off-Road* (Mini Baja). O projeto demonstra a dificuldade que uma suspensão frontal de um veículo, tem de entregar um desempenho satisfatório em um piso *Off-Road*, mais adequado e aliando a sua potência, para trazer mais estabilidade a suspensão. O resultado indica que esse estudo, precisa de aprofundamento e revisão, pois requer uma homogeneização entre seu funcionamento e seus princípios, apesar de trazer alguns resultados promissores, ainda precisa de revisão de seu mecanismo. Esse projeto, mostrou algumas vertentes, como: dificuldade para encontrar literatura nacional adequada, o que levou a pesquisar em literatura

estrangeira, a adaptação de conceitos para colocar em prática, sendo necessário o domínio para trazer resultados específicos e por fim, depois das dificuldades encontradas, houve uma melhora da manobrabilidade do veículo significativa [31].

Como dito por Lopes, o projeto tem como objetivo a implementação de um sistema de controle de tração, através de um modelamento computacional para verificar seu comportamento dinâmico em um veículo e em segundo plano a utilização da Transmissão Continuamente Variável (CVT), ambos utilizados em um veículo *Off-Road*, de tração integral. A utilização de novas tecnologias como o Sistema de Controle de Tração (TCS na sigla em inglês) e CVT em conjunto, tanto por veículos *Off-Road* e militares, visa evitar um grande problema que os atinge, que são os terrenos desconhecidos, pois evitaria perda de tempo e esforços desnecessários, aumentando a eficiência e segurança desses veículos. A análise traz resultados, que a implementação do CVT, elimina fortes picos de força, o que pode provocar vibrações e prejudicar o conjunto por um todo, ele também acaba garantindo um melhor desempenho do motor e do *powertrain* (trem de força) e por fim, essas caixas são comparadas com relações próximas, a partir do momento que a relação é alterada, o desempenho é modificado também. O seguinte projeto conclui, que o tema tem potencial para ser estudado mais detalhado. Os efeitos do TCS sobre o chassi não são perceptíveis hoje, mas fica de estudo para uma configuração de controle diferente dele, como uma atuação na borboleta do acelerador ou na roda e o CVT, ser controlado de forma eletrônica [32].

De acordo com Freitas, o dimensionamento e modelamento de uma caixa de direção, para veículo *Off-Road* (Protótipo Baja), visa a geometria da caixa, para minimizar os efeitos gerados pela dinâmica veicular. Aumentar a segurança do projeto na caixa de direção irá evitar problemas pois geralmente são fabricados de forma intuitiva e adaptados quando deveriam ter como base cálculos e dimensionamentos de forma técnica. Os principais resultados foram encontrados a partir de pesquisa *benchmarking*, com as equipes Baja da Sociedade dos Engenheiros Automotivos (SAE na sigla em inglês), onde foi possível encontrar um resultado significativo de equipes que não fizeram o correto dimensionamento, o que levou a uma maior ocorrência de problemas e conclui-se que o atual gerenciamento de ideias intuitivas deve ser revisto. Conclui-se que utilizado ferramentas de *benchmarking*, os resultados foram satisfatórios, pois o modelamento e dimensionamento da caixa de direção ajudaria a diminuir o arrasto dos pneus em linha reta. Também fica de atualização

para futuros projetos o dimensionamento de uma suspensão que irá auxiliar o desempenho dinâmico do veículo [33].

Fernandes analisou os sistemas de suspensão e direção em conjunto, assim como sua funcionalidade em um veículo Off-Road (Baja) em testes em curvas para creditar suas qualidades, defeitos e possíveis melhoras no sistema [34]. Fica evidente que o veículo em uso, demonstra perda de aderência em curvas e sua velocidade média diminui. Sua suspensão dura, contribui para esse diagnóstico, o que pode decretar perda de segurança e desconforto para quem estiver dirigindo. Num todo os objetivos propostos para testes foram atingidos, mas é importante salientar alguns pontos, como: a cambagem até um certo limite ajuda a melhorar a aderência da dianteira e potencializar a capacidade do veículo de fazer curvas e, por fim a redução do raio de curva ajuda na redução de 30% em comparação a testes anteriores. O objetivo desse trabalho foi analisar de forma consistente os sistemas em conjunto de suspensão e direção e criar uma metodologia de solução, que não visa apenas o veículo Baja mas todas as variantes de veículo, porque são conceitos básicos de fundamentos de dinâmica veicular, como: a variação de cambagem, raio de curva e a rigidez da mola, que tem efeito total para impedir a suspensão filtre as imperfeições do terreno. Por esses fatos é importante criar uma metodologia de solução para criar um veículo com bom comportamento de sua dinâmica veicular, em qualquer tipo de aplicação [34].

Silva simulou a fadiga do conjunto de suspensão Duplo A, por um veículo *Off-Road* Baja, através do software ANSYS em conjunto com o terreno acidentado. Devido à falta de resultados confiáveis por meio de testes passados a criação de um modelo para conferir com exatidão, através de um software e componentes da suspensão, recebendo cargas abruptas iria auxiliar em dados com maior eficácia. Os dados da simulação demonstram que as condições mais críticas, foram na ponta de eixo e na bandeja inferior, devido ao seu limite de escoamento do aço, ser menor em comparação a ponta de eixo, também podendo haver falha porque é um ponto crítico, onde há solda na região das chapas utilizadas no amortecedor, ocorrendo tensão devido ao solo acidentado. Conclui-se que a utilização de um software aliado a excitação do solo, promovem resultados sensatos, para obtenção do dimensionamento correto em condições *Off-Road*, para componentes de suspensão automotiva [35].

Em conformidade com Moraes, Souza e Menezes utilizou-se a rigidez torcional, como elemento principal na obtenção de design de chassis futuros, foi criada uma metodologia de elementos finitos para avaliação, no caso de transferência de carga lateral. A falta de rigidez no chassi pode ocasionar comportamento do veículo imprevisível como fadigas nos componentes, como: dificuldade de distribuição de carga lateral, falta de dirigibilidade, vibrações e por fim deslocamentos no chassi, que afetam a suspensão e assim não garante o controle dos pneus no solo. Fica claro que a utilização de gráficos como simulação, por parte de elementos finitos, demonstra a diferença clara de força colocada de 100 N em 100 N, até 1000 N, que o gráfico toma uma linha exponencial, tanto mínimo como máximo da rigidez torcional, em um chassi, com diferenças perceptíveis. A comparação teórica e prática mostra um erro de 1%, enquanto o aceito é até 20%, o que valida esse método novo. Calcular a rigidez torcional é um parâmetro importante pois validou o uso de elementos finitos para futuros projetos [36].

Em concordância com Ohara foi desenvolvido um modelo matemático, que irá analisar o comportamento dinâmico do veículo, referente a geometria de direção com esterçamento nas quatro rodas. Comparando quatro tipos diferentes de estudos, um detectou que esse tipo de geometria possui comportamento subesterçante, devido à diminuição do ângulo de escorregamento ocorre o aumento da sensibilidade da direção, acarretando problemas com a estabilidade com maior frequência. As simulações apontam que existe um desempenho satisfatório e por isso é capacitado para funcionar em situações críticas. Conclui-se que apesar da complexidade e as dificuldades para criação do modelamento 4WS, ele não apresenta dificuldades para o entendimento. Fica para pesquisas futuras a dinâmica veicular, entre suspensão e direção e a introdução do sistema de controle de estabilidade [37].

Kumar (2019) por meio de cálculos teóricos, práticos e simulações no software solidworks demonstrou como se faz a montagem de um veículo com direção nas quatro rodas, fabricado pela própria equipe e inspirado no básico do sistema 4WS do Honda Prelude, com suas vantagens e desvantagens. A motivação dos pesquisadores sobre este tema foi por observarem que a indústria automobilística avançou muito nos aspectos de conforto e segurança, porém contrasta em como as tecnologias de sistemas de direção são ignoradas. Sendo nativos do segundo país mais populoso, a Índia, citam diversas vezes sobre como esse sistema poderia ser útil em condições de congestionamento de trânsito intenso e para manobras de baliza. A metodologia

funciona da seguinte forma: o torque do volante é transferido para o pinhão que por sua vez, fornece movimento de translação para o rack frontal da direção dianteira. Há um caixa de comutação, operada por meio de alavanca que muda entre manobras de altas velocidades para manobras de baixas velocidades, ou seja, há a possibilidade de desengate em altas velocidades. O mecanismo de comutação do fornecimento de giro para as rodas traseiras inverte a posição das rodas do eixo traseiro com as do eixo dianteiro. Contém dois conjuntos de cremalheira e pinhão colocados ortogonalmente entre si. O torque é transferido do volante ao pinhão que, por sua vez, fornece o movimento linear para rack dianteiro. Outra cremalheira é soldada nesta cremalheira principal, com seus dentes em sentido ortogonal para formar movimentos com ela. O pinhão é conectado a um eixo que desliza dentro de outro eixo circular com auxílio de uma alavanca. Este pinhão transfere o torque para cremalheira traseira e o conjunto de pinhão, através de eixo circular que gira as rodas traseiras em uma trilha contraditória da roda voltada para a frente. Como vantagem, observou que seu veículo de teste, em um sistema convencional realiza um raio de giro de 4,4 metros, contra o mesmo veículo não equipado, porém equipado com o sistema 4WS faz em 2 m e 59 cm e 6 mm, uma vantagem de 59% e uma diferença de 1,8 metros. O principal problema apresentado por este projeto é que um guia de cremalheira e pinhão comum com o suporte pitman não está dando bons resultados e não é adequado para um sistema 4WS [40].

Genta (2009) em uma obra consagrada, o livro *Mechanical Engineering Series*, tem o propósito de ensinar passa-a-passo os sistemas mecânicos propostos em seu sumário, não é um conteúdo tão generalista como o manual automotivo da Bosch, porém com afinco no que aborda. Em uma breve passagem sobre o 4WS do Honda Prelude, na maioria dos veículos com dois eixos, somente as rodas dianteiras são direcionais. Porém, a partir da década de 1980, começou a se expandir esse mercado, sendo a maioria deles japoneses. A direção simples nas quatro rodas, também chamada de direção passiva, é aquela que o sistema de direção frontal é ligado a um eixo traseiro. A direção ativa ocorre quando existe um segundo dispositivo de direção, operado pelo motorista junto com o do eixo dianteiro por meio de atuadores que percebem o ângulo de giro e enviam para o sistema traseiro. Em baixas velocidades o eixo traseiro vira na direção oposta, se os valores de ângulo e direção são absolutamente iguais, o raio de manobrabilidade é reduzido para a metade. Todavia

é preciso muita atenção, pois ter os ambos os eixos direcionais imprime quatro graus de liberdade, o que pode comprometer a segurança do veículo [41].

Chollete (1995), no livro suíço *Cours Pratique Pour Mécaniciens D'Automobiles*, visa preparar o aluno para que aprenda a fazer o diagnóstico da origem do defeito, sem precisar ficar refém de aparelhos de controle como o escâner, doravante, muitas oficinas nem mesmo estão equipadas com tais instrumentos ou mesmo eles podem estar inoperantes, logo, é de extrema importância que o mecânico de automóveis seja treinado para identificar essas falhas por sua própria sensibilidade e experiência. A definição de Direção para o autor é: “A direção é composta por todos os elementos que contribuem para a condução do veículo. (...) do seu estado e regulagem dependem do comportamento do veículo em marcha, a segurança dos ocupantes e dos demais usuários da via.” (Chollete, 1995). Um dos problemas apresentados durante a leitura é a de ser um manual com linguagem antiga, e apesar de rico em ilustrações ainda é insuficiente, pois cita componentes onde o leitor precisa simplesmente imaginar a figura. Chollete é profundo no conteúdo em citar muitos termos ignorados por outros manuais como: ponto duro, chumaceiras, tubagem by-pass na direção hidráulica, cálculos de geometria de queda da roda, ângulo de rotação, diagrama de Jeantaud, bordejo etc. [42].

Costa (2019) no artigo Análise do Dispositivo Mecânico Diferencial tem como objetivo fazer uma explicação geral sobre Sistemas de Diferenciais Automotivos. Como se nota pela divisão do trabalho:

- I. Abordagem Histórica
- II. Processos de Fabricação
- III. Tipos e Bloqueio do Diferencial
- IV. Funcionamento
- V. Problemas Comuns

Um dos problemas propostos pelo artigo é:

- I. Antigamente somente uma das rodas era ligada ao motor.
- II. Pouco material nacional, somente 2 de 20 das referências bibliográficas.
- III. O Diferencial Aberto (o mais comum) tem problemas de funcionamento em pistas escorregadias, como lama e gelo, o que não adianta fornecer mais torque, apenas escorregará mais rápido as rodas, ou seja, mesmo que uma das rodas perca aderência não há bloqueio, distribuindo igualmente o torque para as rodas do eixo trativo. No Diferencial Auto Bloqueante de Embreagem - Sistema LSD, parte desse

problema foi resolvido, e ainda é um diferencial muito comum. O Torsen é o mais moderno, distribuindo até 75% do torque para o eixo com maior tração. Como resultado, polpa o leitor de fazer uma pesquisa genérica, funcionando muito bem como consulta de referencial teórico para ministração de aulas. Concluimos, logo, que se precisa de material nacional de qualidade. Não trouxe informações sobre como poderíamos usá-lo concomitantemente para o eixo frontal e teve pouquíssima explicação sobre a parte que mais interessava ao nosso TCC, porém ajudou a lembrar desse importante item. Todavia, forneceu explicações claríssimas sobre peças e ajudou também com informações sobre montagem. A conclusão final é que o TCC cumpriu bem o tema proposto, mas ainda faltou um pouco de conteúdo sobre as peças históricas que foram revolucionárias, como do trator agrícola que rodava com velocidades diferentes em cada esteira, que mais tarde fora patenteado para o exército. Nota importante que, foi na Primeira Grande Guerra que a tecnologia de diferenciais mais evoluiu, e só após a guerra que compartilharam o conhecimento com o público geral [43].

A Bosch, com seu Manual de Tecnologia Automotiva (2005), conhecida como a Bíblia do Mecânico traz uma importante obra de consulta, em mais de 70 anos de circulação, evoluindo de uma brochura de menos de 100 páginas para o que é hoje com mais de 1200 páginas. Tem como objetivo ser um guia rápido de consulta, e isso pode ser enxergado como um defeito em alguns aspectos para quem procura um material mais profundo. É focado em explicar estruturas mecânicas, e é esse o resultado principal obtido com a leitura. Segundo sua definição no que tange à direção: “A direção converte o movimento giratório executado pelo motorista no volante de direção em movimento angular para as rodas direcionais do veículo” (2005, pg 786). É citado os requisitos que um sistema de direção deve ter, de acordo com a Diretriz Europeia 70/311/EEC, devendo ter sua orientação com resposta rápida e de forma segura. Em veículos de passeio de classe M1 por exemplo deve ser aplicada uma força máxima de 15 N em 4 s com um raio de círculo de 12 m. Devendo ser executado de uma trajetória retilínea para uma espiral em 10 km/h. Os requisitos exigidos do comportamento direcional são: máximo amortecimento de choques da pista sendo transferidos para o motorista; satisfazer as condições de Ackermann; rápida resposta do veículo à correção do volante e retorno imediato à posição central das rodas ao o volante ser aliviado do seu ângulo de esterço. O manual Bosch apresenta também o gráfico de curva característica da parametrização da servo direção, que dificilmente é

encontrado em manuais de Sistemas de Direção Veicular, informações essas essenciais sobre a Redução da Relação de Direção, o que facilita o manuseio do motorista. Portanto, sendo um material que cumpre sua função de ser um guia rápido de consultas, para o uso para artigos científicos recomenda-se ser usado somente como referencial para assuntos comuns [44].

A Escola Estadual de Educação Profissional (EEEP) do Governo do Estado do Ceará, promoveu um material específico, o Curso Técnico de Manutenção Automotiva, uma obra completamente voltada para a abordagem do sistema de direção, com linguagem simples e de rápido aprendizado. O material faz um preâmbulo ao contrastar do porquê de não ser usados guidões em sistemas automotivos de quatro rodas, dentre os motivos a pouca transferência de torque, justamente por isso são utilizados mecanismos onde o volante precisa girar diversas vezes até atingir uma transmissão de movimento e força adequados. A apostila define o sistema de direção como um conjunto de órgão mecânicos que se articulam entre si, possibilitando por sua vez a transferência para as movimentações laterais das rodas dianteiras do veículo, com o fim de realizar a condução do veículo na direção desejada pelo motorista. Para leigos funciona como uma boa introdução, porém a falta de pesquisas mais modernas dispensa-o para usos acadêmicos sofisticados, pois não só desconhece dos sistemas com direção em todas as rodas, como sua reposta para a não utilização é rasa, pontuado somente sobre perca de instabilidade [45].

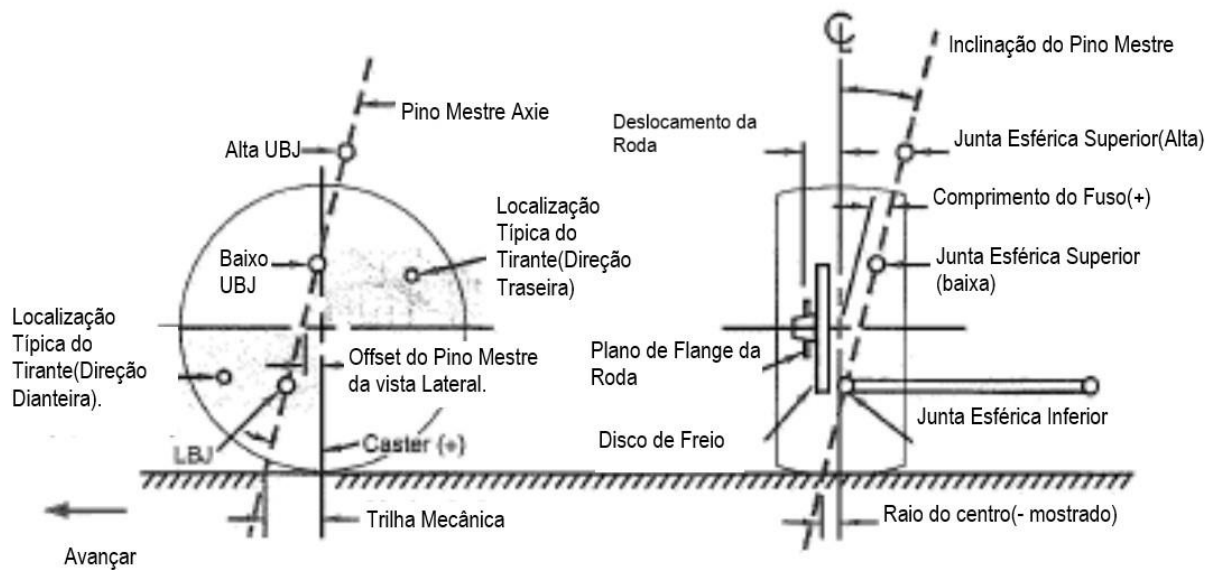
3. Metodologia

3.1. Como Funciona o Sistema de Direção

O motorista ao girar o volante irá acionar o sistema de direção que tem como função direcionar as rodas dianteiras ou traseiras, proporcionando o controle da direção do veículo pelo motorista.

Para elaborar a geometria da direção, deve se atentar para os parâmetros de ângulo de caster, braço de caster, ângulo de pino mestre e braço do pino mestre, como na figura 1.

Figura 1: Geometria do Pino Mestre



Fonte: Ohara (2010)

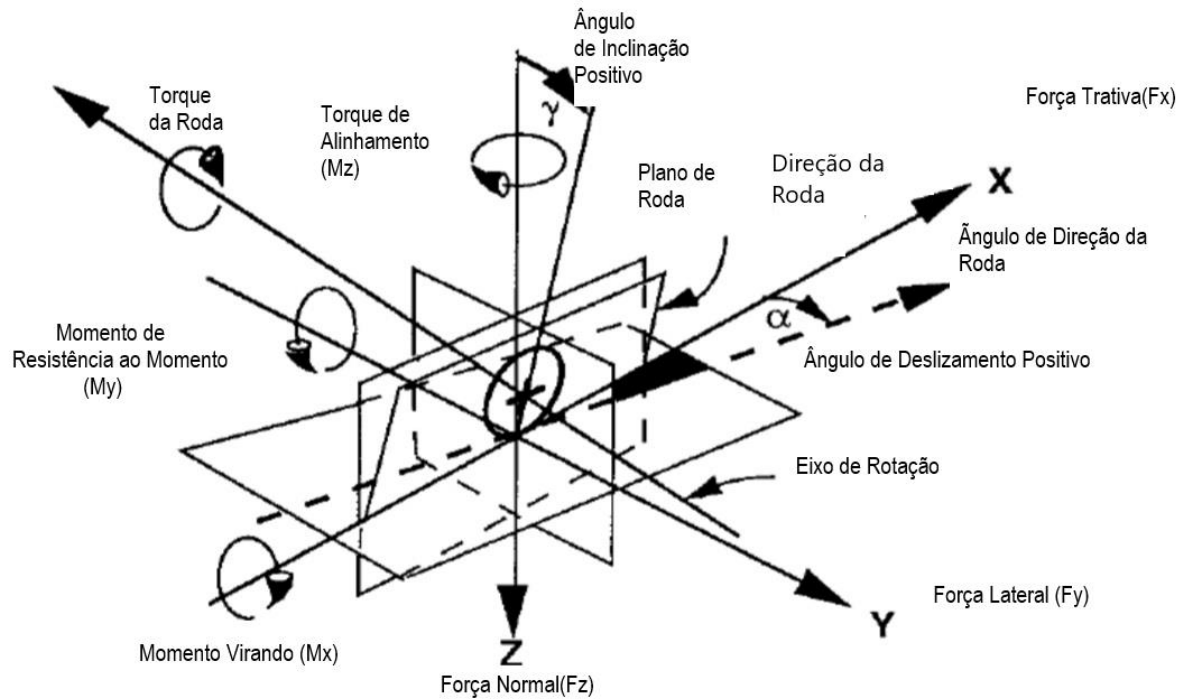
Dependendo de sua construção, o sistema de direção irá receber forças e momentos que iram afetar seu desempenho.

Para se obter o ângulo de esterçamento, é necessário que a roda gire em torno do eixo do pino-mestre, que interliga os terminais rotulares (Ball joint) superiores e inferiores dos braços articulados. Para veículos de passeio o ângulo do pino-mestre está em uma faixa de 10° a 15° em relação à vertical no plano frontal. Esse ângulo faz com que haja uma diferença entre a região de contato do pneu e o ponto de encontro desse eixo com o solo (braço do pino-mestre). (Ohara,2010. P.7).

O ângulo de caster é formado pela inclinação desses pontos no plano longitudinal. E esse ângulo ajuda a criar um momento devido a força lateral em curvas, devido o ângulo formado com o braço a frente do ponto de contato do pneu com o solo.

Geralmente tanto o ângulo de cambagem como a convergência priorizam o baixo desgaste dos pneus em detrimento da dinâmica. A figura 2 demonstra todos os parâmetros como ângulos, forças e torques.

Figura 2: Sistema de Forças e Momentos no Pneu



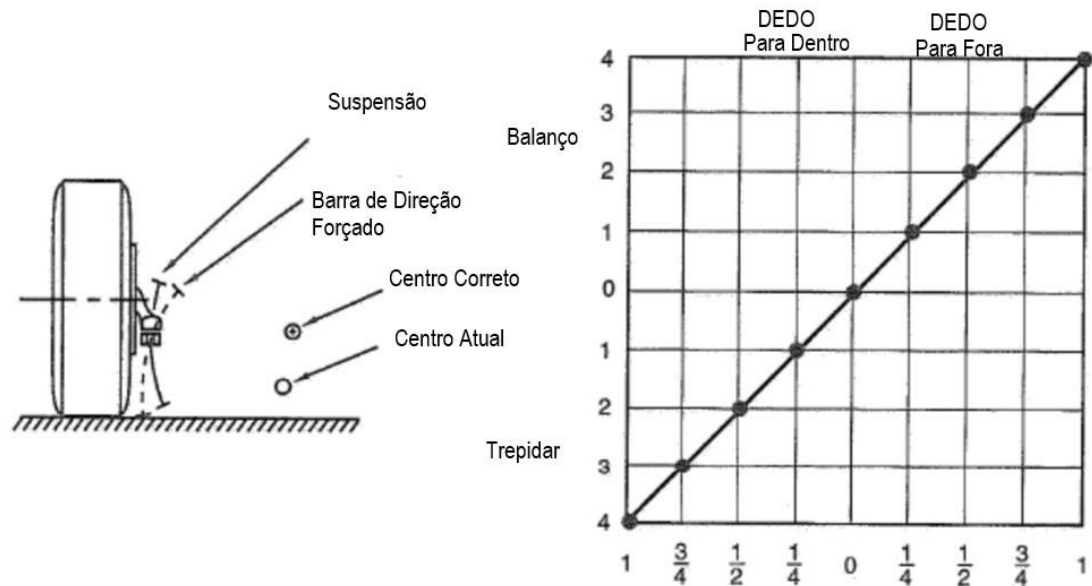
Fonte: Ohara (2010)

3.2. Dinâmica da Convergência da Roda

Em um sistema de direção deve se atentar e analisar a variação da convergência da roda no sentido vertical, verificando o conjunto mola e amortecedor e como se demonstrou a rolagem do veículo em curvas, fenômeno conhecido como *Ride Steer*.

Essa ação interligada da suspensão em conjunto com a direção é devido a diferença no centro instantâneo de rotação, conforme melhor entendido pela explicação gráfica na figura 3.

Figura 3: Geometria do Conjunto



Fonte: Ohara (2010)

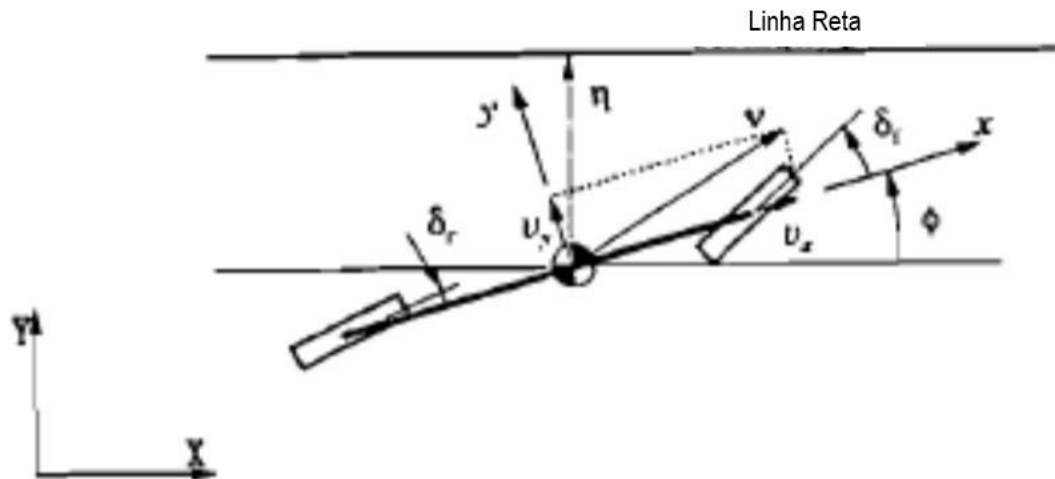
4. Tecnologias de Esterçamento nas Quatro Rodas

Para adentrar ao tema, foi realizado uma revisão bibliográfica de assuntos referentes ao assunto, sendo utilizado como base ao projeto obras acadêmicas, da área industrial e sites especializados.

Há duas maneiras para se aprimorar a estabilidade do veículo em curvas e produzir um comportamento desejado. Uma delas é a introdução de uma suspensão ativa convencional que esteja de acordo com a não linearidade entre as forças verticais e laterais do pneu. Outra alternativa seria adicionar direcionamento nas rodas traseiras, modificando diretamente as forças laterais no pneu. (Ohara,2010. P.10)

Toda equação e análises são realizados a partir de um modelo do tipo bicicleta como melhor entendidos na figura 4.

Figura 4: Modelo tipo bicicleta de um veículo com esterçamento nas quatro rodas



Fonte: Ohara (2010)

4.1. Exemplos de Aplicação

Mesmo não sendo utilizado de forma ampla pela indústria automobilística os sistemas de esterçamento nas quatro rodas, a pesquisa por esse sistema começou em veículos de passeio a partir de 1970.

Um dos principais motivos para a pesquisa dessa tecnologia, é minimizar o número de acidentes com automóveis, e evoluir o sistema de direção, mantendo a segurança e estabilidade do veículo.

Os primeiros sistemas foram construídos de forma mecânica pois eram menos complexos se comparado aos atuais sistemas, que trabalham com eletrônica em conjunto com controle de frenagem, estabilidade e tração.

4.2. Honda Prelude

Lançado em 1987 com uma base puramente mecânica. A Honda tinha dois objetivos ao lançar um carro com direção nas quatro rodas, segundo Honda Oldies:

- 1) Melhor segurança em altas velocidades;
- 2) Melhor manobrabilidade em baixas velocidades.

Figura 5: Honda Prelude 1987



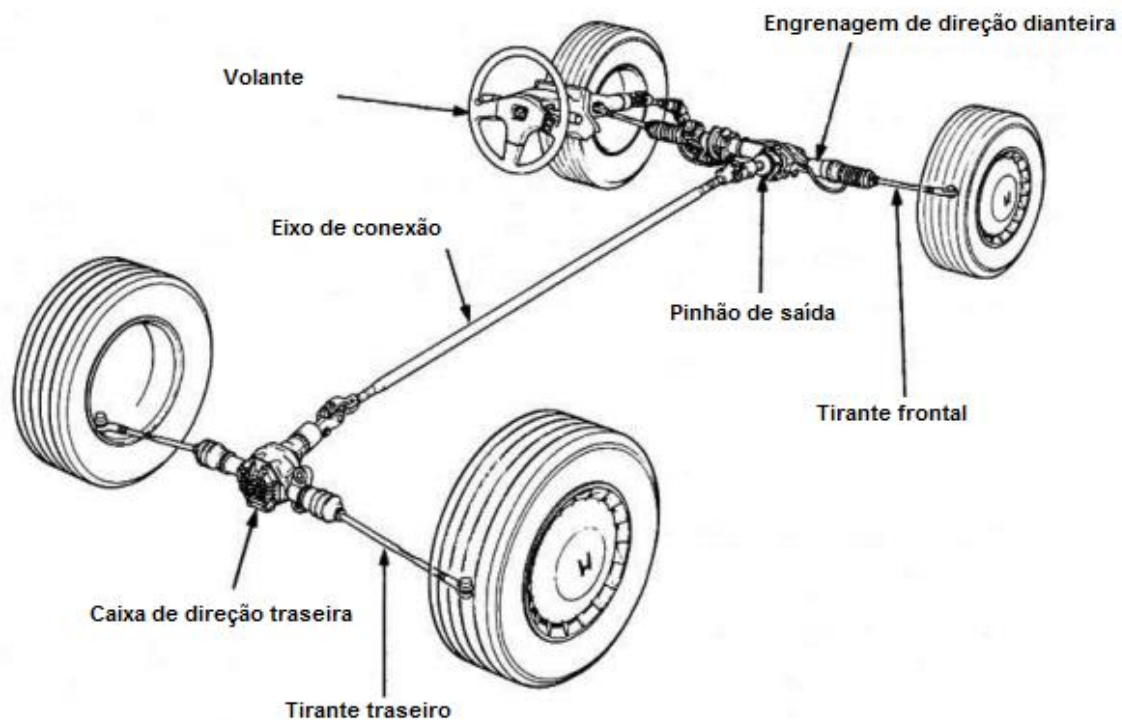
Fonte: <https://www.frwebs.top/ProductDetail.aspx?iid=223703906&pr=72.88> [52]

São objetivos divergentes, pois não funcionam simultaneamente. Por exemplo, se os eixos dianteiros e traseiro giram em sentidos opostos, o raio da curva diminui e há um encurtamento da distância entre eixos, o que contribui significativamente para manobras em baixas velocidades. Se por outro lado ambos os eixos forem direcionados para a mesma direção, aumenta o raio da curva e alonga a distância entre eixos, por consequência aumentando a estabilidade do veículo especialmente para altas velocidades [48].

4.3 Direção nas Quatro Rodas Depende do Ângulo de Direção

Nos primeiros modelos com a base puramente mecânica, por meio do movimento giratório do volante, a caixa de direção do eixo dianteiro recebia a saída de movimento para o eixo traseiro por um pinhão conectado ao eixo de conexão, similar a um cardam. Na caixa de direção do eixo traseiro, esse movimento rotativo do eixo de conexão é transmitido em um eixo excêntrico e uma engrenagem planetária, que movimenta os tirantes traseiros linearmente, que estão presos a articulação de direção traseira. A figura 6 mostra um esquema ilustrando seus principais componentes.

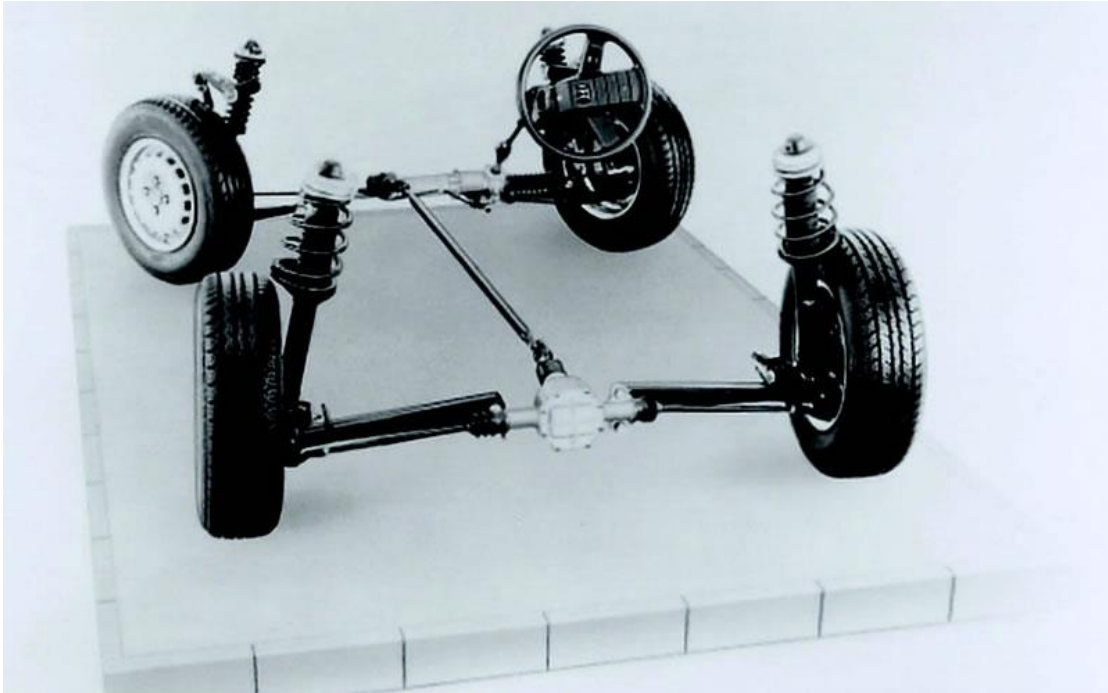
Figura 6: Componentes da direção mecânica 4WS do Honda Prelude



Fonte: <http://www.hondaoldies.de/Korbmacher-Archiv/Technik/4ws.htm> [48]

Na figura 7 temos o mesmo esquema da figura 6, porém com cores realistas em um modelo de bancada.

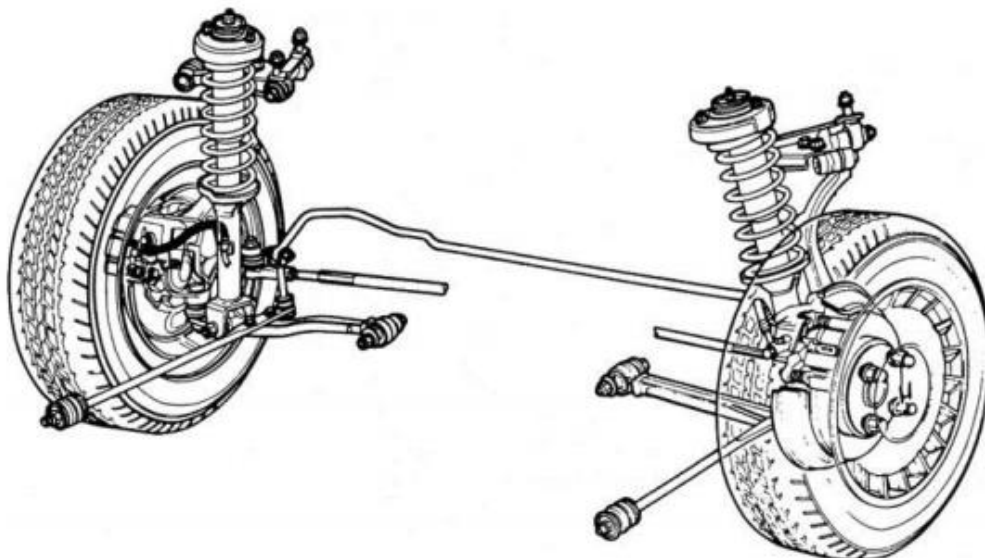
Figura 7: Direção nas quatro rodas, modelo de bancada



Fonte: <https://www.maxrev.de/die-allradlenkung-von-honda-bild-34351.htm> [53]

. Na figura 8 temos o foco no eixo traseiro de um Honda Prelude com direção traseira, mostrando alguns componentes participantes da estabilização do sistema.

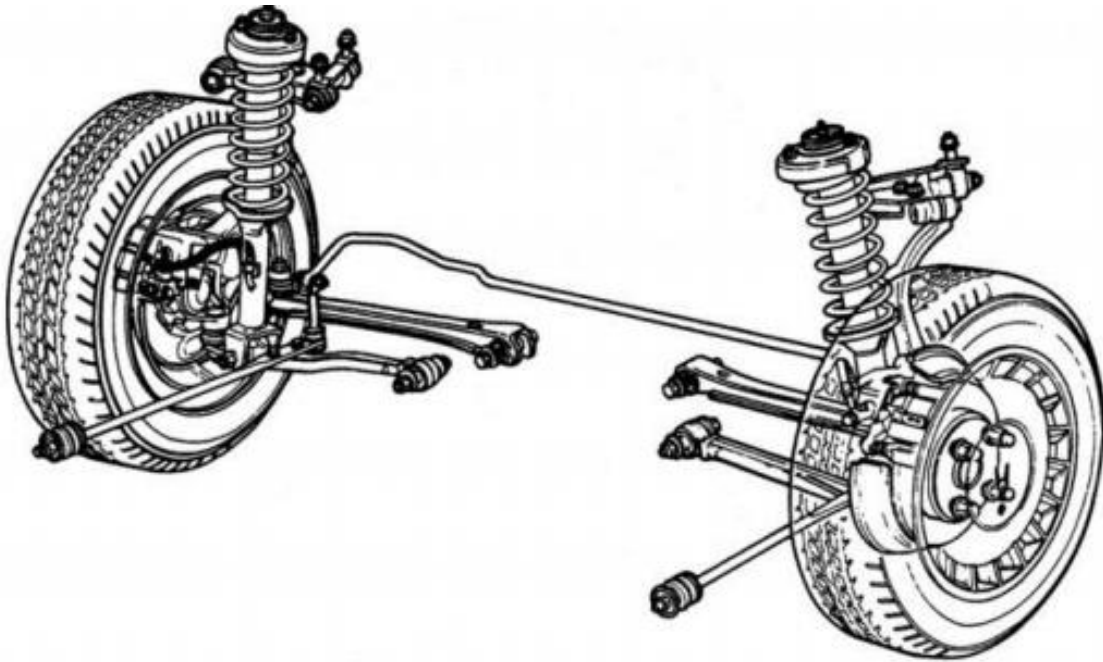
Figura 8: Eixo Traseiro de um Honda Prelude 1987 com 4WS



Fonte: <http://www.hondaoldies.de/Korbmacher-Archiv/Technik/4ws.htm>

Na figura 9, o foco no eixo traseiro de um Honda Prelude sem 4WS, mostrando a diferença das barras estabilizadoras de um eixo convencional.

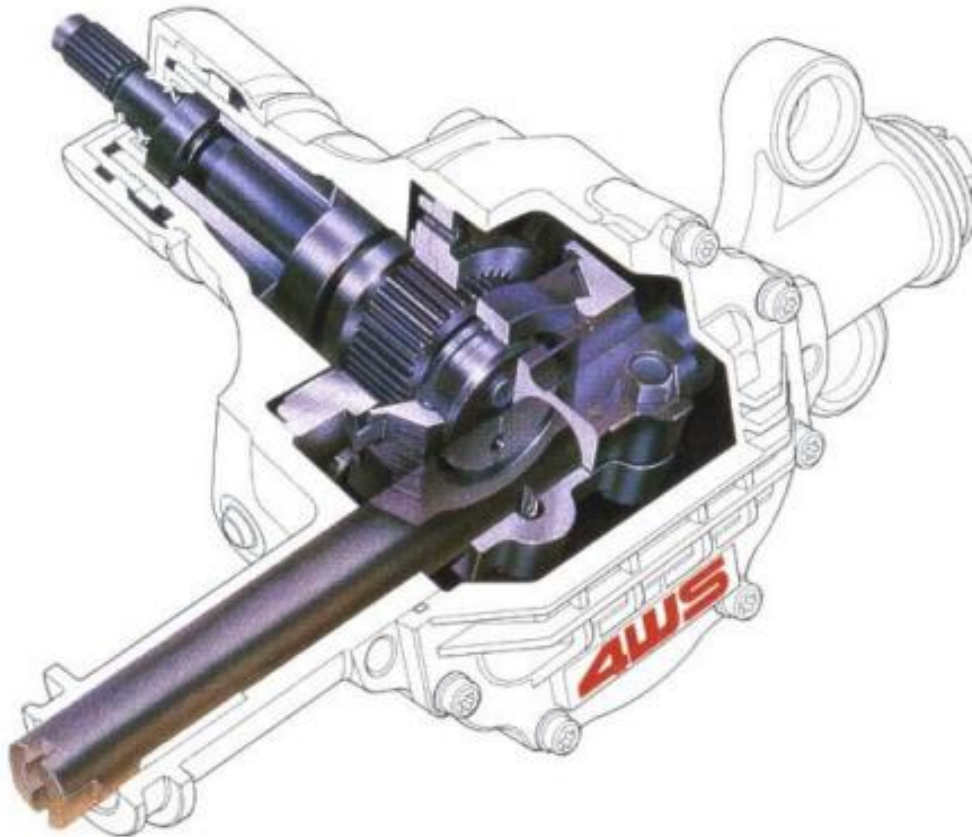
Figura 9: Eixo Traseiro de um Honda Prelude também de 1987, com direção convencional.



Fonte: <http://www.hondaoldies.de/Korbmacher-Archiv/Technik/4ws.htm>

A estrutura da caixa de direção era bastante engenhosa, uma vez que era preciso não só responder ao volante dianteiro, mas também converter ao volante traseiro, na direção oposta e com uma mudança progressiva do ângulo de acordo com a velocidade imposta. Sendo um dos problemas a força para controle dos tirantes traseiros. A figura 10 mostra em corte o esquema da caixa de direção traseira.

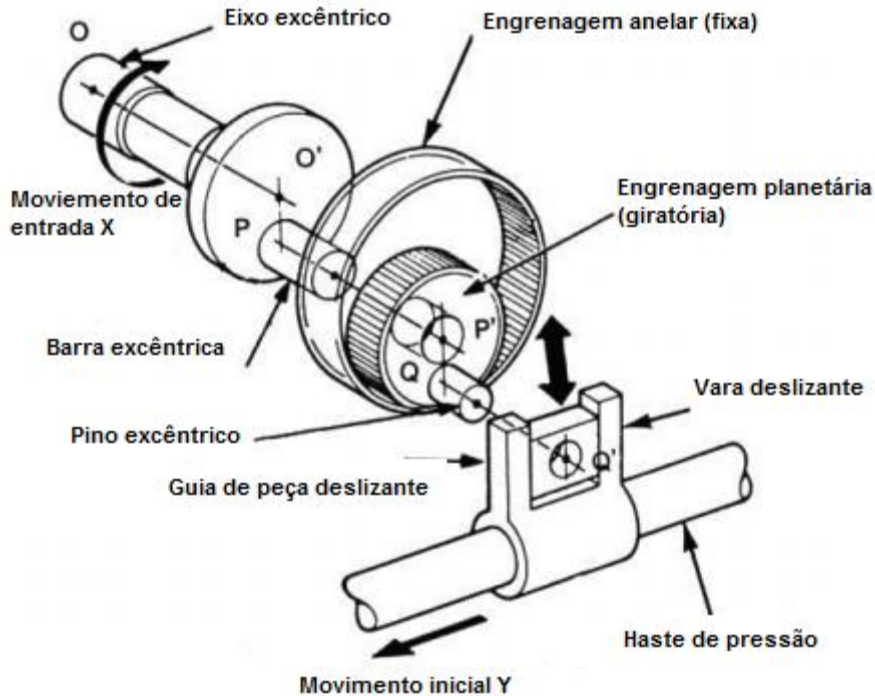
Figura 10: Volante Traseiro de um Honda Prelude 1987 com 4WS



Fonte: <http://www.hondaoldies.de/Korbmacher-Archiv/Technik/4ws.htm>

O eixo excêntrico é uma extensão do eixo de conexão e da junta universal, ligada a caixa de engrenagem de direção traseira. O movimento de entrada do eixo X (sentido da direita para a esquerda da caixa) que ocorre em volta do eixo O (central) faz com que o eixo excêntrico execute um movimento circular em torno do eixo O' a uma diferença entre os eixos P e O'. Como a barra excêntrica está em ligação com uma engrenagem planetária, que gira em uma engrenagem anelar fixa, esse movimento circular do eixo P' é transmitido a essa planetária, que também é soldada a um pino excêntrico e se engata a uma corrediça que está conectada à haste que aciona os tirantes. Desse modo a guia de entrada do furo deslizante se move para cima e para baixo em linha reta, ao mesmo tempo o pino excêntrico empurra o controle deslizante, e assim a haste de pressão, na direção do movimento inicial Y, isto é, na horizontal, para a esquerda e para a direita, conforme ilustração na figura 11.

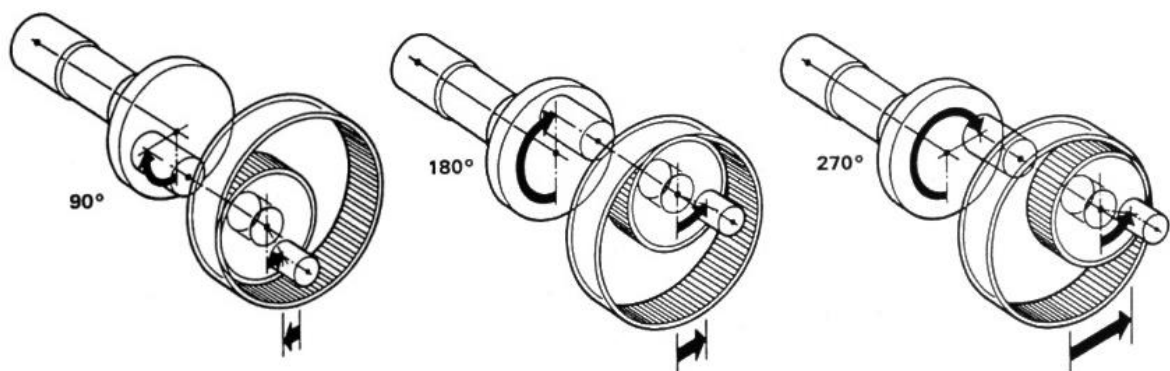
Figura 11: Vista Explodida da Caixa de Direção Traseira do Honda Prelude 1987 com 4WS



Fonte: <http://www.hondaoldies.de/Korbmacher-Archiv/Technik/4ws.htm>

A figura 12 mostra todo o curso de ação, em 90° , 180° e 270° da engrenagem planetária sobre a engrenagem anelar, note a diferença de sentido da planetária para o eixo excêntrico.

Figura 12: Posição da Planetária de Acordo com Movimento do Eixo Excêntrico



Fonte: <http://www.hondaoldies.de/Korbmacher-Archiv/Technik/4ws.htm>

Quando a posição do volante está em 0° a 127° , as rodas traseiras serão viradas gradualmente na mesma direção, com um ângulo de direção total de até $1,5^\circ$. Em valores $>127^\circ$ a direção das rodas traseiras muda gradualmente na direção oposta até atingir 235° com as rodas traseiras novamente alinhadas. Para valores de ângulo $>235^\circ$ até 450° , as rodas traseiras giram na direção oposta, até atingir o ângulo máximo de giro de $5,3^\circ$. Comparando com um Honda Prelude sem 4WS a diferença de raio de giro chega a ser de até 1 m, como explica em Honda Oldies.

Todavia, como este primeiro sistema mecânico reage exclusivamente pelo ângulo de giro do volante, em altas velocidades ao fazer curvas muito rápidas e apertadas as rodas podem girar em sentido opostos, desse modo reduzindo o círculo de viragem, fazendo o veículo ser empurrado para fora da trajetória desejada e ocasionar até mesmo um acidente. Para resolver esse problema em 1991 a Honda lançou seu sistema com direção nas rodas traseiras comandas por controle eletrônico, como comenta o site especializado alemão em veículos Honda antigos. Tal tópico, sobre sistema eletrônico, será melhor abordado no subcapítulo seguinte deste trabalho. Na figura 13, a imagem real de um sistema mecânico da caixa de direção traseira de um Honda Prelude de 1987. Em apêndices os autores mostram no fluxograma 1 o passo-a-passo da sequência de peças que se movimentam para fazer a transmissão dos movimentos para o sistema traseiro de direção.

Figura 13: Caixa de Direção 4WS – Honda Prelude 1987



Fonte: https://en.m.wikipedia.org/wiki/File:Honda_Prelude_Mk_III_rear_steering_box.jpg [54]

4.4. Sistema Eletrônico Direção Passiva nas Rodas Traseiras

O primeiro Honda Prelude com direção nas quatro rodas, controlado eletronicamente e operado eletricamente foi lançado em 1991. Este sim levava em conta não somente o ângulo do volante, mas também a velocidade com que as rodas traseiras giram. A parte dianteira funcionava normalmente com um sistema de pinhão e cremalheira hidráulica. A parte traseira possuía: unidade de controle, sensores e muitos tirantes, segundo o site alemão especializado. Na figura 14, a foto de um Honda Prelude de 1992 com sistema eletrônico de direção traseira.

Figura 14: Honda Prelude 1992



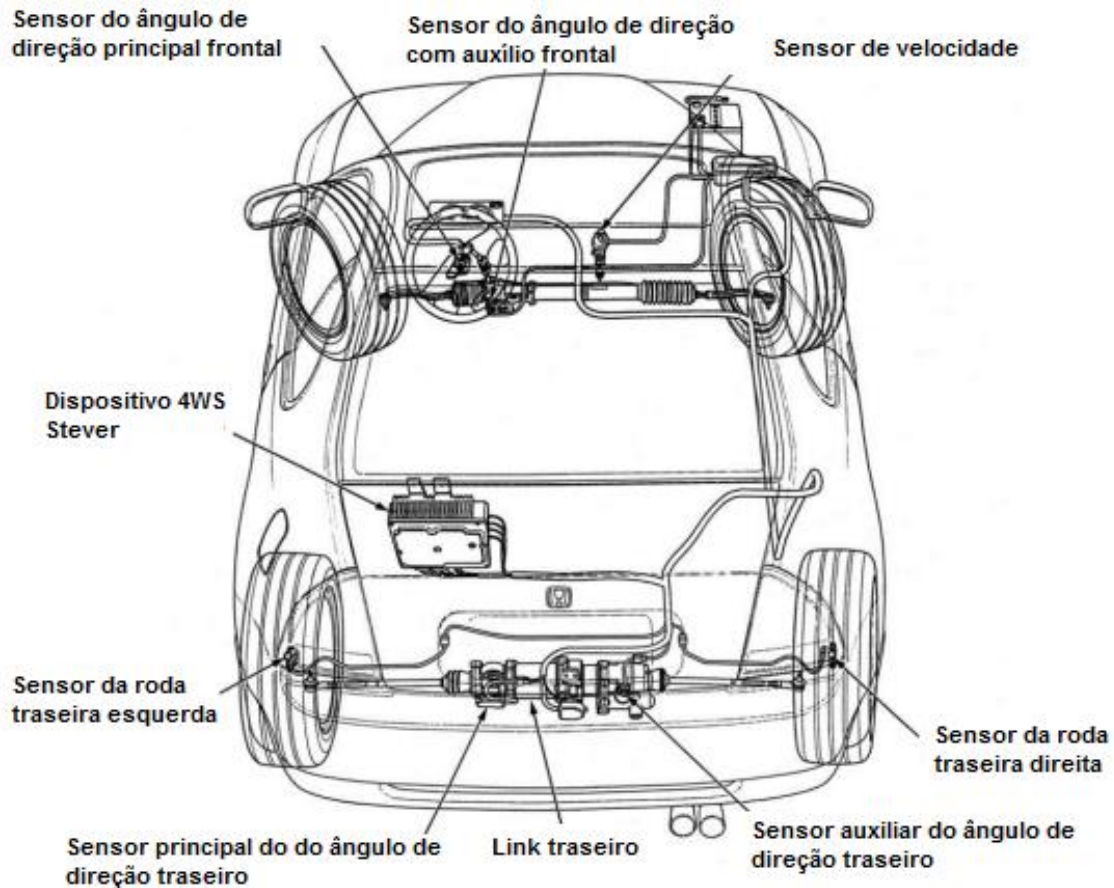
Fonte: Carros.mitula.com.br

Os sensores têm como função fornecer ao dispositivo 4WS Stever informações sobre:

- A velocidade de condução, por meio dos sensores de velocidade e da roda traseira
- A direção e ângulo do volante, por meio dos sensores de ângulo de direção principal e auxiliar dianteiros.
- A velocidade de rotação do volante, por meio dos sensores de ângulo de direção principal e auxiliar dianteiros.
- O ângulo real de direção das rodas traseiras, por meio dos sensores de ângulo de direção principal e auxiliar traseiros.

Na figura 15 uma visão geral dos principais componentes eletrônicos de um Honda Prelude com direção traseira assistida eletronicamente.

Figura 15: Arranjo dos Componentes Eletrônicos de um Honda Prelude 1991

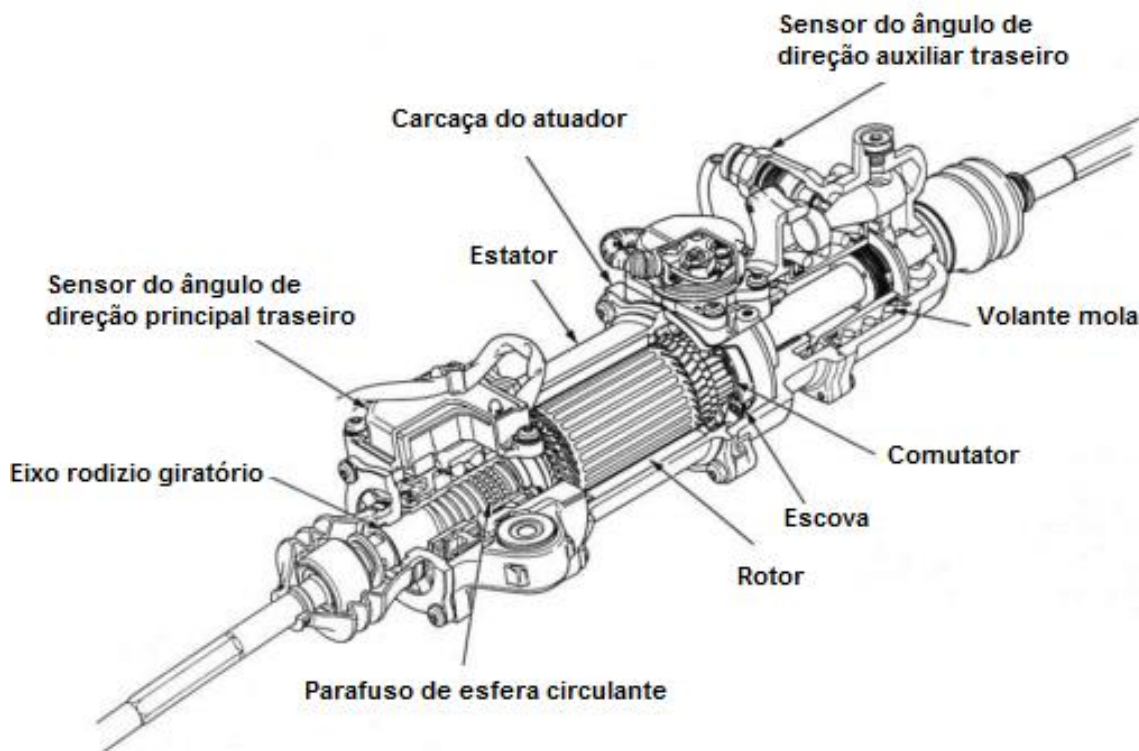


Fonte: <http://www.hondaoldies.de/Korbmacher-Archiv/Technik/4ws.htm>

Em posse dessas informações a unidade de controle do dispositivo Stever 4WS calcula o ângulo necessário da direção das rodas traseiras, convertendo-as em tensão analógica e fazendo com que o motor elétrico de corrente contínua seja polarizado acionando o atuador traseiro de acordo com o movimento solicitado. O motor elétrico funciona em movimento rotativo, o que por sua vez transmite esse movimento para os tirantes, por meio de um parafuso de esfera circulante. A unidade de controle do dispositivo Stever 4WS recebe um feedback se o comando foi operado corretamente, por meio dos sensores de ângulo de direção. Essa explicação pode ser entendida de forma genérica no Fluxograma 2: sistema de direção passiva (eletrônica).

Visto que a tensão analógica não pode falhar, a Unidade de Controle verifica constantemente a tensão real de funcionamento do servo motor no atuador traseiro e a corrige caso necessário. Se a UC detectar que o sistema não está respondendo muito bem, o sistema é desligado com ajuda das molas de retorno do volante da mola do atuador traseiro, que são comprimidas lentamente pelo dispositivo amortecedor e colocando as rodas traseiras lentamente na posição central. A figura 16 mostra em detalhes os componentes elétricos e eletrônicos envolvidos no sistema de direção traseiro. Conforme explica o site alemão especializado.

Figura 16: Componentes da Direção Traseira 4WS do Honda Prelude 1991



Fonte: <http://www.hondaoldies.de/Korbmacher-Archiv/Technik/4ws.htm>

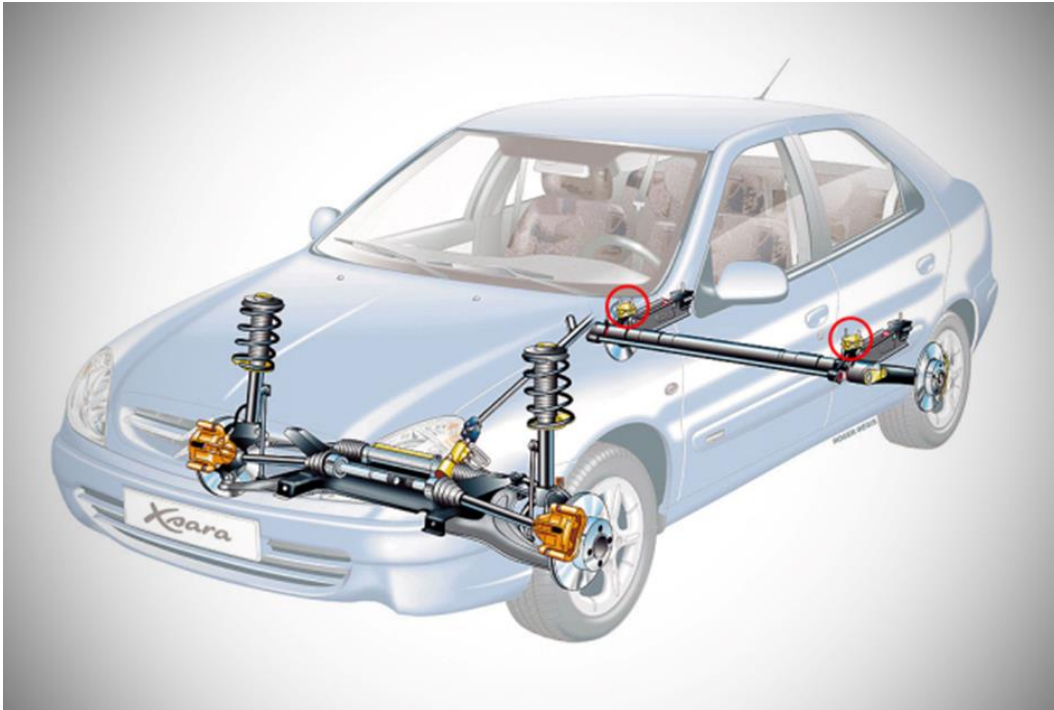
Em velocidade de até 30 km/h as rodas traseiras giram na direção oposta das rodas dianteiras, para reduzir o raio de giro, superando essa velocidade as rodas traseiras giram progressivamente como no caso da direção ativa. Porém se o volante for girado ainda mais a direção das rodas traseiras vai atingindo um ângulo de 90°, progressivamente na mesma direção das rodas dianteiras. Movimentos lentos de direção são convertidos em ângulos de direção mais fortes das rodas traseiras do que seria esperado mecanicamente como movimentos de direção mais rápidos.

4.5. Sistema CATT

Sistema conhecido no Brasil como CATT (Eixo Traseiro Autodirecional) e contemporâneo do sistema 4WS, ele foi utilizado pela PSA, além de outras fabricantes europeias e até japonesa, sendo diferentes do 4WS em um quesito, ele não tem nenhuma interface de conexão com o sistema dianteiro, recebendo o nome de sistema passivo ou sistema auto direcional.

O esterçamento traseiro de forma conjunta com o eixo dianteiro, tendo o mesmo princípio do sistema ativo, ajuda a comandar o eixo traseiro para o interior da curva, ocorrendo a virada, o veículo poderá ter o chamado sobre-esterço. Como não existe essa ligação entre eixos o movimento de esterçamento traseiro é movimentado por buchas elásticas, ancoradas na parte traseira do chassi. A figura 17 mostra a atuação das buchas.

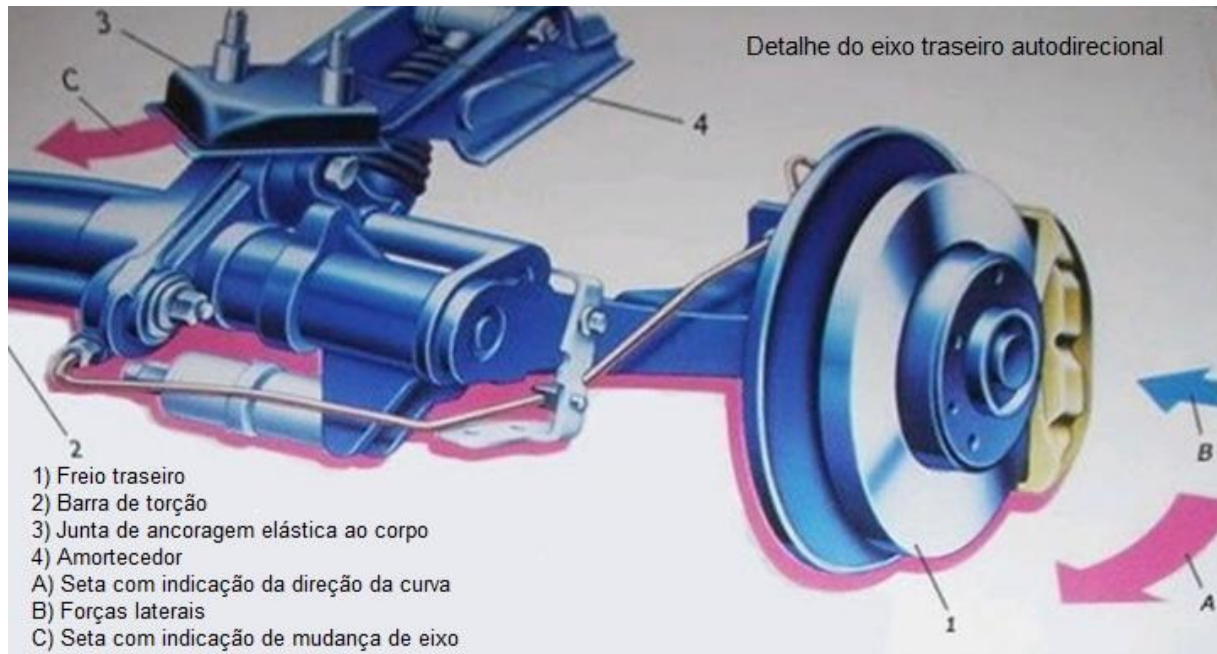
Figura 17: Em vermelho, as buchas que fazem o direcionamento automático.



Fonte <https://flatout.com.br/catt-como-funciona-o-eixo-traseiro-autodirecional-dos-citroen-peugeot-e-outros-esportivos-dos-anos-1980-e-1990/> (2014)

A figura 18 mostra o arranjo dos componentes do sistema CATT e a direção de atuação das forças sobre o eixo.

Figura 18: Itens da suspensão de eixo traseiro auto direcional



Fonte: <https://flatout.com.br/catt-como-funciona-o-eixo-traseiro-autodirecional-dos-citroen-peugeot-e-outros-esportivos-dos-anos-1980-e-1990/> (2014) [38]

Ao entrar na curva, essa transferência de peso irá movimentar a bucha, que por consequência movimentará o braço de suspensão modificando sua geometria e assim conseguindo esterçar a roda traseira.

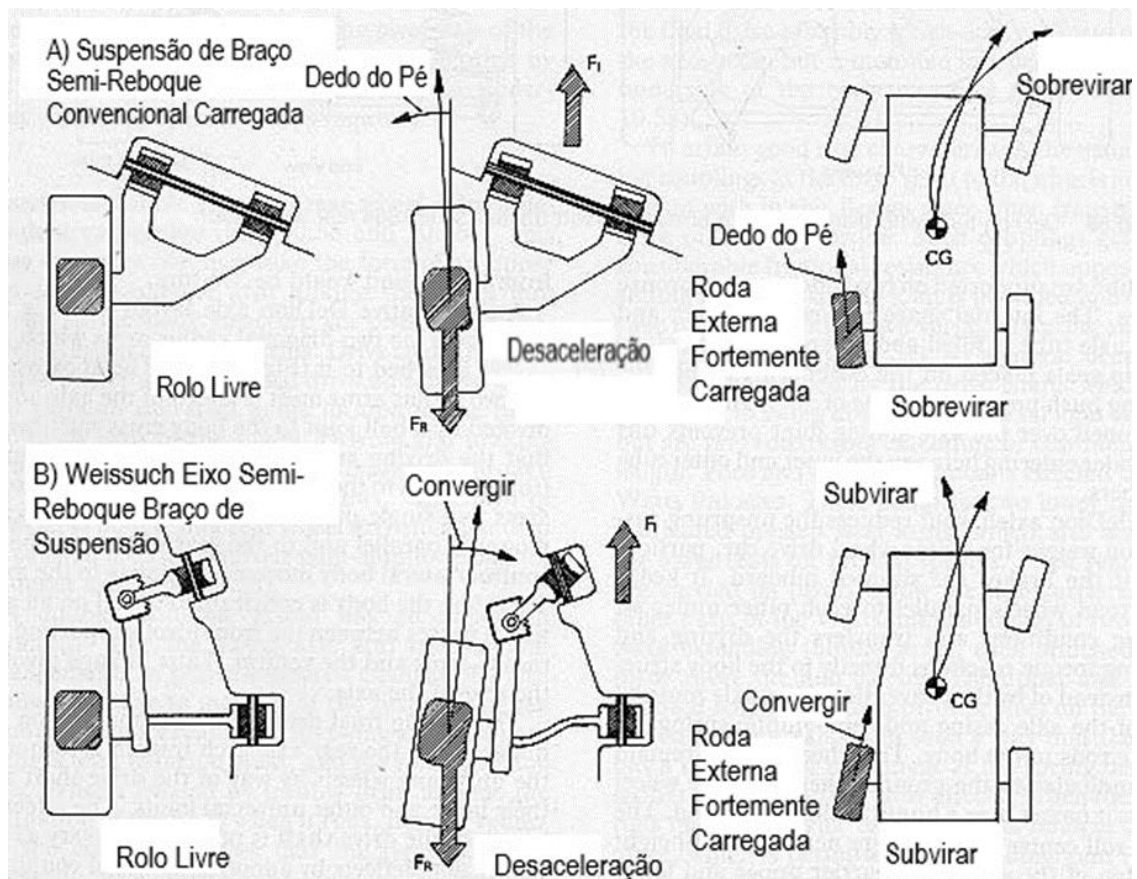
Resumindo, o sistema faz uma variação da curvatura, convergindo a roda traseira, girando a parte de fora da roda para alinhar de forma longitudinal do veículo e a parte de dentro da roda. Nos apêndices é possível ver no fluxograma 3 a explicação do seu passo-a-passo de funcionamento.

Em contrapartida, devido a essa característica faz-se com que o eixo anterior não tracione em baixas velocidades, devido a não ter peso para transferir a força necessária para o sistema atuar, um exemplo claro é ao manobrar o veículo. Os eixos ativos esterçam em sentido contrário da dianteira, sendo mais ágil.

Um dos grandes problemas desse sistema é a imprevisibilidade, porque como a roda traseira esterça modificando seu eixo por forças que mudam sua geometria através do peso, caso a traseira continue o seu movimento lateral devido o movimento da força modifica a geometria da suspensão e caso o piloto/motorista faça o contra-

esterço, acontecerá um choque de ações, por ambos os eixos, ativo e passivo respectivamente, ocorrendo o sobre-esterço, devido a esse problema criou-se uma solução de usar uma bucha mais rígida, corrigindo o sistema. O Porsche 928 é um exemplo de veículo contemporâneo que utiliza um sistema parecido, como mostrado na figura 19, eles utilizavam o mesmo princípio do CATT, porém as buchas serviam de correção para o movimento das rodas na hora da frenagem, devido a essa transferência do peso do eixo traseiro com a dianteira que obriga as buchas a se movimentarem.

Figura 19: Porsche 928: Funcionamento da suspensão traseira



Fonte: espirituracer.com/reportajes/como-se-disena-una-suspension/ (2016) [39]

Por mais que seja mais barato, essa tecnologia do eixo traseiro esterçante, acaba em contra partida trazendo pouca estabilidade e consequentemente deixando a segurança em risco, devido a deterioração da bucha, em consequência se viu em épocas posteriores a diminuição do uso desse sistema e até sendo trocado pelo sistema Multilink, por serem mais confiáveis, pois controlam melhor a convergência e mantêm a estabilidade. E com a implantação de controles eletrônicos, apesar de ser

um princípio diferente, eles geram um melhor comportamento dinâmico e seguro do veículo.

4.6 – Modelamento matemático para o sistema 4WS: A Direção Cinemática

O projeto adentra agora na questão matemática, desenvolvido e com suas características próprias engloba comportamentos em curvas, sobre a influência da geometria Ackermann.

Hoje o sistema mais utilizado, sem dúvida é o FWS (Esterçamento nas rodas dianteiras), entre seus benefícios que ajuda a ser mais utilizado, está: redução da massa em comparação ao sistema 4WS, que é bem mais complexo e tem a questão financeira, pois seu custo é mais barato para se fabricar.

Exemplificando, um veículo equipado com o sistema FWS, irá fazer a curva a esquerda em baixa velocidade, sem escorregamento dos pneus devido a essa mudança na direção. Vide equação 1 na figura 20 a roda interna possui uma abertura de ângulo maior do que a roda externa ao realizar uma curva.

$$\cot\delta_o - \cot\delta_i = \frac{\omega}{l} \quad (1)$$

δ_o = Ângulo de esterçamento da roda externa a curva.

δ_i = Ângulo de esterçamento da roda interna a curva.

ω = Bitola

l = Distância entre eixos.

O cálculo abaixo demonstra o modelo ideal da condição Ackermann, sendo que devido a essa geometria se extrai a velocidade angular r por:

$$r = \frac{Rw \cdot \omega_o}{R1 + \frac{Wr}{2}} = \frac{Rw \cdot \omega_i}{R1 - \frac{Wr}{2}} \quad (2)$$

r : Velocidade angular.

Rw : Raio do pneu.

ω_o e ω_i : Velocidade angular da roda externa e interna respectivamente.

$R1$: Distância dela entre o centro de rotação e o centro de massa do veículo.

Wr : Bitola traseira.

O ângulo de esterçamento da roda dianteira é dado por:

$$\delta_i = \tan^{-1} \frac{2l(\omega_o + \omega_i)}{Wf(\omega_o - \omega_i) + Wr(\omega_o + \omega_i)} \quad (3)$$

$$\delta_o = \tan^{-1} \frac{2l(\omega_o - \omega_i)}{Wf(\omega_o - \omega_i) + Wr(\omega_o + \omega_i)} \quad (4)$$

$R1$ que é:

$$R1 = \frac{Wr}{2} \cdot \frac{(\omega_o + \omega_i)}{(\omega_o - \omega_i)} \quad (5)$$

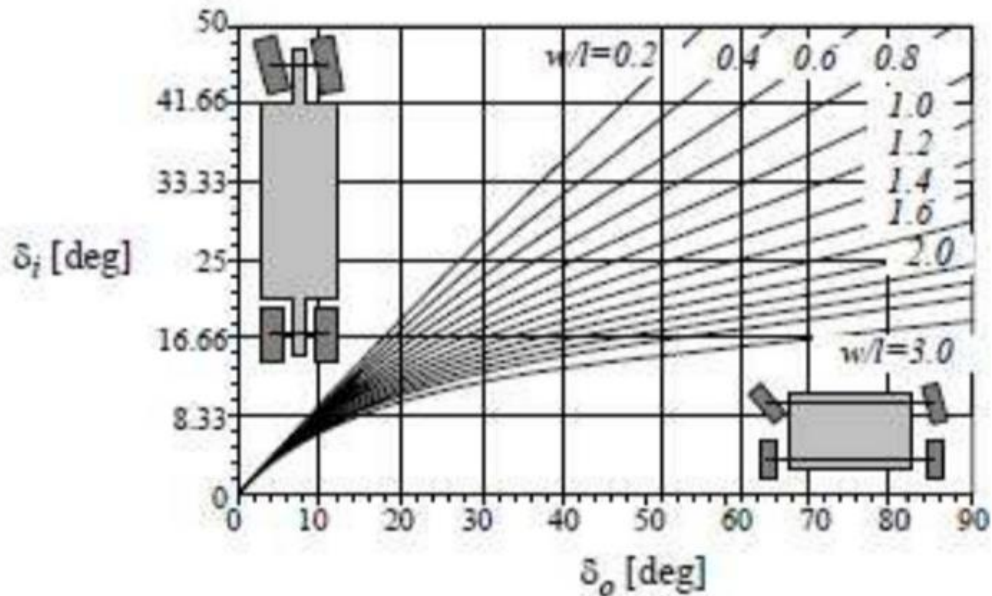
É encontrado se substituir $R1$ na equação 3 e 4, onde se encontra a tangente do ângulo dado por:

$$\tan \delta_i = \frac{l}{R1 - \frac{Wf}{2}} \quad (6)$$

$$\tan \delta_o = \frac{l}{R1 + \frac{Wf}{2}} \quad (7)$$

A figura 22 demonstra o caso de W_f e W_x iguais, onde o gráfico faz uma comparação entre o esterçamento do ângulo traseiro externo e interno, o que leva a observar como a relação entre eixos e da bitola, são influenciados pela condição de Ackermann, como a figura exemplifica.

Figura 22: Influência da condição de Ackermann ideal sob o entre eixo e a bitola FWS



Fonte: Ohara 2010

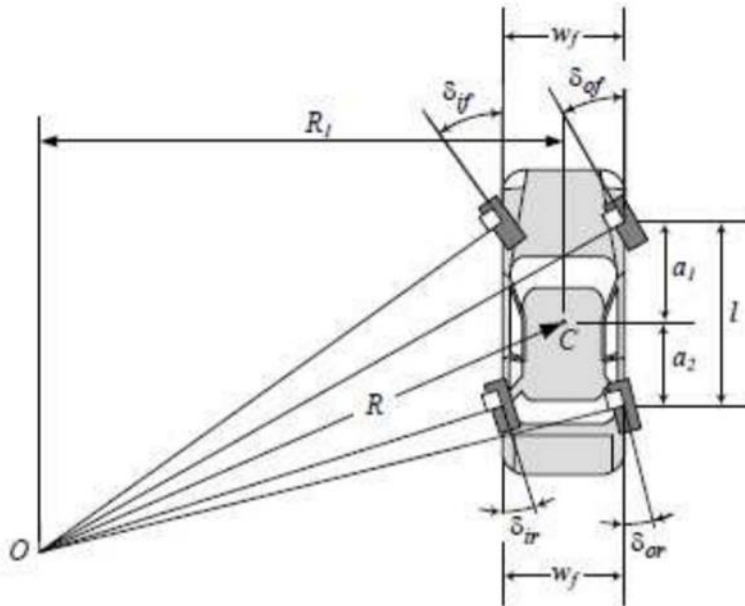
Observa-se olhando o gráfico acima que ao diminuir a relação Wl , a diferença do ângulo de esterçamento externo e interno, também será maior. Ocorrendo o inverso também, para um valor maior de Wl .

4.7 – Esterçamento 4WS

Analisando matematicamente veículo com 4WS, eles tendem na teoria serem parecidos com FWS, porém com parâmetros adicionais, devido ao direcionamento traseiro das rodas, pode se movimentar e rotacionar no sentido vertical.

A figura 23 demonstra um modelo com rodas traseiras que esterçam na mesma direção das dianteiras, a chamada 4WS positiva.

Figura 23: 4WS Positivo



Fonte: Ohara 2010

Condição ideal de Ackermann:

$$\cot\delta_{of} - \cot\delta_{if} = \frac{Wf}{l} - \frac{Wr}{l} \cdot \frac{\cot\delta_{of} - \cot\delta_{if}}{\cot\delta_{or} - \cot\delta_{ir}} \quad (8)$$

Legenda de significados:

O: Ângulo Externo

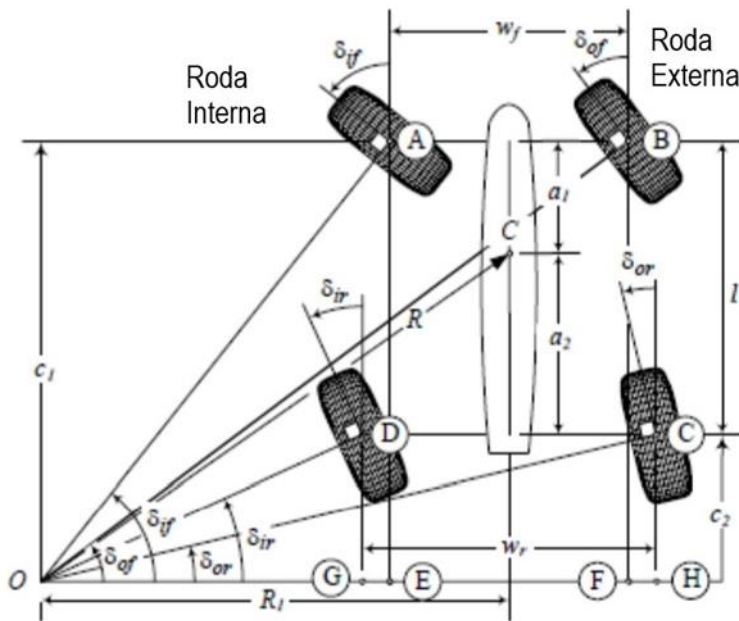
I: Ângulo Interno

F: Dianteira

r: Traseira

A figura 24 mostra o comportamento da geometria de Ackerman de um veículo com direção traseira 4WS entrando em uma curva com esterçamento positivo, para situações de alta velocidade.

Figura 24: Demonstração de um veículo 4WS positivo, entrando em uma curva a esquerda.



Fonte: Ohara 2010

$$\tan \delta_{if} = \frac{c1}{R1 - \frac{Wf}{2}} \quad (9)$$

$$\tan \delta_{of} = \frac{c1}{R1 + \frac{Wf}{2}} \quad (10)$$

$$\tan \delta_{ir} = \frac{c2}{R1 - \frac{Wr}{2}} \quad (11)$$

$$\tan \delta_{or} = \frac{c2}{R1 + \frac{Wr}{2}} \quad (12)$$

Tirando R1:

$$R1 = \frac{1}{2}Wf + \frac{c1}{\tan \delta if} = -\frac{1}{2}Wf + \frac{c1}{\tan \delta of} \quad (13)$$

Se encontra a condição cinemática traseira e dianteira por:

$$\cot \delta of - \cot if = \frac{Wf}{C1} \quad (14)$$

$$\cot \delta or - \cot ir = \frac{Wr}{C2} \quad (15)$$

$$R1 = \frac{1}{2}Wr + \frac{c2}{\tan \delta ir} = -\frac{1}{2}Wr + \frac{c2}{\tan \delta or} \quad (16)$$

Utiliza-se como relação:

$$C1 - C2 = l$$

É encontrada tais relações de ângulos de esterçamento dianteiro e traseiro respectivamente por:

$$\frac{Wf}{\cot of - \cot if} - \frac{Wr}{\cot or - \cot ir} = l \quad (17)$$

$$\cot \delta fr - \cot \delta fl = \frac{Wf}{l} - \frac{Wr}{l} \cdot \frac{\cot \delta fr - \cot \delta fl}{\cot \delta rr - \cot \delta rl} \quad (18)$$

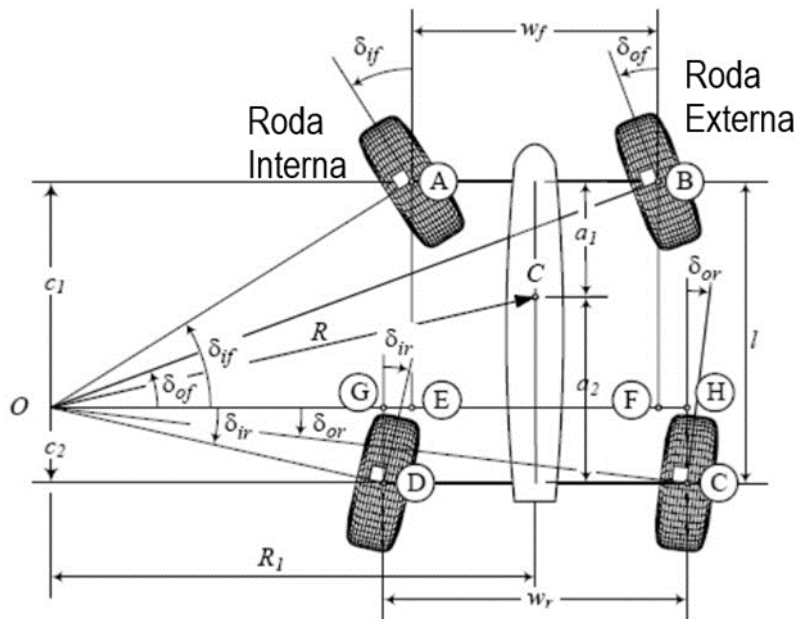
Ao utilizar as respectivamente as equações 17 e 18, se obtém C1 e C2 que serão utilizadas no 4WS positivo e negativo.

$$C1 = \frac{Wf}{\cot \delta fr - \cot \delta fl} \quad (19)$$

$$C2 = \frac{Wr}{\cot \delta rr - \cot \delta rl} \quad (20)$$

A figura 25 mostra o comportamento da geometria de Ackerman em um veículo com direção traseira 4WS, entrando em uma curva com esterçamento negativo, para situações de baixa velocidade.

Figura 25: Demonstração do veículo com 4WS negativo, entrando em uma curva a esquerda.

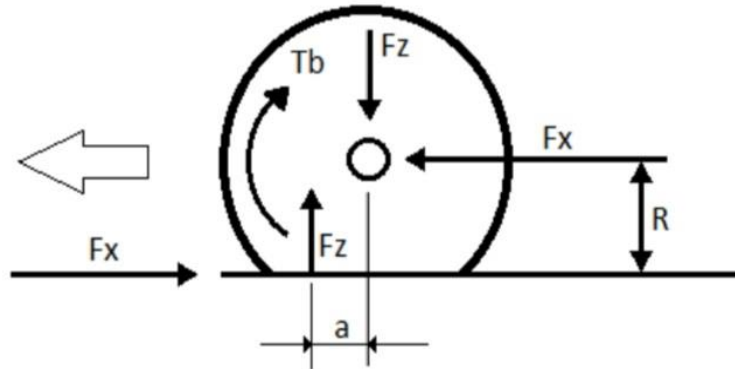


Fonte: Ohara 2010

5. Pneu

O trabalho até o momento, visou a geometria do esterçamento do eixo traseiro, mas um fato muito importante é a análise dinâmica do pneu, pois é ele que irá estar em contato com o solo e receber as forças impostas pelo próprio. Um veículo ao fazer uma curva nota-se que forças laterais perpendiculares agem sobre a direção de forma a deslocar o veículo para que ele possa fazer a curva. A figura 26 mostra as forças atuantes no pneu em uma situação típica de frenagem sem força lateral. O torque T_b acontece com a frenagem, logo devido ao atrito entre o pneu e o solo uma força F_x surge em direção oposta ao movimento do veículo.

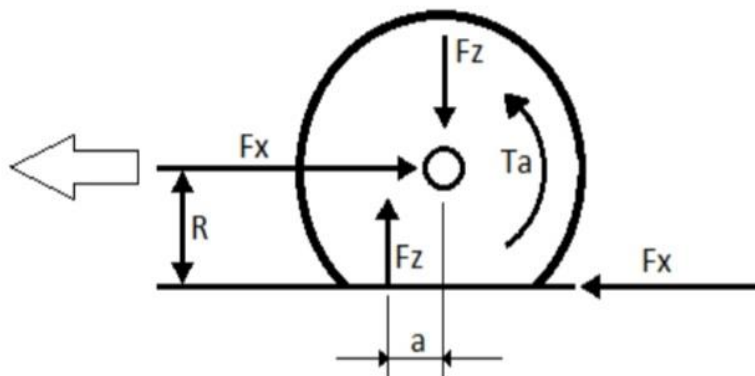
Figura 26: Força atuando no pneu recebendo a frenagem



Fonte: Ohara (2010)

De maneira similar na figura 27 o torque T_a surge devido á aceleração angular do trem de forças do veículo, aparecendo assim uma F_x na direção do deslocamento. A força normal F_z está sempre presente na direção vertical, deslocada de uma distância do centro da área de contato entre o pneu e o solo, um dos componentes principais da resistência ao rolamento, conforme OHARA.

Figura 27: Força atuando no pneu recebendo aceleração

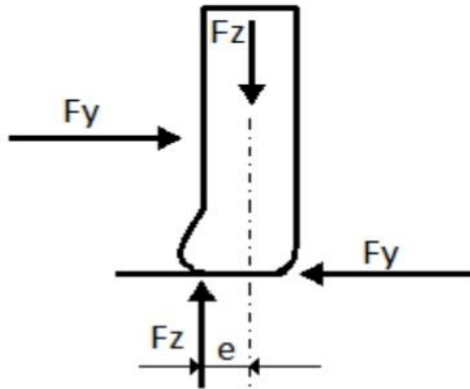


Fonte: Ohara (2010)

Porém caso ocorra forças laterais ou mudanças de direção sobre o veículo, a força F_y ou momento agiriam sobre o pneu. Como o pneu é um elemento elástico, acontecerá um deslocamento lateral do pneu sobre o solo, levando a força resultante

vertical F_z deslocar à distância e e criar um momento sobre ele, como a figura 28 mostra os vetores de forças atuantes.

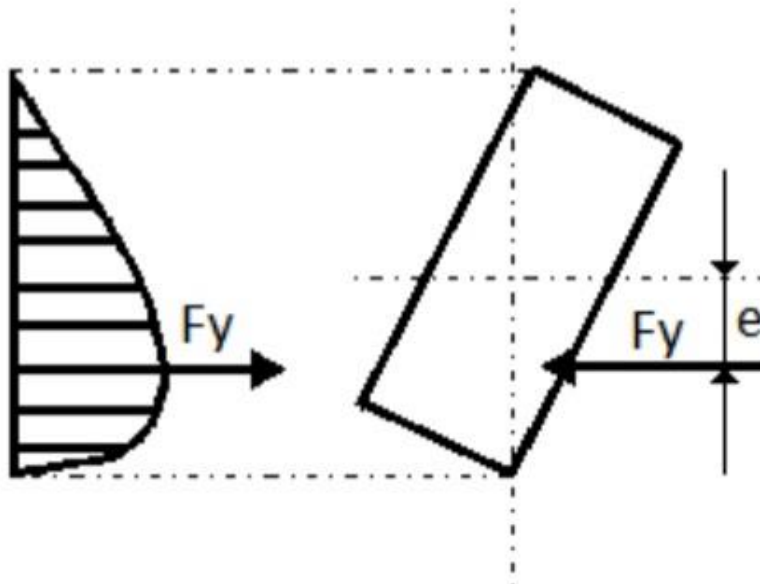
Figura 28: Força lateral sobre o pneu



Fonte: Ohara (2010)

Essa distância “ e ” à força F_y , gera um momento chamado auto alinhamento, resumindo, o pneu volta a sua trajetória anterior, como ilustrado na figura 29.

Figura 29: Distribuição de forças laterais na área de contato



Fonte: Ohara (2010)

5.1. Rigidez do Pneu

Ao analisar a rigidez do pneu, admite-se que a força vertical F_z sobre o pneu é uma função linear em relação a deflexão Δz , sendo medida através da fórmula.

$$F_z = K_z \cdot \Delta z$$

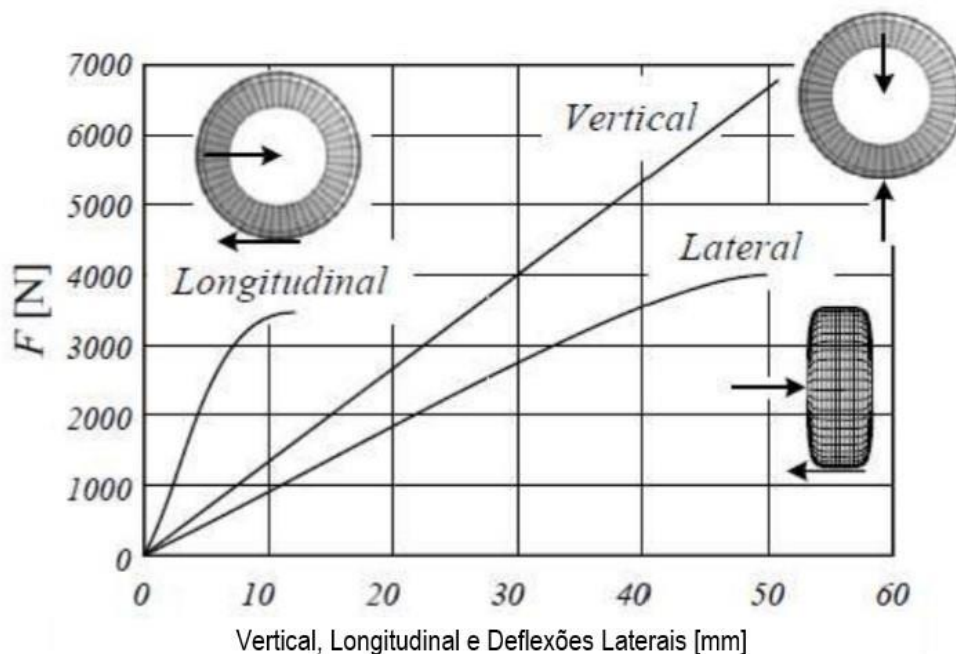
Coeficiente linear k = coeficiente de rigidez vertical do pneu. Assim poderá ser aplicada em direções longitudinais (1) e laterais (2), resultando nas equações.

$$F_x = (1)K_x \cdot \Delta x$$

$$F_y = (2)K_y \cdot \Delta y$$

A figura 30, ilustra um exemplo de curvas de rigidez vertical, longitudinal e lateral do pneu, sendo aplicada em veículos de passeio, da força aplicada em função das linhas de deflexões.

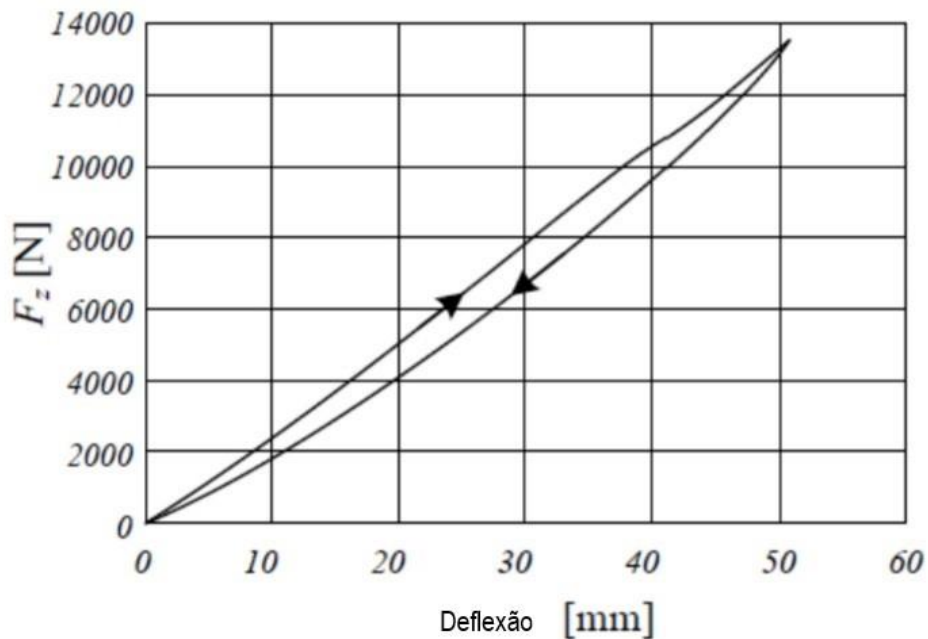
Figura 30: Gráfico de curvas de rigidez



Fonte: Ohara (2010)

A histerese do material do pneu, a borracha, tem uma característica peculiar, por ser viscoelástico, a energia para deformar é maior do que a necessária para restituí-lo, o que leva a essa diferença ser dissipada em calor. Esse fenômeno é responsável pelo surgimento da resistência força ao rolamento. Como na figura 31 mostra o gráfico das forças para deformar e restituí-lo em função da deflexão sofrida.

Figura 31: Fenômeno de histerese



Fonte: Ohara (2010)

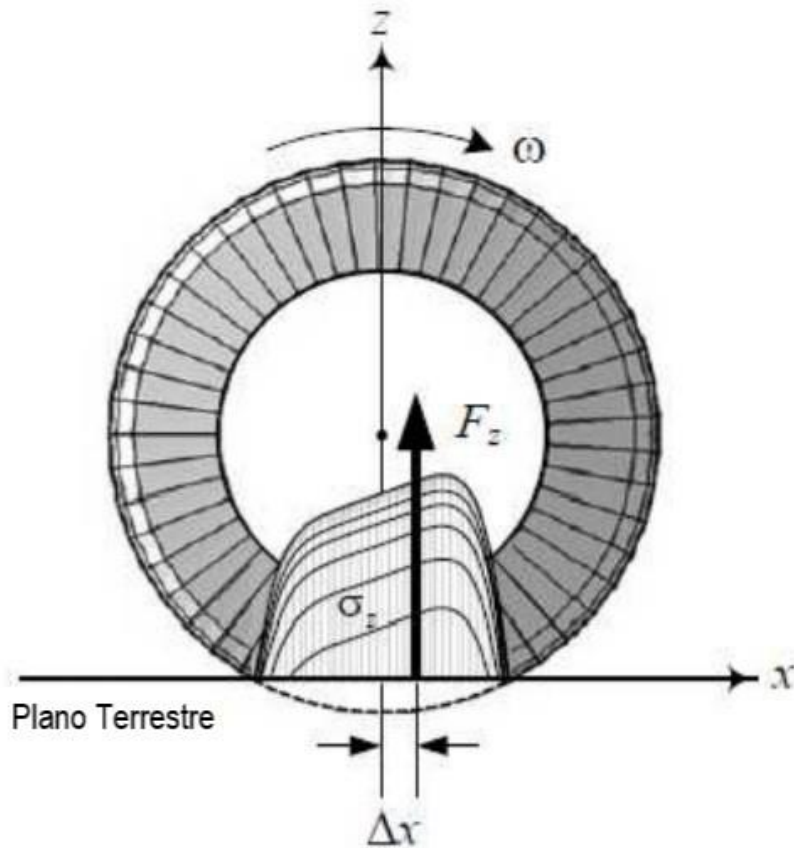
5.2. Resistência ao Rolamento

Como o pneu em movimento gera uma força horizontal em direção oposta à sua direção, a fórmula da resistência ao rolamento é dada por:

$$F_r = \mu_r \cdot F_Z$$

Sendo μ_0 coeficiente de resistência ao rolamento e podendo variar com a velocidade do pneu. A figura 32 reflete a tensão normal sobre o pneu do rolamento ao plano terrestre.

Figura 32: Vista lateral de tensão normal e a resultante F_z no pneu em movimento.



Fonte: Ohara (2010)

Efeito da velocidade sobre o coeficiente de resistência ao rolamento por uma equação de segundo grau.

$$\mu_r = \mu_0 + \mu_1 \cdot v_x^2$$

Sendo V_x a velocidade longitudinal do veículo, sendo que ambas as constantes devem ser determinadas individualmente para cada pneu. A tabela 1 abaixo mostra o coeficiente de resistência para cada tipo de pavimento.

Tabela 1: Tabela de coeficientes de resistência ao rolamento

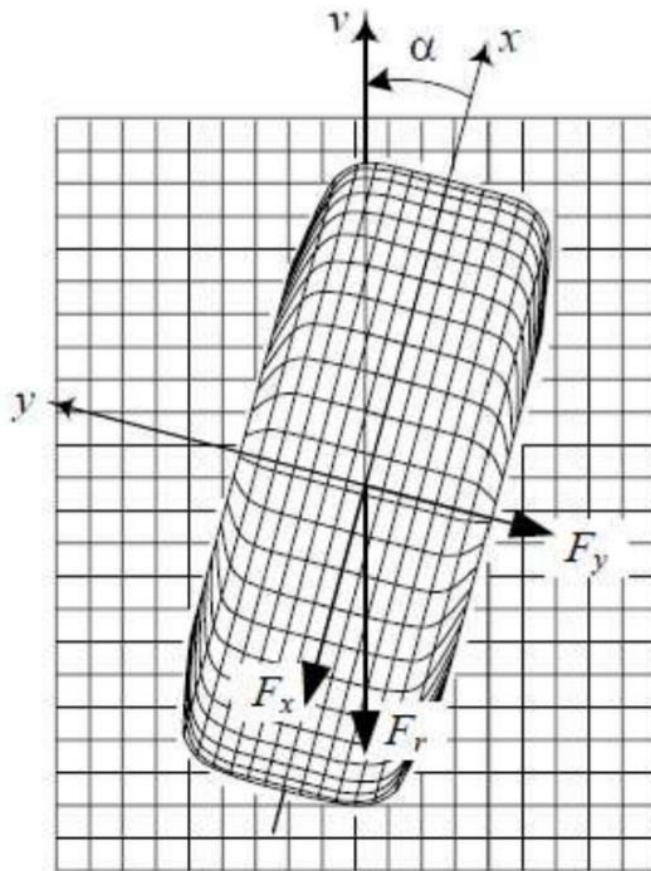
CONDIÇÃO DE ESTRADA E PAVIMENTO	μ_0
CONCRETO MUITO BOM	0.008 – 0.1
ASFALTO MUITO BOM	0.01 – 0.0125
CONCRETO MÉDIO	0.01 – 0.015
PAVIMENTO MUITO BOM	0.015
MACADAM MUITO BOM	0.013 – 0.016
MÉDIA TARMAC	0.018
CONCRETO EM MAU ESTADO	0.02
BOA PAVIMENTAÇÃO DE BLOCOS	0.02
MÉDIA DE MACADÃO	0.018 – 0.023
TARMAC EM MAU ESTADO	0.23
MACADÃO SUJO	0.023 – 0.028
BOA PEDRA DE PAVIMENTAÇÃO	0.033 – 0.055
BOA PAVIMENTAÇÃO NATURAL	0.045
PAVIMENTO DE PEDRA EM MAU ESTADO	0.085
NEVE RASA	0.025
NEVE GROSSA	0.037
ESTRADA NATURAL NÃO MANTIDA	0.08 – 0.16
AREIA	0.15 – 0.3

Fonte: Ohara (2010)

Um parâmetro que afeta a resistência ao rolamento é o ângulo de escorregamento. Olhando para figura 33, a força F_r é dada por:

$$F_r = F_x \cdot \cos \alpha + F_y \cdot \sin \alpha \approx F_x - C \alpha \cdot a^2$$

Figura 33: Efeito do ângulo de escorregamento



Fonte: Ohara (2010)

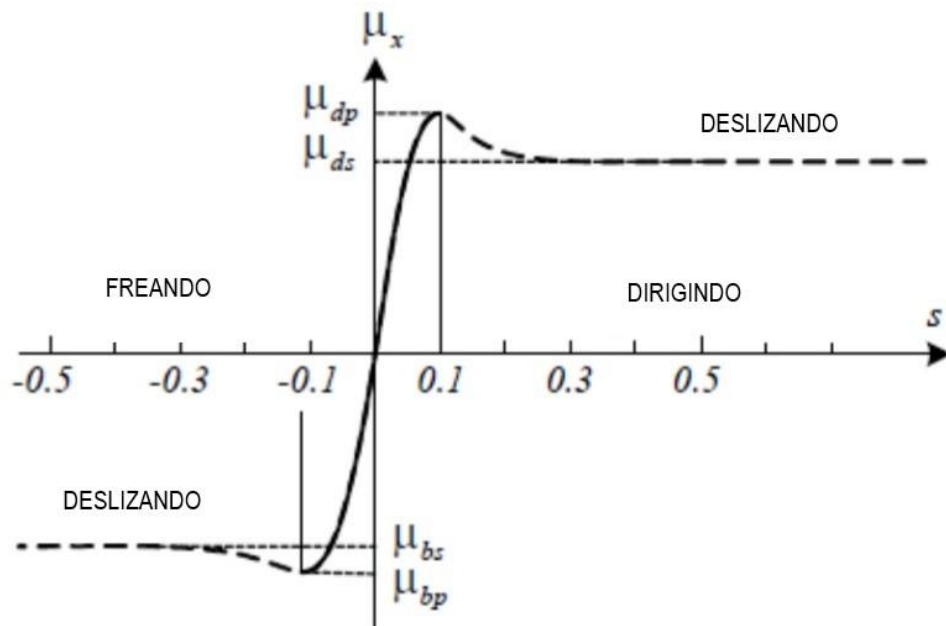
5.3. Força Longitudinal

A Constante de escorregamento longitudinal do pneu é dada por:

$$S = \frac{Rg W\omega}{Vx} - 1$$

Quando Rg é o raio do pneu descarregado, $W\omega$ é a velocidade angular e Vx é a velocidade longitudinal. Sendo que o valor de s é positivo para aceleração e negativo para frenagem. Como visto no gráfico da figura 34.

Figura 34: Coeficiente longitudinal de atrito como função de s para sistemas de aceleração e frenagem



Fonte: Ohara (2010)

A tabela 2 ilustra, por exemplo, o valor médio de coeficientes longitudinais de atrito para pneu 215/65R15, para veículos de passeio.

Tabela 2: Valor médio de coeficientes longitudinais de atrito para pneu 215/65R15

SUPERFÍCIE DA ESTRADA	VALOR DE PICO, μ_{dp}	VÁLVULA DESLIZANTE, μ_{ds}
ASFALTO, <i>dry</i>	0.8 – 0.9	0.75
CONCRETO, <i>dry</i>	0.8 – 0.9	0.76
ASFALTO, <i>wet</i>	0.5 – 0.7	0.45 – 0.6
CONCRETO, <i>wet</i>	0.8	0.7
CASCALHO	0.6	0.55
NEVE	0.2	0.15
GELO	0.1	0.07

Fonte: Ohara (2010)

5.4. Força Lateral

Principal parâmetro a ser estudado referente a pneus é a força lateral, isso irá estabelecer explicações para o comportamento em curvas de um veículo com o sistema de esterçamento nas quatro rodas (4WS).

Sendo $C\alpha$ é a rigidez lateral do pneu, o pneu sob a força vertical F_z e lateral F_y , apresenta um desvio entre o caminho e a área de contato com o solo, por um ângulo α , chamado de ângulo de escorregamento, que é proporcional à força lateral F_y .

$$F_y = -C\alpha * \alpha$$

Como já visto no esquema da figura 33, a força lateral F_y encontra-se a uma distância ϵ anterior ao centro da área de contato do pneu com o solo fazendo com que surja um momento autoalinhante definido como M_z .

$$M_z = F_y \cdot \epsilon$$

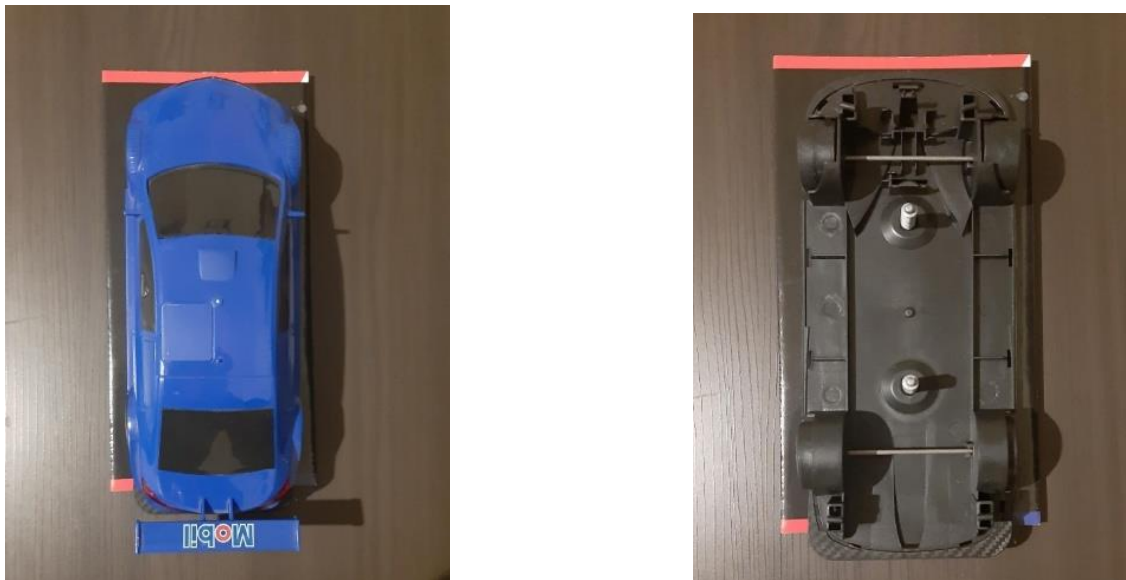
6. Testes

A prototipação rápida serve para reduzir, os custos e o lead time (tempo até chegar o produto pronto ao cliente). Como para produção e também para estudos, a prototipação serve para enxergar em escala menor o produto final e até mesmo corrigir alguma possível falha futura. Sendo assim, uma das formas de colocar em prática o que vem sendo dito nesse projeto, é a utilização de uma miniatura para teste do esterçamento traseiro. A construção da miniatura a seguir, tem como inspiração os parâmetros do veículo Honda Prelude, que possui o sistema 4WS.

6.1. Protótipo em escala

Para a construção do protótipo em escala, para estudo e exemplificação, foi usado uma miniatura na escala 1/18 de Stock Car ano 2019, de 27 cm, visto na figura 35, e foram feitas adaptações.

Figura 35: Miniatura na escala 1/18 modelo Stock Car 2019, com adaptações.



Fonte: Dos autores, 2021

A relação de materiais utilizados para a modificação segue nas 36 e 37 respectivamente: furadeira e brocas, pistola de cola quente, tinta para tecido, palitos

de picolé, serra, parafusadeira, pincel, martelo pena, parafusos, eixos direcionais, porcas, parafusos e pneus.

Figura 36: Materiais e ferramentas 1.0



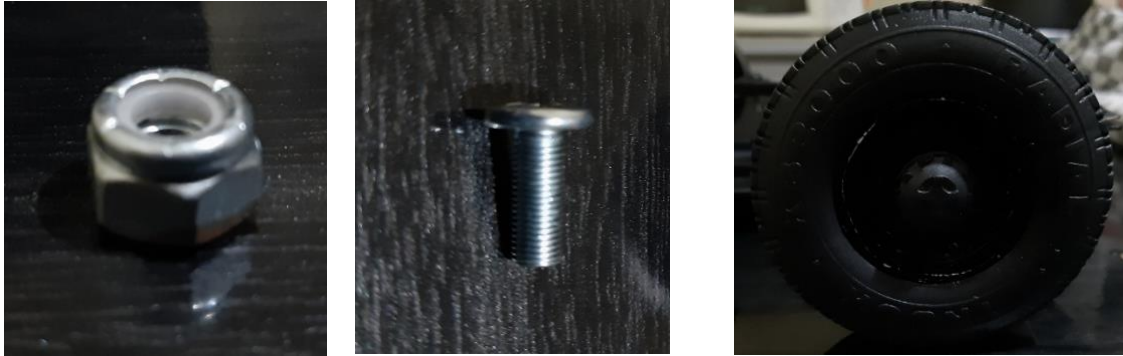
Fonte: Dos autores, 2021

Figura 37: Materiais e ferramentas 1.1



Fonte: Dos autores, 2021

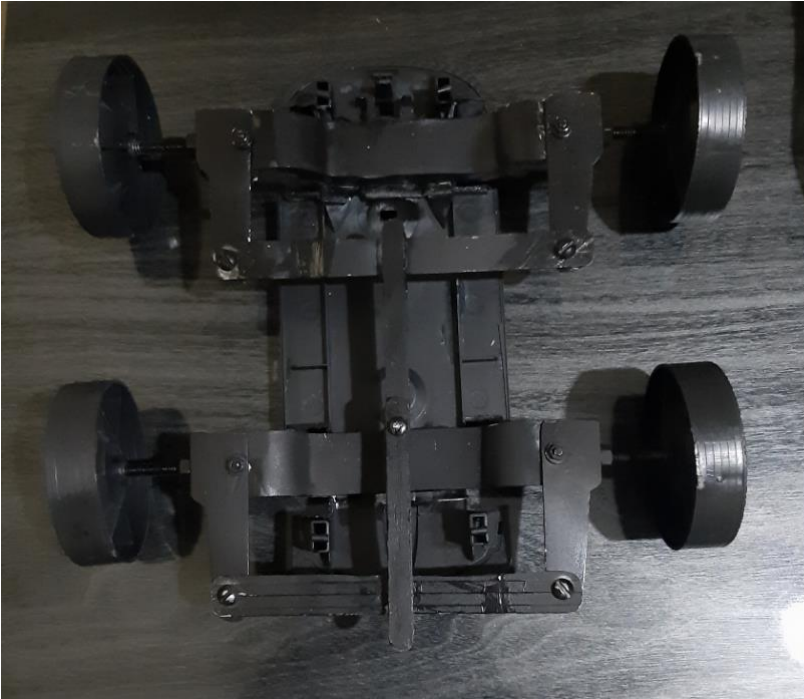
Figura 38: Materiais e ferramentas 1.2



Fonte: Dos autores, 2021

Na montagem do protótipo em escala, foram utilizados palitos de picolé como analogia ao eixo-cardan do veículo Honda Prelude, o que lhe conferiu a movimentação dos dois eixos ao mesmo tempo. No apêndice 10.2: Passo-a-passo da montagem do protótipo em escala segue maiores detalhes para a construção, referente as figuras 39 e 40 respectivamente.

Figura 39: Montagem da miniatura com todos os itens
FRENTE



Fonte: Dos autores, 2021

Figura 40: Esterçamento das rodas traseiras no sentido negativo
FRENTE



Fonte: Dos autores, 2021

Assim sendo, a miniatura conferi a validação dos testes dando aval, ao protótipo de bancada, a ser demonstrado a seguir.

6.2. Protótipo de bancada

O protótipo de bancada tem como foco, demonstrar numa escala maior o que foi planejado na miniatura, baseado no projeto, a figura 41 apresenta o sistema como um todo, mas sem o sistema de rodagem, limitando nossa construção somente a parte direcional. O sistema consiste de duas caixas de direção, dispostas em 1,53 cm de entre eixos. A conexão de uma para com a outra foi feita com dois pares de engrenagens cônicas de diferencial, soldadas no eixo do pinhão, onde ficaria a coluna de direção. É importante que elas sejam colocadas uma de costa para com a outra, para que assim a rotação exercida por cada par seja em sentido diferente, com isso permitindo que as rodas dianteiras façam ângulos opostos com o eixo traseiro, permitindo assim o melhor aproveitamento possível de esterço que um carro pode dar.

Figura 41: Sistema de direção nas quatro rodas – visão geral



Fonte: Dos autores, 2021

A figura 42 mostra-se a construção de um chassi simples, do tipo escada, para a montagem da estrutura do sistema duplo de direção nas quatro rodas. Confeccionado em 1,53 m x 77,5 cm, sendo de extrema importância o correto esquadro, alinhamento e nivelamento da estrutura metálica, para que assim não haja desalinhamento veicular, não sobrecarregue e nem force o sistema.

Figura 42: Chassi tipo escada – confecção



Fonte: Dos autores, 2021

Em detalhes, na figura 43, a ligação com solda de arco elétrico, da caixa de direção ao sistema de ligação em barra tipo cardan. O perfeito alinhamento da engrenagem cônica maior é essência para adequada transmissão de movimento.

Figura 43: Foco na soldagem das engrenagens cônicas



Fonte: Dos autores, 2021

Para o travamento da barra de ligação tipo cardan, foi usado mancais fixados à estrutura do chassi, para impedir que venha a se deslocar do seu eixo de rotação. Sua confecção foi com tubo redondo ligeiramente maior do que a barra de ligação tipo cardan, como se vê pela figura 44 em zoom e pela figura 45 da vista superior.

Figura 44: Mancais de fixação



Fonte: Dos autores, 2021

Figura 45: Mancais de fixação e visão superior lateral



Fonte: Dos autores, 2021

Para que se ocorra ângulo nas rodas é preciso que um ponto seja fixo, rotacionando somente pelo próprio eixo e outro ponto seja fixo ao terminal de direção. No modelo abaixo apresentado, figura 46, foi improvisado um braço pitman, na impossibilidade de confecção de manga de eixo. A medida adotada até o kingpin foi de 13 cm. A figura 46 expõem a visão lateral para arranjo do caster.

Figura 46: Braço pitman



Fonte: Dos autores, 2021

Por fim, uma observação importante é que nesse modelo adotado será preciso que ambas as rodas dos eixos esteja em ângulo de caster, isto é necessário para melhor estabilidade do eixo traseiro, visto o fato de não possuir um eixo rígido que permite maior estabilidade, por tanto, o projeto apresentado é ideal para locais fechados, como condomínios, uma proposta futura de melhoria seria para o uso de suspensão do tipo Duplo A ou Multilinks, pelo fato de a estabilidade do veículo exigir uma suspensão bem trabalhada para aguentar as forças de esterço por mais tempo A figura 47 mostra a vista lateral, para estudo da melhor colocação dos braços pitman em ângulo de caster.

Figura 47: Visão lateral para projeto de ângulo de caster com kingpin



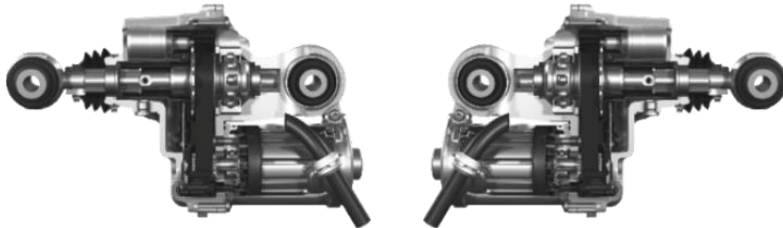
Fonte: Dos autores, 2021

7. Tendências Futuras

A empresa ZF trouxe uma importante inovação ao mercado automotivo o Voador 2.0, sistema de suspensão ativa que reduz oscilações e vibrações da carroceria com mais conforto e estabilidade e que trabalha em conjunto com outros sistemas desenvolvidos na própria empresa, entre eles o AKC (Controle de Cinemática Ativa), que muda o ângulo da convergência das rodas traseiras, habilitando em direções opostas ou não dependendo da situação, exemplo: em velocidades baixas até 70km/h o sistema esterça as duas rodas traseiras no sentido oposto a dianteira, o que acaba ajudando numa melhor manobrabilidade e quando o veículo estiver mais rápido ocorrerá o oposto, as rodas dianteiras e traseiras iram girar no mesmo lado, para privilegiar a estabilidade direcional, com isso o AKC em conjunto com a suspensão ativa a tecnologia “Movimento S” evitando a derrapagem em curva fechada, tornando

o veículo praticamente imune a instabilidades. A seguir, a figura 48 ilustra uma parte do sistema que compõem o conjunto.

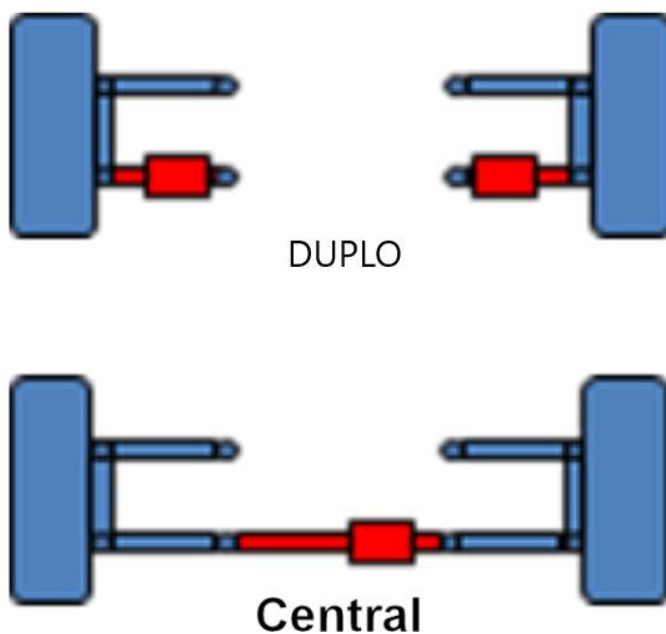
Figura 48: Conjunto do sistema AKC



Site: ZF.com, 2021 [46]

A figura 49 demonstra como se comporta a suspensão traseira, quando acionado o sistema e pôr fim a figura 50, traz o recorte da imagem de como está montado o sistema na suspensão traseira do veículo.

Figura 49: Ilustração da central do eixo traseiro em comparação ao dianteiro



Fonte: site ZF.com, 2021

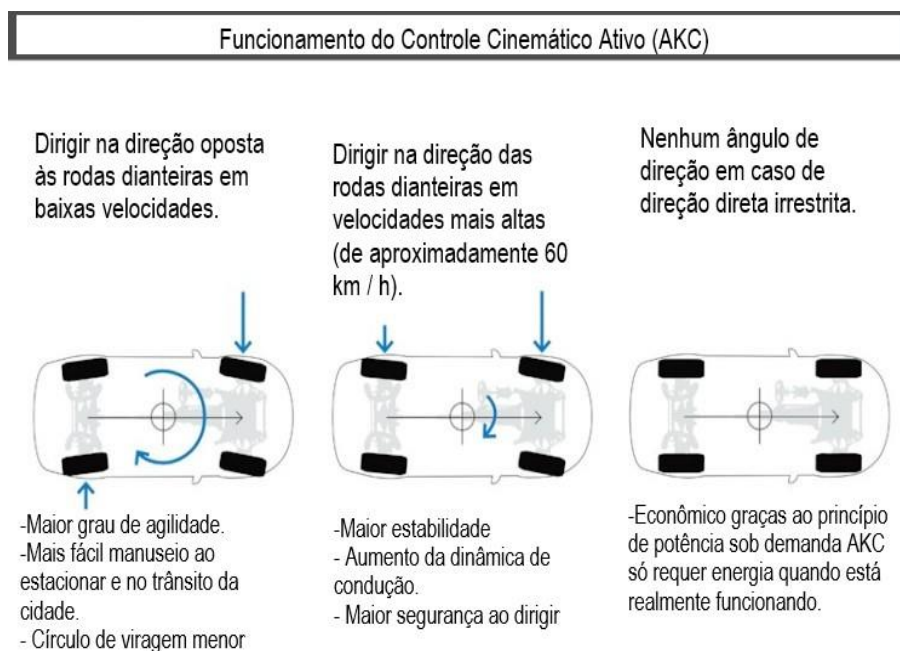
Figura 50: Vista de trás do conjunto de suspensão traseiro



Fonte: site ZF.com, 2021

Os atuadores “Movimento S” trabalham em conjunto com a direção elétrica *by-wire*, sistema de intervalo de freios IBC e o processador central de controle eletrônico Cubix, sendo alimentado por informações de sensores, a figura 51 mostra o teste na qual, fará com que o “Tapete Voador 2.0” seja capaz de identificar, estudar e direcionar o melhor caminho de direção para o veículo.

Figura 51: Esquema de funcionamento do AKC



Fonte: site: ZF.com, 2021

Como dito por Christoph Elbers chefe de desenvolvimento, ao integrar os sistemas mecatrônicos do veículo, a ZF o prepara para o futuro tráfego urbano autônomo. Abaixo segue a ilustração de um veículo da ZF onde é utilizado a tecnologia do Tapete Voador na figura 52.

Figura 52: Teste com o sistema Tapete Voador 2.0



Fonte: Automotivebusiness.com, 2019 [47]

7.1. Sugestões de Projetos Futuros

Deixa-se como sugestão a ampliação do projeto de bancada, com uso de mangas de eixos, no lugar de braço pitman, para uma simulação mais real para veículos de passeio de fato, A colocação de junta universal na barra de conexão tipo cardan, para maior grau de liberdade do comportamento dinâmico do veículo. A utilização de volantes reais com o estudo do cálculo da força aplicada para executar o esterço e comparar com um mesmo modelo com direção convencional. Instalação de diferencial, para comparar o raio de giro em uma manobra de baliza. Utilização de algum sistema de tração, podendo ser de propulsão humana, para demonstrações práticas mais rápidas. A instalação de chaves mecânicas para desligar o sistema de direção traseiro e mudança de esterçamento positivo para negativo. O estudo da utilização da eletrônica em substituição ao sistema mecânico, como usado no Porsche 911 por exemplo. Estudos de volantes controlados eletronicamente por botões e não raio de giro de um volante circular. Outras opções para maior ângulo de esterçamento das rodas, superando da geometria de Ackerman.

8. Conclusão

O presente trabalho acadêmico analisou o histórico dos sistemas de direção nas quatro rodas e, ao contrário do que muito se pensa, como visto pelos Tendências do Google, viu-se que a primeira patente surgiu em somente 17 anos após o lançamento do icônico Triciclo de Benz de 1886. Mais de um século depois, depois de tantas tentativas e negativas, com a população mundial beirando perto dos 8 bilhões de habitantes, não trata-se mais somente de luxo, redundância de segurança ou rebuscados tecnológicos, trata-se de uma necessidade premente, para melhoria do aproveitamento do espaço urbano, qualidade de vida ao fornecer vantagem e velocidade de manobra e agilidade para liberação do trânsito em grandes metrópoles. Não só isso com uma utilidade significativa para veículos operados por exemplos em estoques apertados.

Para entendimento com afinco dessa tecnologia promissora, foi preciso se aprofundar nos diversos sistemas responsáveis pela transmissão, direção e rodagem. No interím de revisões bibliográficas, se percebeu o escasso material nacional, sendo preciso a pesquisa em nações pioneiras na tecnologia automobilística, como Alemanha, Japão e atualmente a Índia, além do desenvolvimento original por parte dos autores. Tal condição foi motivação forte de afã, para que trabalhos na área sejam cada vez mais pesquisados e divulgados. Pois além de contribuir para a qualidade acadêmica nacional, também pode coadjuvar com um trânsito mais saudável.

Notou-se que as possibilidades de esterçamento do eixo traseiro não se limitam ao implante de um volante traseiro, como no clássico e consolidado sistema 4WS da Honda, com uma ligação puramente mecânica, uma barra similar a um cardan, até mesmo com cruzetas ou junta universal, mas passa-se também pela possibilidade de suspensões diferenciadas, como no Sistema CATT ou do Tapete Voador da ZF. Naturalmente o futuro dos sistemas de direção devem se manter com o apoio eletrônico, como do Porsche 991, indicação de proposta futura de pesquisa.

Desse modo, com toda bagagem de conhecimento obtida, montou-se um projeto em miniatura com uma réplica de Stock Car, para uma ilustração mais rápida e simplificada da possibilidade interligação mecânica e com a ajuda de companheiros da área os autores fizeram uma demonstração em escala real totalmente funcional, com peças reais de automóveis, desde caixas de direção, engrenagens cônicas de

diferencial até a ferragens para as ligações e a construção de um sistema de chassi para a montagem e base de alinhamento do conjunto direcional. Os autores buscaram ser os mais didáticos possíveis, para assim contribuir com a comunidade acadêmica e civil, não podendo sofisticar ainda mais os projetos devido a falta de recurso e tempo, todavia, tendo esperado ter deixado bem aberto o caminho das pedras para o fomento de cada vez mais projetos e pesquisas na área de Sistemas de Direção.

9. Referências

- [1] FROES, Marco Aurélio. **Notas de Aula 2. Motores Ciclo Otto**. 2020.
- [2] KIMES, Beverly Rae. **Standard catalog of American Cars. 1805-1942**. Digital edition 3. Edition. Krause Publications. 2013. p. 382.
- [3] GEORGANO, George Nick. **The Beaulieu Encyclopedia of the Automobile**. Fitzroy Dearborn Publishers, Chicago. 2001 p. 339.
- [4] KIMES, Beverly Rae. **Standard catalog of American Cars. 1805-1942. Digital edition 3**. Edition. Krause Publications, Iola 2013 p. 603.
- [5] GEORGANO, George Nick. **The Beaulieu Encyclopedia of the Automobile** . Volume 1: *A-F* Fitzroy Dearborn Publishers, Chicago. 2001. p. 585.
- [6] NIEMANN, Harry. **The Daimler Motor Company. 1890-1926**. Delius Klasing, Bielefeld. 2002.
- [7] KRAUS, Jorg. **For money, emperor and fatherland. Max Duttenhofer, founder of the Rottweiler powder factory and first chairman of the Daimler-Motoren-Gesellschaft**. Heidelberg Reading Times Publishing House. 2014.
- [8] SCHRADER, Halwart. **The International Automobile Encyclopedia** . United Soft Media Verlag, Munich. 2008.
- [9] OSWALD, Werner. **Mercedes-Benz Passenger Cars 1886–1986**. Motorbuch-Verlag Stuttgart. 1987.
- [10] OSWALD, Werner. **Motor vehicles and tanks of the Reichswehr, Wehrmacht and Bundeswehr**. 17th edition, Motorbuch Verlag, Stuttgart. 2004.
- [11] Anúncio de carros usados. Disponível em: <carros.mitula.com.br>. Acesso em 21 abr. 2021.
- [12] Honda. **Manual Automotivo Honda Prelude**. Japão. 1987.
- [13] Wikimedia. **Honda Prelude**. Wikimedia. Alemanha. Disponível em: <https://commons.wikimedia.org/wiki/Category:Honda_Prelude?uselang=de>. Acesso em: 21 abr. 2021.
- [14] Auto+Motor Technik Teste. **TECHNISCH BEKEKEN. Snelheids- en stuurkracht-afhankelijke 4WS**. Alemanha. Ed. 51. 1991.
- [15] Mitsubshi. **Technical Information Manual 3000 DGT**. 1993.
- [16] COVELLO, Mike: **Standard Catalog of Imported Cars 1946-2002**. Krause Publications, Iola (USA). 2002. p. 226.

- [17] Nissan. **Manual Automotivo Nissan Skyline V35**. Japão. 1957.
- [18] Mazda. **Manual Automotivo Mazda 626 GT**. 1988.
- [19] DIETSCHE, Karl-Heinz. **Automotive pocketbook**. 25th edition. Alemanha. 2003.
- [20] Wiki. **Renalt Lagura III**. Disponível em:
<https://de.zxc.wiki/wiki/Renault_Laguna_III>. Alemanha. Acesso em 19 mar. 2021.
- [21] Wikipedia. **Renalt Talisman**. Wikipedia. Disponível em:
<https://de.wikipedia.org/wiki/Renault_Talisman>. Alemanha. Acesso em 19 mar. 2021.
- [22] RENZ, Sebastian. **So fährt der Hot Hatchback mit 280 PS und Allradlenkung**. Disponível em: <<https://www.auto-motor-und-sport.de/news/fahrbericht-renault-megane-rs-2017-daten-infos-marktstart-preise/>>. Alemanha. Acesso em 19 mar. 2021.
- [23] Wiki. **Audi Q7 4M**. Disponível em: <https://de.zxc.wiki/wiki/Audi_Q7_4M>. Acesso em 02 abr. 2021.
- [24] T-online. **Aktive Hinterachslenkung: Was kann diese Technik?**. Disponível em: <https://www.t-online.de/auto/technik/id_63283614/zf-friedrichshafen-neue-hinterachslenkung-fuer-porsche-911-turbo.html>. Alemanha. Acesso em 02 abr. 2021.
- [25] Wiki. **Infiniti QX 70**. Disponível em: <https://de.zxc.wiki/wiki/Infiniti_QX70>. Acesso em 15 abr. 2021.
- [26] Wiki. **Lexus GS**. Disponível em: <https://de.zxc.wiki/wiki/Lexus_GS>. Acesso em 15 abr. 2021.
- [27] Lamborghini. **Lamborghini Aventador**. Disponível em:
<<https://www.lamborghini.com/en-en/models/aventador>>. Acesso em 15 abr. 2021.
- [28] Ferrari. **Ferrari Moldelpalette**. Disponível em: <<https://www.ferrari.com/de-DE/auto/modellpalette>>. Acesso em 15 abr. 2021.
- [29] Ferrari. **A Whole New Word**. Disponível em: <<https://www.ferrari.com/en-EN/auto/gtc4lusso>>. Acesso em 15 abr. 2021.
- [30] OLIVEIRA, Denis Takachi Mizobuchi De. **Sistema de direção aplicado em eixos trativos em veículos de tração total**. Guaratinguetá. São Paulo. 2016.

- [31] MALHEIROS, J. **Estudo e desenvolvimento do sistema de suspensão frontal de um veículo off road visando a melhora de manobrabilidade**. UNIVERSIDADE REGIONAL DO NOROESTE DO ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS EXATAS E ENGENHARIAS CURSO DE ENGENHARIA MECÂNICA. Panambi. 2018. Disponível em: <<https://bibliodigital.unijui.edu.br:8443/xmlui/bitstream/handle/123456789/5306/Jos%20c3%a9%20Felipe%20Ficht%20Malheiros.pdf?sequence=1&isAllowed=y>>. Acesso em: 21 abr. 2021.
- [32] LOPES, Elias Dias Rossi. **ANÁLISE DO COMPORTAMENTO DINÂMICO DE UM VEÍCULO LEVE 4 X 4 COM SISTEMA**. MINISTÉRIO DA DEFESA EXÉRCITO BRASILEIRO DEPARTAMENTO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA INSTITUTO MILITAR DE ENGENHARIA CURSO DE MESTRADO EM ENGENHARIA MECÂNICA. Rio de Janeiro. 2015. Disponível em: <http://www.ime.eb.mil.br/arquivos/teses/se4/mec2015/Dissert_Elias_Rosi.pdf>. Acesso em: 21 abr. 2021.
- [33] FREITAS, Gustavo Ferreira de. **PROJETO DE SISTEMA DE DIREÇÃO PARA VEÍCULOS OFF-ROAD**. Bragança. 2020. Disponível em: <<https://bibliotecadigital.ipb.pt/handle/10198/22678>>. Acesso em: 21 abr. 2021.
- [34] SILVA, Marcos Vinicius da. **Análises da suspensão e direção de um veículo "off-road" do tipo mini baja**. UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE MECÂNICA CURSO DE ENGENHARIA MECÂNICA. Curitiba. 2015. Disponível em: <<http://riut.utfpr.edu.br/jspui/handle/1/10268>>. Acesso em: 21 abr. 2021.
- [35] SILVA, Luís Felipe Santos **SIMULAÇÃO DA SUSPENSÃO TIPO DUPLO A DE UM VEÍCULO OFF-ROAD ATRAVÉS DO HISTÓRICO DE EXCITAÇÃO DO SOLO**. Guaratinguetá. São Paulo. 2016. Disponível em: <<https://repositorio.unesp.br/handle/11449/139261>> Acesso em: 21 abr. 2021.
- [36] CAROLINE GARCIA FELTRINI DE SOUZA, A. **Determinação da rigidez de um veículo offroad por métodos experimentais e computacionais**. Curitiba. 2019.
- [37] OHARA, Erick. **Análise dinâmica de um veículo de passeio equipado com sistema de esterçamento nas quatro rodas**. UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO ESCOLA POLITÉCNICA DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA. São Paulo. 2010. Disponível em: <<http://www.usp.br/ldsv/wp-content/uploads/2014/09/Relatório-final-Erik-Ohara.pdf>> Acesso em: 22 abr. 2021.
- [38] CONTESINI. **Como Funciona o Eixo Traseiro Autodirecional dos Citroen Peugeot e Outros**. Disponível em: <<https://flatout.com.br/catt-como-funciona-o-eixo-traseiro-autodirecional-dos-citroen-peugeot-e-outros-esportivos-dos-anos-1980-e-1990/>>. Acesso em: 25 mar. 2021.
- [39] MAYO, Pablo. **Cómo SE DISEÑA UNA SUSPENSIÓN – El equilibrio conlleva muchos compromissos**. Disponível em: <<https://espirituracer.com/reportajes/como-se-disena-una-suspension/>>. Acesso em: 01 mai. 2021.

- [40] KUMAR, Suresh P., JOSHI, Swapnil N. e KUMARI, Prasanthi. **Design and Fabrication of Four-Wheel Steering System for Efficient Transportation Systems**. International Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering (UITEE). India. 2019.
- [41] GENTA, Gyancarlo. LORENZA, Morello. **Mechanical Engineering Series – The Automotive Chassis** – Volume 2: System Design. Editoria Springer. Itália. 2009.
- [42] CHOLLETE, H.M. **Cours Pratique Pour Mécaniciens D’Automobiles** (Le Véhicule). Spes S.A. Suíça. 1995.
- [43] COSTA, João Pedro Santana. **Análise do Dispositivo Mecânico Diferencial**. Trabalho de Conclusão de Curso de Engenharia Mecânica do Centro de Tecnologia da Universidade Federal da Paraíba. 2019.
- [44] BOSCH. **MANUAL DE TECNOLOGIA AUTOMOTIVA**. Editora Edgard Blucher. 25ª edição. Germany. 2005.
- [45] Escola Estadual de Educação Profissional EEEP – Governo do Estado do Ceará. **Curso Técnico de Manutenção Automotiva -- Sistemas de Direção**.
- [46] ZF. **Active Kinematics Control (AKC)**. Disponível em: <https://www.zf.com/products/en/cars/products_29123.html>. Acesso em: 23 mai. 2021.
- [47] KUTNEY, Pedro. **ZF Desenvolve Chassi “Tapete Voador”**. Disponível em: <<https://www.automotivebusiness.com.br/noticia/29524/zf-desenvolve-chassi-tapete-voador>>. Acesso 23 mai. 2021.
- [48] Honda Oldies. **Four Wheel Steering [Vierrad-Lenkung]**. Disponível em: <<http://www.hondaoldies.de/Korbmacher-Archiv/Technik/4ws.htm>> Acesso em: 21 abr. 2021.
- [49] Sygic.com. **Mais de 80% dos motoristas enfrentam problemas com a capacidade de estacionamento das cidades grandes**. Disponível em: <<https://www.sygic.com/pt-br/press/sygic-launches-the-most-advanced-real-time-parking-service-by-parkopedia-in-its-navigation-app-used-by-100-million-drivers-worldwide/brpt>>. Acesso em 24/11/2021.
- [50] Gazeta do Povo. **Baliza reprova até 30% dos inscritos**. Disponível em: <<https://www.gazetadopovo.com.br/vida-e-cidadania/baliza-reprova-ate-30-dos-inscritos-a7koxfmgazau6f6se06wcygcu/>>. Acesso em 24/11/2021.
- [51] Google. **Tendências**. Disponível em: <<https://trends.google.com.br/trends/explore?date=today%205->

y&q=rear%20steer%20axle,steering%20system> Acesso em 02 dez. 2021.

[52] Site Frwebs. **Review: Honda Prelude – Auto-Zine**. Disponível em:

<<https://www.frwebs.top/ProductDetail.aspx?iid=223703906&pr=72.88>> Acesso em 21 abr. 2021.

[53] Site Maxrev.de. **4WS - Allradlenkung feiert 20-jähriges Bild - Die**

Allradlenkung Von Honda. Alemanha. Disponível em: <<https://www.maxrev.de/die-allradlenkung-von-honda-bild-34351.htm>> Acesso em 21 abr. 2021.

[54] Wikipedia. **File: Honda Prelude Mk III rear steering box.jpg**

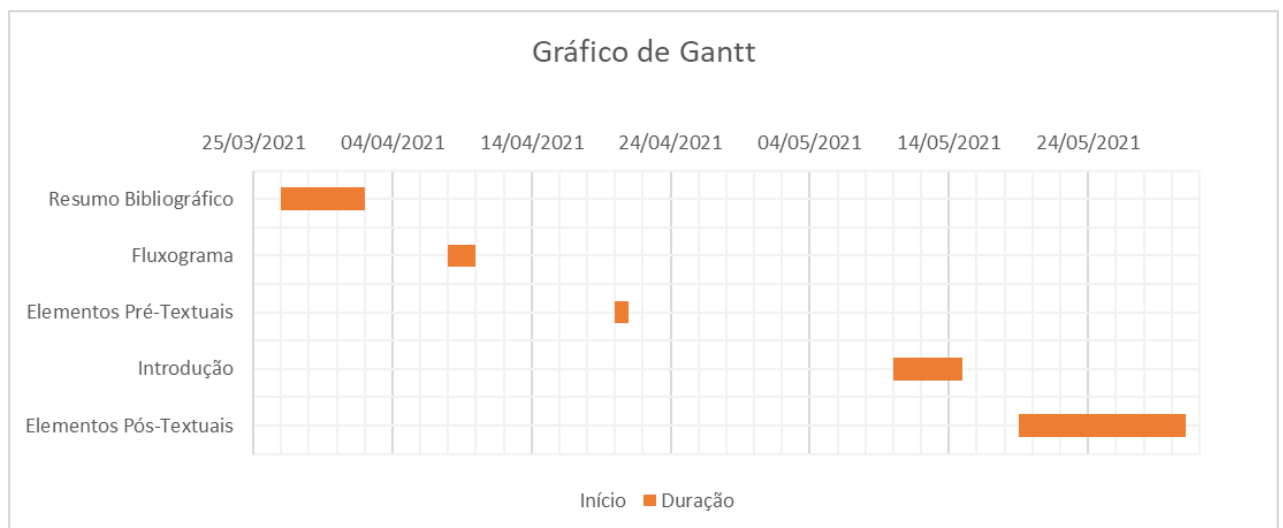
Disponível em:

<https://en.m.wikipedia.org/wiki/File:Honda_Prelude_Mk_III_rear_steering_box.jpg>

Acesso em 21 abr. 2021.

10. APÊNDICE: Programação

Gráfico de Gantt				
#	Atividade	Início	Duração	Término
1	Resumo Bibliográfico	27/03/2021	6	02/04/2021
2	Fluxograma	08/04/2021	2	10/04/2021
3	Elementos Pré-Textuais	20/04/2021	1	21/04/2021
4	Introdução	10/05/2021	5	15/05/2021
5	Elementos Pós-Textuais	19/05/2021	12	31/05/2021



Atualização até 28/10/2021

Cronograma	2021.1	2021.2
Referências Bibliograficas	100%	95%
Fluxogramas	100%	100%
Elementos Pré-textuais	100%	100%
Introdução	95%	95%
Elementos Pós-textuais	75%	90%
Pesquisa	65%	90%
Projeto Físico e Validação	0%	50%
Modelo Matemático	0%	100%

Atualização até 23/11/2021

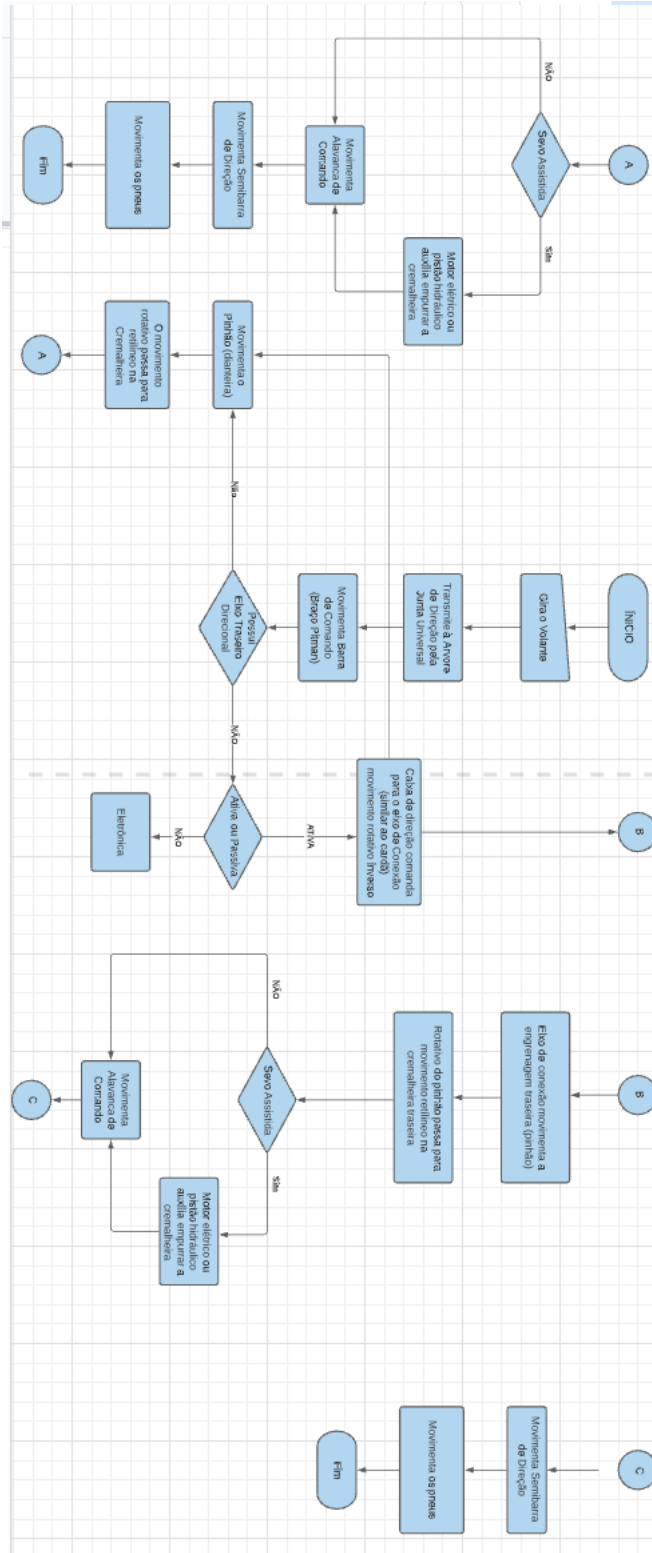
Cronograma	2021.1	2021.2
Referências Bibliograficas	100%	95%
Fluxogramas	100%	100%
Elementos Pré-textuais	100%	100%
Introdução	95%	95%
Elementos Pós-textuais	75%	95%
Pesquisa	65%	95%
Projeto Físico e Validação	0%	100%
Modelo Matemático	0%	100%

Atualização até 30/11/2021

Cronograma	2021.1	2021.2
Referências Bibliograficas	100%	100%
Fluxogramas	100%	100%
Elementos Pré-textuais	100%	100%
Introdução	95%	100%
Elementos Pós-textuais	75%	100%
Pesquisa	65%	100%
Projeto Físico e Validação	0%	100%
Modelo Matemático	0%	100%

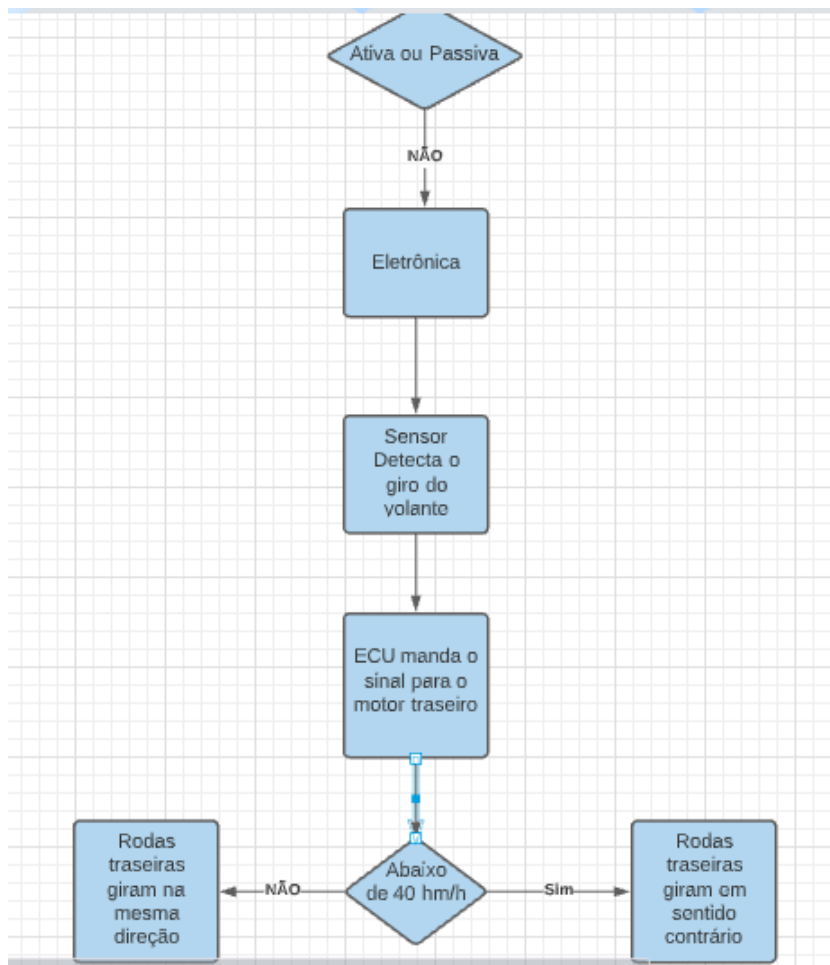
10.1 APÊNDICE: Fluxogramas

Fluxograma 1: sistema mecânico convencional e direção ativa



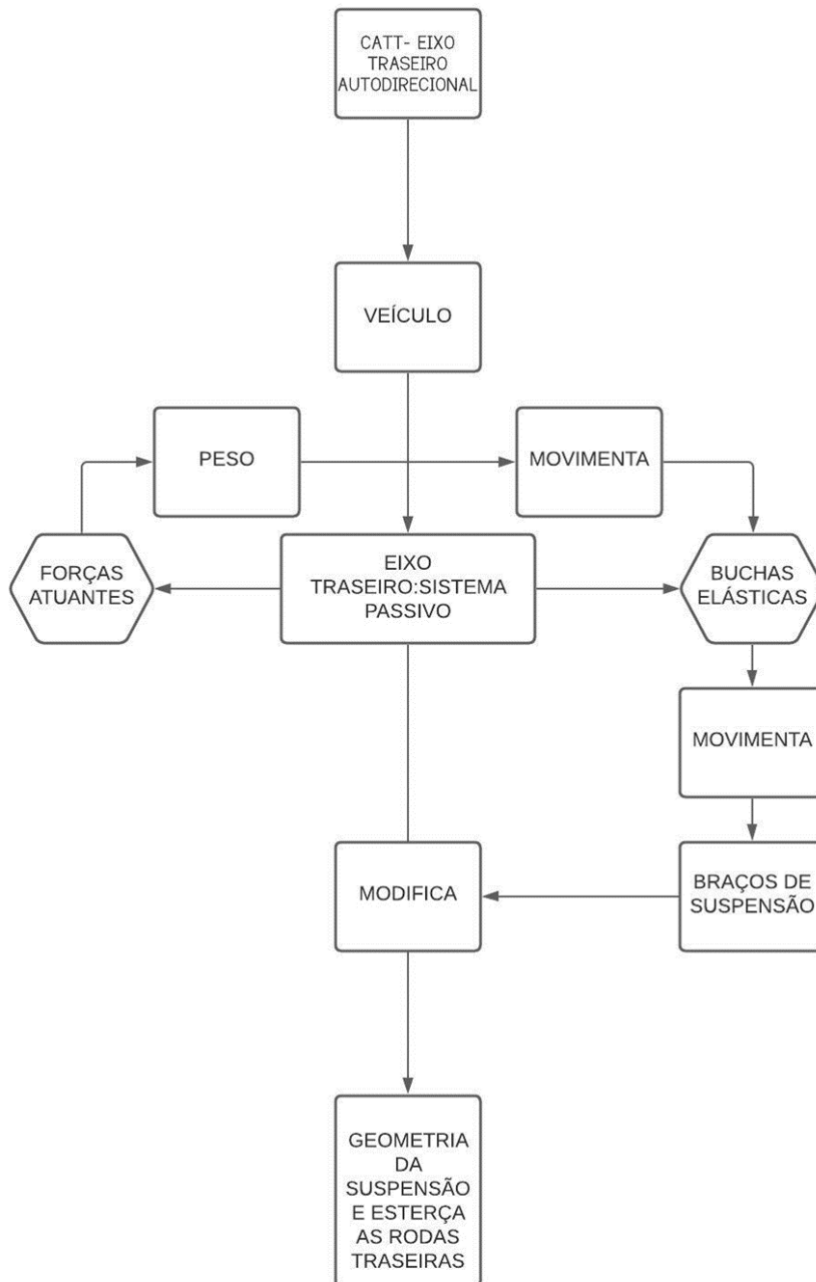
Fonte: autores deste relatório – software Lucidchart. 2021 (https://lucid.app/lucidchart/25096431-d286-4631-b63d-db433a16686a/edit?shared=true&page=0_0#)

Fluxograma 2: sistema de direção passiva (eletrônica)



Fonte: autores deste relatório – software Lucidchart. 2021 (https://lucid.app/lucidchart/13c761eb-6250-4c17-9379-5057edc8ea26/edit?shared=true&page=0_0#)

Fluxograma 3: Sistema Mecânico - CATT



Fonte: autores deste relatório – software Lucidchart. 2021 (https://lucid.app/lucidchart/050fdd2a-d42b-486e-b728-cabf11c578dc/edit?page=0_0#>)

10.2 APÊNDICE: Passo-a-passo da montagem do protótipo em escala

- 1- Desmontagem da miniatura base.
- 2- Corte da miniatura, com a utilização da serrinha.
- 3- Pneus, palitos de picolé e chassi pintados com tinta de tecido na cor preta.
- 4- Montagem dos dois eixos no chassi e com o auxílio do martelo, prender os pneus ao parafuso do chassi e por fim a utilização de cola quente para fixar a base.
- 5- Furadeira para abrir uma circunferência, na chapa de alumínio do eixo. Não foi utilizado furadeira nos palitos devido a força do torque, rachar o palito de picolé, por isso da substituição por parafusadeira.
- 6- Parafusadeira para abrir uma circunferência nos palitos de picolé.
- 7- Dificuldade para movimentar os dois eixos, devido à falta de força e também ao travamento do parafuso.
- 8- Houve melhora da movimentação dos palitos junto aos eixos devido a abrir uma circunferência maior com a troca da broca na parafusadeira, utilização de lubrificação no parafuso com óleo de cozinha e uma porca.
- 9- Resolvido o problema, foi preso a ponta dos palitos, ao eixo de alumínio com cola quente, assim por meio da movimentação do centro dos palitos com o parafuso e a porca, os eixos se movimentaram ao mesmo tempo.