

**CENTRO PAULA SOUZA  
FACULDADE DE TECNOLOGIA DE SANTO ANDRÉ**

**GUSTAVO BENTO  
GUSTAVO DE OLIVEIRA  
WILSON SENEDESI CESÁRIO**

**ESTUDO E DESENVOLVIMENTO DE UMA UNIDADE DE  
GERENCIAMENTO ELETRÔNICO QUE SIMULE A  
ATUAÇÃO NAS ELETROVÁLVULAS DA TRANSMISSÃO  
AUTOMATIZADA DUALOGIC**

**SANTO ANDRÉ – SÃO PAULO**

**2017**

**GUSTAVO BENTO  
GUSTAVO DE OLIVEIRA  
WILSON SENEDESI CESÁRIO**

**ESTUDO E DESENVOLVIMENTO DE UMA UNIDADE DE  
GERENCIAMENTO ELETRÔNICO QUE SIMULE A  
ATUAÇÃO NAS ELETROVÁLVULAS DA TRANSMISSÃO  
AUTOMATIZADA DUALOGIC**

Monografia apresentado à FATEC de Santo André como requisito para obtenção do título de Tecnólogo em Eletrônica Automotiva, sob orientação do Professor Dr. Armando Antônio Maria Laganá e do Professor Marco Aurélio Fróes.

**SANTO ANDRÉ – SÃO PAULO**

**2017**

B478e

Bento, Gustavo

Estudo e desenvolvimento de uma unidade de gerenciamento eletrônico que simule a atuação nas eletroválvulas da transmissão automatizada dualogic / Gustavo Bento, Gustavo de Oliveira, Wilson Senedesi Cesário. - Santo André, 2017. – 67f: il.

Trabalho de Conclusão de Curso – FATEC Santo André.  
Curso de Tecnologia em Eletrônica Automotiva, 2017.

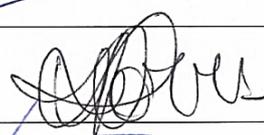
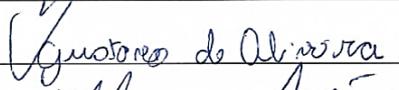
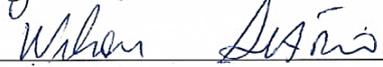
Orientador: Prof. Dr. Armando Antônio Maria Laganá  
Prof. Marco Aurélio Fróes

1. Transmissão automatizada. 2. Eletrônica automotiva. 3. Sensores. 4. Sistemas. I. Oliveira, Gustavo de. II. Cesário, Wilson Senedesi. III. Estudo e desenvolvimento de uma unidade de gerenciamento eletrônico que simule a atuação nas eletroválvulas da transmissão automatizada dualogic.

**LISTA DE PRESENÇA**

SANTO ANDRÉ, 19 de Dezembro de 2017

LISTA DE PRESENÇA REFERENTE À APRESENTAÇÃO DO  
TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO COM O TEMA “ESTUDO  
E DESENVOLVIMENTO DE UMA UNIDADE DE  
GERENCIAMENTO ELETRÔNICO QUE SIMULE A ATUAÇÃO  
NAS ELETROVÁLVULAS DA TRANSMISSÃO AUTOMATIZADA  
DUALOGIC” DOS ALUNOS DO 6º SEMESTRE DESTA U.E.

**BANCA**PRESIDENTE:  
PROF. MARCO AURÉLIO FRÓES MEMBROS:  
PROF. WESLEY MEDEIROS TORRES PROF. CELSO APRECIDO JOÃO **ALUNO:**  
Gustavo Bento Gustavo de Oliveira Wilson Senedesi Cesário 

## AGRADECIMENTOS

Queremos agradecer a Deus, primeiramente, por sempre nos guiar e dar oportunidade de crescer e evoluir constantemente. Agradecemos as nossas famílias e amigos que nos apoiaram até aqui, mesmo nas nossas inúmeras horas de ausência em momentos importantes, para que o projeto pudesse se concretizar.

Agradecemos a empresa Magnetti Marelli pela doação do kit mecatrônico do câmbio para a montagem de uma bancada didática. E a Volkswagen do Brasil pela doação da caixa de mudanças completa para implementação de um novo sistema.

Não podemos deixar de agradecer aos professores/orientadores: Dr. Armando Antônio Maria Laganá e ao Marco Aurélio Fróes; que nos apoiaram e compartilharam seus conhecimentos para que esse projeto pudesse acontecer, atuando como pilares para o grupo durante a produção desse conteúdo.

Queremos citar os nossos amigos que nos ajudaram durante essa empreitada, como Demerson Moscardini, Bruno Pereira, Paulo Hayashida e Caio Roberto. A eles o nosso muito obrigado.

E por fim, mas não menos importante, agradecemos a instituição *Fatec Santo André*, por nos ceder espaço e tempo durante os projetos, assim como períodos fora de atividade em que estivemos na instituição para realização do projeto.

“Se o dinheiro for a sua esperança de independência, você jamais a terá. A única segurança verdadeira consiste numa reserva de sabedoria, de experiência e de competência.”

**(Henry Ford)**

## RESUMO

Transmissões automatizadas são atualmente a evolução dos sistemas mecânicos manuais de transmissão. Através do implemento mecatrônico auxiliam nos controles eletrônicos e sensoriamento de dados, trazendo aos sistemas modernos conforto, segurança, flexibilidade de funcionamento e maior rendimento.

Baseado nesse conceito, trabalhamos os estudos dentro desse tema e agregamos conhecimentos fundamentais para entendimento do funcionamento desse sistema. Assim como compreendemos suas possibilidades de estudo.

Os trabalhos teóricos foram baseados nos sistemas Dualogic® da Fiat e I-motion® da Volkswagen. Ambos com mecatrônica desenvolvida pela empresa Magneti Marelli. Os dados e estudos nos proporcionaram um desenvolvimento de hardware e o desenvolvimento de uma bancada didática com o kit, possibilitando a atuação das eletroválvulas.

Palavra-chave: Bancada didática, mecatrônica, Transmissão automatizada.

## **ABSTRACT**

Automated transmissions are currently the evolution of manual mechanical transmission systems, through the mechatronic implement assist in electronic controls and data sensing, bringing to modern systems comfort, safety, flexibility of operation and greater performance.

Based on this concept, we study the studies within this theme, and aggregate fundamental knowledge to understand the functioning of this system. Just as we understand your possibilities for study.

The theoretical work was based on Volkswagen's I-motion® and Fiat Dualogic® systems. Both with mechatronics developed by the company Magneti Marelli. The data and studies provided us with a hardware development and the development of a didactic bench with the kit, allowing the actuation of the electro-valves.

Keyword: Didactic bench, mechatronics, automated transmission.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Motor de combustão interna em corte latera.....	26
Figura 2 - Representação dos ciclos do motor.....	27
Figura 3 - Representação do Torque.....	29
Figura 4 – Descrição do Movimento Biela-Manivela.....	30
Figura 5 - Demonstração de Transmissão de Torque.....	35
Figura 6 – Polia e Correia.....	36
Figura 7 – Engrenagens.....	36
Figura 8 – Conjunto Powertrain.....	37
Figura 9 - Desenho em corte de uma Transmissão Manual.....	44
Figura 10 - Decomposição dos elementos da transmissão manual.....	44
Figura 11- Demonstração do funcionamento do Diferencial.....	45
Figura 12 - Demonstração do Funcionamento do Câmbio Manual.....	46
Figura 13 - Transmissão Automática em corte.....	47
Figura 14 - Câmbio Automático.....	49
Figura 15 - Continuous Variable Transmission.....	50
Figura 16 - Sistema Automatizado de Transmissão.....	51
Figura 17 - Joystick (Alavanca) do Sistema Dualogic®.....	52
Figura 18 – Eletrobomba.....	55
Figura 19 - Acumulador de pressão.....	55
Figura 20 - Defletor de Óleo.....	56
Figura 21 - Vista do grupo das eletroválvulas no I-motion®.....	57

Figura 22 - Posição das eletroválvulas de seleção.....	58
Figura 23 - Funcionamento da EV-3 e EV-4.....	58
Figura 24 - EV3 e EV4 atuando simultaneamente.....	59
Figura 25 - Gráfico da corrente pela vazão da pressão.....	60
Figura 26 - Circuito hidráulico da EV-1 e EV-2.....	61
Figura 27 - Tensão Elétrica de 12V da Eletroválvula.....	62
Figura 28 - Vista em corte da eletroválvula de pressão.....	63
Figura 29 - Esquema hidráulico da EV-0.....	64
Figura 30 - Sinal de tensão da EV-0.....	65
Figura 31 - Eletroválvula proporcional a vazão em corte.....	66
Figura 32 - Eixo de Comando do Câmbio.....	67
Figura 33 - Flange Intermediária.....	68
Figura 34 - Atuador da embreagem.....	68
Figura 35 - Atuador da embreagem I-motion®.....	69
Figura 36 - Nó do câmbio Duallogic®.....	69
Figura 37 - Arquitetura Eletrônica dos Módulos.....	71
Figura 38 - Arquitetura eletrônica do I-motion®.....	72
Figura 39 - Lógica de funcionamento do Joystick.....	73
Figura 40 - Tabela binária da posição do Joystick.....	73
Figura 41 - Sinal dos sensores GSL.....	74
Figura 42 - Acoplamento do sensor de efeito hall ao conjunto magnético	75
Figura 43 - Sinal do sensor de rotação. Fonte: Diagnóstico do câmbio Duallogic® .....	75

Figura 44 - Sinal do sensor medido pelo grupo.....	76
Figura 45 - Representação das bobinas e do ímã.....	77
Figura 46 - Sinal do sensor de posição da embreagem.....	78
Figura 47 - Sensor de pressão.....	78
Figura 48 - Gráfico de operação do sensor de pressão.....	79
Figura 49 - Sensor de rotação da árvore primária.....	79
Figura 50 - Sinal do sensor de rotação.....	80
Figura 51 - Sinal do interruptor de freio.....	81
Figura 52 - Localização do sensor de velocidade.....	81
Figura 53 - Gráfico de torque e potência da Strada.....	83
Figura 54 - Break-out Box.....	86
Figura 55 - Conector do chicote do veículo.....	87
Figura 56 - Placa de aquisição National Instruments NI USB.....	88
Figura 57 - Montagem da bancada de aquisição de dados.....	89
Figura 58 - Sinal conjunto das eletroválvulas.....	91
Figura 59 - Placa de controle do MCP33816.....	94
Figura 60 - Diagrama Interno do MCP33816.....	95
Figura 61 - Fluxograma da funcionalidade da ECU.....	97
Figura 62 - Hardware padrão da Fatec.....	98
Figura 63 - Placa de acionamento das eletroválvulas.....	99
Figura 64 - Esquema elétrico da placa de acionamento.....	100
Figura 65 - Fluxograma da placa de acionamento básico.....	101

Figura 66 - Bancada Dualogic®.....	102
Figura 67 - Sistema I-Motion®.....	103

## LISTA DE ABREVEATURAS

FATEC Faculdade de tecnologia de santo André

ABS Antilocking Brake System

PMS Ponto Morto Superior

PMI Ponto Morto Inferior

RPM rotações por minuto

CVT Continuous Variable Transmission

ECU Electronic Control Unit

N Neutro

D Drive

P Park

DCT Dual Cluth Transmission

MTA Manual Transmission Automated

R Marcha Ré

NCD Nó do câmbio Dualogic®

EV0 Eletroválvula 0

EV1 Eletroválvula 1

EV2 Eletroválvula 2

EV3 Eletroválvula 3

EV4 Eletroválvula 4

OBD On Board Diagnostic

CAN Controller Area Network

GLS0 Sensor de posição do joystick 1

GLS1 Sensor de posição do joystick 2

GLS2 Sensor de posição do joystick 3

GLS3 Sensor de posição do joystick 4

PLCD Permanet Magnetic Linear Contact

NBC    Nodo Computador de Bordo  
NI     National Instruments  
USB    Universal Serial Bus  
PWM    Pulse Width Modulation  
SPI    Serial Peripheral Interface  
CI     Circuito Integrado  
PCB    Printed Circuit Board

## LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1 – Cálculo para relação de movimento em graus por segundo..	28
Equação 2 – Calculo para descoberta em tempo usando um valor exemplo.....	28
Equação 3 – Calculo para o tempo de cada ciclo.....	28
Equação 4 – Derivada da velocidade instantânea.....	31
Equação 5 – Equação da velocidade do pistão.....	31
Equação 6 – Derivada da aceleração.....	31
Equação 7 – Equação da aceleração.....	31
Equação 8 – Equação simplificada da aceleração.....	32
Equação 9 – Equação completa da aceleração com o binômio de Newton.....	32
Equação 10 – Fórmula da Pressão.....	32
Equação 11 – Fórmula da pressão aplicada com a aceleração.....	32
Equação 12 – Fórmula da inércia.....	33
Equação 13 – Fórmula da inercia com a aceleração do pistão.....	33
Equação 14 – Fórmula da inércia após a aplicação da distribuição matemática.....	33
Equação 15 – Fórmula da força centrífuga multiplicada pela aceleração...	34
Equação 16 – Calculo da relação de Engrenagens.....	38
Equação 17 – Expressão para o cálculo da rotação das engrenagens.....	38
Equação 18 – Substituição na fórmula do cálculo da rotação.....	38
Equação 19 – Expressão final para cálculo da rotação.....	38
Equação 20 – Cálculo para encontrar o perímetro da roda.....	40
Equação 21 – Cálculo para encontrar o raio da roda.....	40
Equação 22 – Cálculo para encontrar o raio dinâmico da roda.....	40
Equação 23 – Relação de Transmissão.....	40
Equação 24 – Cálculo da relação total de transmissão.....	41

Equação 25 – Formulas do ROTAÇÃO e Torque na roda.....	41
Equação 26 – Cálculo do perfil da roda.....	41
Equação 27 – Conversão de polegadas (in) para Milímetros (mm).....	41
Equação 28 – Fórmula para encontrar o perímetro.....	41
Equação 29 – Calculo da Relação total da 2ª marcha do Strada.....	42
Equação 30 – Conversão de Kgfm para Newton.....	42
Equação 31 – Torque empregado na roda.....	42
Equação 32 – Rotação empregado na roda.....	42
Equação 33 – Fórmula para o cálculo da velocidade teórica.....	43
Equação 34 – Conversão para Km/h.....	43
Equação 35 – Relação de tensão total.....	77
Equação 36 – relação de tensão com ímã em deslocamento.....	77

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Ordem de Ignição.....	27
Tabela 2 - Comparativo ente modelos de câmbio.....	53
Tabela 3 - Características do Óleo e pressão de projeto.....	56
Tabela 4 - Sequência de Acionamentos do Sistema.....	90
Tabela 5 -Tabela de Teste do Projeto.....	91

## LISTA DE SÍMBOLOS

®	Marca registrada
$D^*_{am}$	Diâmetro Arvore de Manivelas
ms	Milisegundos
s	Segundos
°	Graus
PMS	Ponto Morto Superior
PMI	Ponto Morto Inferior
R	Raio
L	Largura da biela
Vc	Volume Morto
Vd	Volume Total
$\varphi$	Ângulo
v	Velocidade instantânea do pistão
$\omega$ :	Velocidade angular da manivela
$\lambda$	Lambda
a	Aceleração
Fp	Força de Pressão
p	Pressão
A	Área
mmpm	Milímetros por minuto
KM/h	Quilometro por hora
V	Volts
A	Ampères
$\Omega$	Resistencia
N/m	Newton metro

Fa	Força de Inercia
Rt	Relação de Transmissão
Re	Relação de engrenagens
Proda	Perímetro da roda
Rt	Relação total
Troda	Torque na roda
RPMroda	Rotação na roda
Mm	Milímetro
Vteorica	Velocidade teórica
Bar	Pressão barométrica
cm <sup>3</sup>	Centímetro cubico
CV	Potencia
Va	Volume do ângulo

## SUMÁRIO

1 Introdução.....	23
1.1 Motivação.....	24
1.2 Objetivos.....	25
1.3 Metodologia de Pesquisa.....	25
1.4 Estrutura e Organização.....	25
2 Revisão Bibliográfica.....	26
2.1 Motores de Combustão Interna.....	26
2.2 Ciclos e Tempos de Um Motor a Combustão Interna.....	27
2.3 Vocação dos Motores.....	28
2.4 Torque.....	29
2.4.1 Geração de Torque por Movimento da biela-manivela...	30
2.4.2 Forças Físicas do Sistema biela-manivela.....	32
2.4.3 Forças de Inercia.....	33
2.4.4 Força Centrifuga.....	34
2.4.5 Forças Totais.....	34
2.5 Transmissão de Torque.....	34
2.5.1 Transmissão por Polias e Correias.....	35
2.5.2 Transmissão Por Engrenagens.....	36
2.6 Fluxo de Força.....	37
2.6.1 Relação de Transmissão.....	37
2.7 Pneu.....	39
2.8 Raio Dinâmico da Roda.....	39
2.8.1 Relação Raio Dinâmico e Obtenção de Velocidade.....	40

2.9 Funcionamento da Transmissão Automotiva.....	43
2.9.1 Componentes da Transmissão.....	44
2.10 Relação de Marchas.....	45
2.11 Transmissão Manual.....	46
2.12 Transmissão Automática.....	47
2.12.1 Tipos de Transmissão Automática.....	48
2.13 Introdução a Transmissão Automatizada.....	50
2.13.1 Divisão do Sistema Automatizado.....	51
3 Sistema Automatizado.....	52
3.1 Funcionalidade.....	52
3.2 Componentes do Sistema.....	54
3.2.1 Grupo hidráulico de Potência e Componentes.....	54
3.2.1.1 Eletrobomba.....	54
3.2.1.2 Acumulador Hidráulico.....	55
3.2.1.3 Defletor de Óleo.....	56
3.2.1.4 Características Importantes dos Componentes.....	56
3.2.2 Grupo das Eletroválvulas .....	57
3.2.2.1 Eletroválvulas de Seleção.....	57
3.2.2.2 Eletroválvulas de Engate.....	60
3.2.2.3 Eletroválvulas do Atuador de Embreagem.....	63
3.2.3 Componentes de Interface e ECU.....	66
3.2.3.1 Eixo de Comando do Cambio.....	66
3.2.3.2 Flange Intermediária.....	67
3.2.3.3 Atuador da Embreagem.....	68

3.2.3.4 Unidade de Controle (NCD).....	69
3.3 Sensores.....	72
3.3.1 Sensor de Posição Alavanca de comando do cambio....	73
3.3.2 Sensor de Posição Atuadores de Engate e Seleção.....	75
3.3.3 Sensor de Posição da Embreagem.....	76
3.3.4 Sensor de Pressão do Óleo .....	78
3.3.5 Sensor de Rotação da Árvore Primária.....	79
3.3.6 Interruptor de Freio.....	80
3.3.7 Sensor de Velocidade.....	81
3.3.8 Interruptor da Porta do Condutor.....	82
3.3.9 Sinais de Sensores Via Rede CAN.....	82
3.4 Estratégias de Troca de Marcha.....	82
4 Metodologia.....	85
4.1 Aquisição de Dados.....	85
4.2 Aquisição de Dados Via LabView.....	87
4.3 Análise das Eletroválvulas.....	89
4.4 Driver de Controle MCP 33816.....	93
4.5 Hardware.....	96
4.5.1 Hardware de Acionamento das Eletroválvulas.....	98
4.6 Bancada de Testes Didática.....	101
5 Conclusões Parciais e Finais.....	104
6 Projetos Futuros.....	105
7 Referências Bibliográficas.....	106
Apêndice A.....	107

## 1. INTRODUÇÃO.

Nos dias atuais os mais diversos sistemas de gerenciamento eletrônico fazem parte dos automóveis, caminhões e ônibus, com soluções para praticamente todos os sistemas automotivos. Atendendo os mais severos requisitos de segurança ativa, passiva, emissões, confiabilidade, habitabilidade, conforto, conveniência, entre outros. Hoje é impossível pensar em um sistema automotivo puramente mecânico, afinal o automóvel é uma solução para a mobilidade física, que não esteja integrado e até dependente de um sistema de gerenciamento eletrônico.

Tudo começou com os sistemas eletrônicos de gerenciamento para os motores de combustão interna. O objetivo era vencer os desafios das rigorosas legislações europeias e americanas para as emissões veiculares sem comprometer a segurança operacional, confiabilidade e a durabilidade. O êxito destes sistemas para motores deu origem aos sistemas de gerenciamento eletrônico que equiparam as transmissões automáticas, seguido dos sistemas de freios incorporando o item de segurança ativa ABS (*Antilocking Brake System*). Todos anteriormente, de operação eminentemente mecânica.

Estes sistemas de gerenciamento passaram a ser considerado um novo conhecimento da tecnologia automobilística que, no Brasil no início dos anos 1990, era chamado de autotrônica – eletrônica para sistemas automotivos caracterizados por sistemas que trabalham com sensores, processamento e atuadores.

No início dos anos 2000 começa a tomar espaço dentro dos sistemas autotrônicos um sistema híbrido que combinou gerenciamento eletrônico com acionamentos até então puramente mecânicos. O acionamento do corpo de borboleta do motor foi um bom exemplo destes mecanismos. O que antes era realizado por mera movimentação mecânica usando cabos, passou a ser comandado puramente pelo torque demandado do motor considerando também a urgência no fornecimento deste torque. Começava a tomar forma os sistemas mecatrônicos.

Hoje sistemas semelhantes são utilizados em praticamente todos os sistemas do veículo. De um simples ABS de freios, atualmente temos sistemas que providenciam freios, controle da força de frenagem, assistentes de partidas em rampa, controle de estabilidade, deslizamento, entre outros, nas mais diversas condições de projeto.

As transmissões automatizadas são os mais recentes exemplos de sistemas mecatrônicos. Trata-se de transmissões mecânicas comuns com embreagens de disco seco e sistema de engates com sincronizadores, que realizam de forma automatizada as trocas das marchas em função do regime de torque, velocidade, rotação do motor e da taxa de urgência da demanda. Estes sistemas mecatrônicos combinado com sistemas mecânicos, hidráulicos e com gerenciamento eletrônico combinam simplicidade e custo de produção de forma amplamente utilizada.

### **1.1. MOTICAÇÃO.**

Apesar dos câmbios automatizados não serem uma novidade no mercado, existe pouca literatura e projetos a cerca desse sistema, ao analisarmos de perto seu completo funcionamento, é possível observar o quanto ele é promissor, desde seu funcionamento mecânico até seu controle eletrônico, que conta com uma unidade de gerenciamento própria.

Outra razão foi utilizar esse projeto para demonstrar o quanto ele é eficiente, utilizando também para aprimorar os conhecimentos adquiridos durante a graduação e desenvolver um sistema em bancada didática que servirá para futuros projetos.

Além disso, para aumentar o acervo de literatura técnica sobre sistemas automatizados, assim esperamos deixar um legado para as próximas considerações sobre este assunto.

## **1.2. OBJETIVO.**

O objetivo desse projeto é desenvolver um hardware que gerencie eletronicamente a transmissão automatizada *Dualogic®*, assim como o desenvolvimento de uma bancada com o kit mecatrônico do sistema *Dualogic®*. E também o desenvolvimento de um hardware que acione as eletroválvulas da transmissão automatizada sem o controle de corrente.

## **1.3. METODOLOGIA DE PESQUISA.**

Inicialmente foi preciso realizar uma pesquisa sobre todo o sistema de transmissão e seu princípio de funcionamento. Em seguida foi feita a análise de todos os sinais, verificando como acontecem as atuações das eletroválvulas, começando uma engenharia reversa onde através da mesma é possível se formar o layout e estipular todos os *driver's* que foram utilizados no hardware de controle montada pelo grupo.

## **1.4. ESTRUTURA E ORGANIZAÇÃO.**

O presente projeto é composto por cinco capítulos, sendo o primeiro uma explanação e um resumo sobre os objetivos do grupo e nossas motivações ao realizar esse projeto. No segundo capítulo será abordado todo um conteúdo técnico sobre o projeto e o sistema desenvolvido e estudado, compondo sua origem e evolução até os dias atuais. O terceiro será feito especialmente para falar sobre o sistema *Dualogic®* aqui utilizado, abordaremos cada componente e suas funções. No capítulo quatro será exemplificada a confecção do projeto e todos componentes que o integram e suas finalidades, em outras palavras abordaremos toda a metodologia do projeto. No quinto capítulo apresentaremos as conclusões obtidas durante o projeto. Finalmente no sexto capítulo, apresentaremos as possibilidades de projetos futuros.

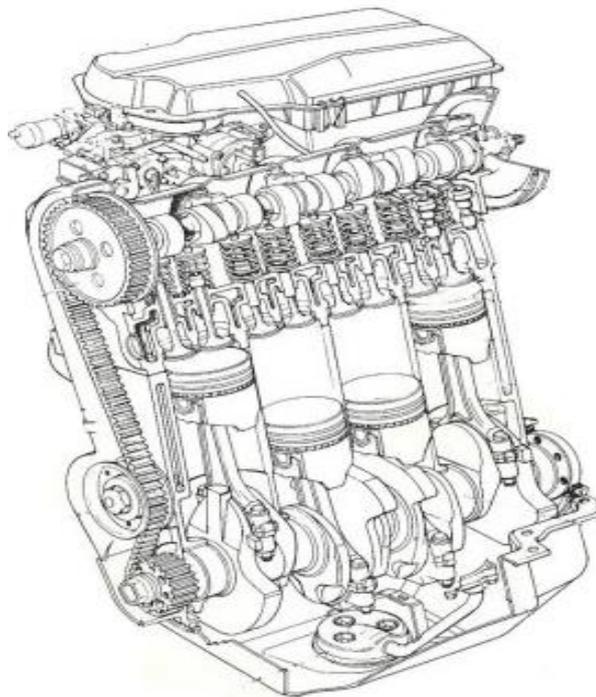
## 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.

### 2.1. MOTORES DE COMBUSTÃO INTERNA.

São definidos como Motores de Combustão Interna aqueles cujo mistura, ar/combustível ou somente mistura, participa diretamente da combustão. Os motores presentes dentro dos veículos são conhecidos como *motores alternativos*, essa nomenclatura se dá pelo fato de que o “*trabalho é obtido pelo movimento ascendente e descendente de um pistão, transformando em rotação contínua por um sistema biela-manivela*”. (Brunetti, Franco – 2012).

Os funcionamentos dos motores de combustão interna são cíclicos e por tempos, onde cada tempo é um estágio pelo qual a mistura (ar/combustível) passa, enquanto o ciclo dita todas as fases completas.

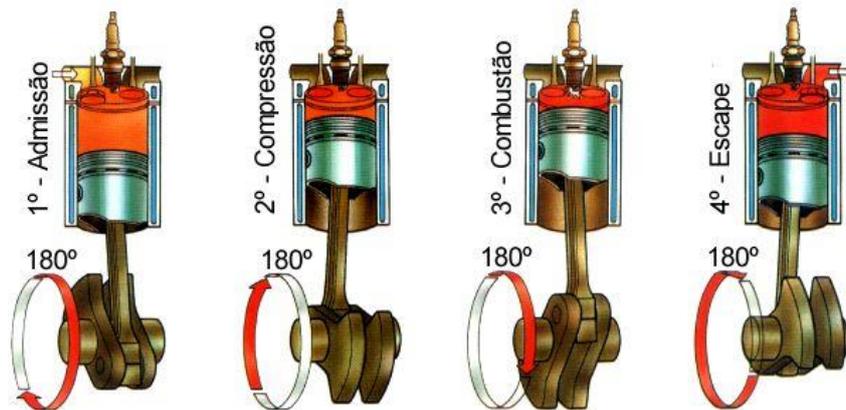
Motores a combustão interna podem ser: Motores de 2 (dois) e 4 (quatro) tempos, de ciclo Otto, motores de ciclo Wankle e Motores de ciclo Diesel.



**Figura 1 - Motor de combustão interna em corte lateral.**

**Fonte: Heywood (1988).**

## 2.2. CICLOS E TEMPOS DE UM MOTOR A COMBUSTÃO INTERNA.



**Figura 2 - Representação dos ciclos do motor.**

**Fonte: Motores a Combustão Interna (Franco Brunnetti – 2002).**

Para entendermos o sincronismo de um motor a combustão interna, precisamos entender os tempos e ciclos. Os tempos ou fases de um motor a combustão interna são conhecidos como Admissão, Compressão, Combustão e Escape. Explicando de uma maneira breve como funciona cada fase, temos como base a seguinte tabela.

Ordem de Ignição					Fase
1	Combustão	Escape	Admissão	Compressão	180°
3	Compressão	Combustão	Escape	Admissão	180°
4	Admissão	Compressão	Combustão	Escape	180°
2	Escape	Admissão	Compressão	Combustão	180°
					720°

**Tabela 1 – Ordem de Ignições.**

Quando todos os cilindros realizam suas fases de 180°, totalizamos 720° na árvore de manivelas, isso equivale a duas voltas da mesma. O ciclo é quando todos os cilindros realizam suas fases, ou seja, quando temos 720° ou

duas voltas na árvore de manivelas, temos um ciclo completo. Em tempo podemos descrever da seguinte maneira:

$$D_{\triangleright am} = \frac{\frac{Rpm \times 360}{60}}{1000}$$

***Equação 1 – Cálculo para relação de movimento em graus por segundo.***

Na fórmula acima temos o cálculo para adquirirmos a relação de °/s, para um exemplo fácil substituiremos o valor de Rotação por 3000, assim teremos:

$$D_{\triangleright am} = \frac{\frac{3000 \times 360}{60}}{1000} = 18000^{\circ}s$$

$$\therefore \frac{18000}{1000} = 18^{\circ}ms$$

***Equação 2 – Calculo para descoberta em tempo usando um valor exemplo***

Sabendo-se que cada fase tem 180°,

$$\frac{180}{18} = 10ms$$

***Equação 3 – Calculo para o tempo de cada ciclo***

Agora sabemos que cada fase dura 10ms, e tendo um motor que executa um ciclo a cada 720°, temos então um ciclo a cada 40ms, para um motor a 3000 rotações.

E assim podemos entender como funciona o sincronismo entre tempo, ciclos e fases de um motor a combustão interna.

### **2.3. VOCAÇÃO DOS MOTORES.**

Todo motor tem o que chamamos de “vocação de um motor”, em uma melhor expressão, este termo define se o motor nos oferece mais torque ou, mais potência. Isso se dar pela relação de diâmetro do pistão, pelo curso da biela. Onde, para motores que têm o curso da biela menor que o diâmetro do

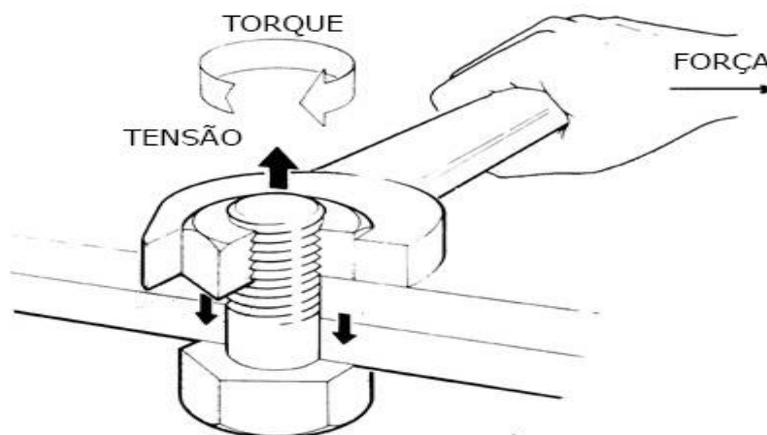
pistão, denominados “*Super-quadrados*” são motores que fornecem mais potência do que torque. Motores denominados “*Sub-Quadrados*”, tem o curso maior e o diâmetro menor, nesse motor teremos mais torque do que potência, um exemplo são os motores de caminhão. Existem também os motores onde a razão entre curso e diâmetro é praticamente a mesma, esses motores são denominados “*Quadrados*”, e tendem a manter um equilíbrio entre torque e potência.

## 2.4. TORQUE.

Torque ou “momento de alavanca” é conhecido como uma propriedade vetorial da física, onde temos um movimento e sentido rotacional. Para definirmos Torque e/ou geração de torque em motores de combustão interna, devemos lembrar alguns conceitos básicos sobre motores.

A transmissão veicular tem a função de transmitir torque e potência para as rodas do carro. Para isto ela utiliza uma relação de marchas, que são as combinações das relações de engrenagens que transferem e controlam tanto o torque quanto a potência, em virtude da marcha presente no momento.

Para começarmos a entender o funcionamento de uma transmissão, precisamos primeiro entender como são obtidos o Torque e a Potência em um motor a combustão interna, é possível entender isso analisando o sincronismo do sistema biela-manivela.



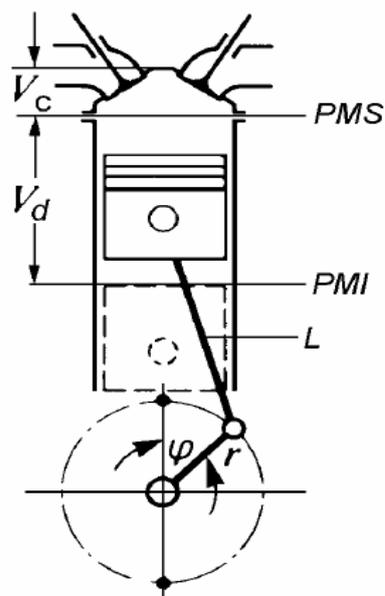
**Figura 3 - Representação do Torque.**

### 2.4.1. GERAÇÃO DE TORQUE POR MOVIMENTO DA BIELA-MANIVELA.

“Como sabemos, após a combustão ocorre aumento da temperatura e pressão. A pressão desloca o pistão do PMS para o PMI havendo realização de trabalho mecânico” (Varella, Carlos A.A., 2009).

Como vimos, as fases de um motor e seus ciclos ditam um ritmo de movimento, esse ritmo é o deslocamento de PMS para o PMI, fazendo um movimento retilíneo descendente e ascendente do pistão. Porém este movimento não é igual na biela e no mancal, onde passamos a ter um movimento rotativo, esse movimento é transferido para o virabrequim.

Logo teremos todos os pistões gerando uma força rotacional na árvore de manivelas, a qual todos estão conectados pelo virabrequim. Essa força é gerada devido à atuação de forças físicas e dimensionamento mecânico introduzido desde o projeto do motor. Para entendermos melhor:



**Figura 4 – Descrição do Movimento Biela-Manivela.**

**Fonte: Material de aula do Prof. Marco Aurélio Fróes (Fatec - Santo André).**

Na imagem acima temos um esboço da forma construtiva de um pistão automotivo, onde devido a sua arquitetura construtiva, ao entrar em movimento

de PMS para PMI temos fatores matemáticos que possibilitam a atuação e/ou geração de fatores físicos que proporcionam o resultado final esperado, ou seja, o torque e a potência a ser transferida para a transmissão.

Ao analisarmos cada variável presente, e/ou até mesmo detalhando ainda mais o esquemático do sistema, podemos obter a fórmula de velocidade instantânea do pistão ( $v$ ), onde:

$$v = x = \frac{dx}{dt} = \frac{dx}{d\alpha} \frac{d\alpha}{dt} = \omega \frac{dx}{d\alpha}$$

***Equação 4 – Derivada da velocidade instantânea.***

Lembrando-se que  $\omega$  é a velocidade angular da manivela  $r$ .

Ao resolvermos a equação acima e identificarmos  $\lambda = \frac{r}{L}$ ; a velocidade do pistão pode finalmente ser definida como:

$$v = \omega r \left( \text{sen}\alpha + \frac{\lambda}{2} \text{sen}2\alpha \right)$$

***Equação 5 – Equação da velocidade do pistão.***

Utilizando o mesmo método da velocidade instantânea, podemos definir a aceleração do pistão, e tendo as duas podemos entender as forças atuantes no motor. Para definirmos a aceleração:

$$a = \frac{dv}{dt} = \frac{dv}{d\alpha} \frac{d\alpha}{dt} = \omega \frac{dv}{d\alpha}$$

***Equação 6 – Derivada da aceleração.***

Assim teremos a seguinte equação:

$$a = \omega \frac{d}{d\alpha} \left( \omega r \left( \text{sen}\alpha + \frac{\lambda}{2} \text{sen}2\alpha \right) \right)$$

***Equação 7 – Equação da aceleração.***

Onde a aceleração passa a ser:

$$a = \omega^2 r (\cos\alpha + \lambda \cos 2\alpha)$$

**Equação 8 – Equação simplificada da aceleração.**

Para finalizar aplicamos os termos do binômio de Newton a nossa expressão e então podemos obter:

$$a = \omega^2 r \left( \cos\alpha + \lambda \cos 2\alpha - \frac{\lambda^3}{4} \cos 4\alpha + \frac{9}{128} \lambda^5 \cos 6\alpha + \dots \right)$$

**Equação 9 – Equação completa da aceleração com o binômio de Newton.**

**Obs: os módulos da aceleração são muito grandes.**

Agora graças a arquitetura construtiva dos pistões foi possível adquirirmos as fórmulas de velocidade e aceleração do pistão, tendo isto podemos entender como atuam as forças físicas no mesmo.

#### 2.4.2. FORÇAS FÍSICAS DO SISTEMA BIELA-MANIVELA.

A primeira força que vamos entender dentro do sistema é a de pressão, onde a mesma é uma força dos gases atuante na área da cabeça do pistão. Podemos defini-la com a seguinte fórmula:

$$F_p = p \cdot A = p \frac{\pi D^2}{4}$$

**Equação 10 – Fórmula da Pressão.**

Como sabemos “ $p$ ” é a pressão na câmara, e “ $A$ ” é área da cabeça do pistão, e “ $D$ ” o diâmetro. Como resultante temos a “ $F_p$ ” e/ou “Força de Pressão”.

Se definirmos a pressão como uma função do volume pelo ângulo que a manivela percorre, devemos primeiramente lembrar que:

$$V_\alpha = x \cdot A = \left[ r(1 - \cos\alpha) + L \frac{\lambda^2}{4} (1 - \cos 2\alpha) \right] A$$

**Equação 11 – Fórmula da pressão aplicada com a aceleração.**

Agora temos  $p=f(\alpha)$ .

A próxima força que iremos observar dentro do funcionamento do motor são as **Forças de Inércia**.

### 2.4.3. FORÇAS DE INÉRCIA.

Sempre que temos uma massa em movimento rotativo, desse movimento compreendemos uma aceleração, como resultados desse processo têm as *Forças de Inércia*. Dada como:

$$F_a = -MaA,$$

*Equação 12 – Fórmula da inércia.*

Sabendo que:

**Ma** = Massas em movimento alternativo.

**A** = Aceleração do Pistão.

Podemos então a partir dessa equação, substituímos a equação de aceleração do pistão para então adequá-la as propriedades construtivas do pistão. Onde a partir disso teremos:

$$F_a = -Ma * \omega^2 r (\cos\alpha + \lambda \cos 2\alpha)$$

*Equação 13 – Fórmula da inercia com a aceleração do pistão.*

Ao aplicarmos a distribuição matemática, obtemos a seguinte fórmula:

$$F_a = -Ma\omega^2 r (\cos\alpha - Ma\omega^2 r \lambda \cos 2\alpha)$$

*Equação 14 – Fórmula da inércia após a aplicação da distribuição matemática.*

#### 2.4.4. FORÇA CENTRÍFUGA.

É o resultado da reação da aceleração centrípeta, logo:

$$F_c = -Mr\omega^2r,$$

*Equação 15 – Fórmula da força centrífuga multiplicada pela aceleração.*

Onde: **Mr** são as massas rotativas.

#### 2.4.5. FORÇAS TOTAIS.

“As forças de Inércia na biela podem ser divididas em forças em virtude do movimento de rotação e forças devido ao movimento alternativo” (Franco, Brunetti – 2012).

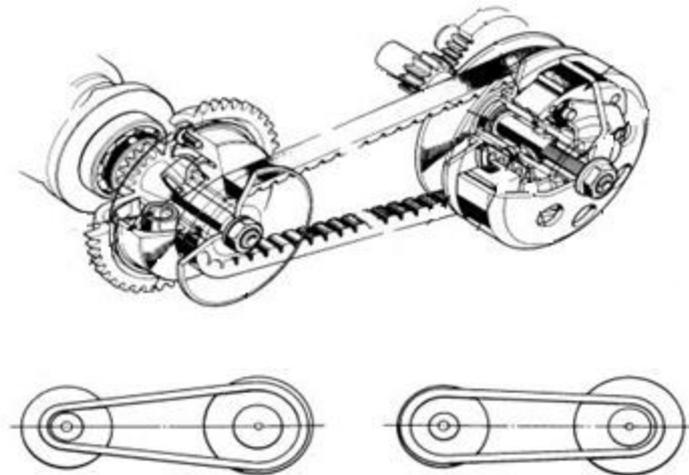
A aplicação deve ser exata, onde se faz necessário que os movimentos sejam equivalentes ao real da biela, porém para condições reais, não se descarta a necessidade da ampliação dos cálculos.

Para o momento tudo que é necessário é sabermos que todos os movimentos presentes para o sincronismo do Sistema Biela-Manivela, torna possível a geração de torque na saída do eixo, ou na volante do motor, onde esse mesmo torque é transferido para a transmissão.

#### 2.5. TRANSMISSÃO DE TORQUE.

Agora sabemos como o torque é gerado no motor a combustão interna, esse mesmo torque é transmitido para a transmissão e essa mesma transmissão pode ser feita de diversas maneiras.

Transmitida por polias, correias dentadas ou engrenagens que é o caso do sistema de transmissão. Veremos abaixo um pouco sobre esse tema:



**Figura 5 - Demonstração de Transmissão de Torque.**

**Fonte: Material de reparo da Honda Vmatic.**

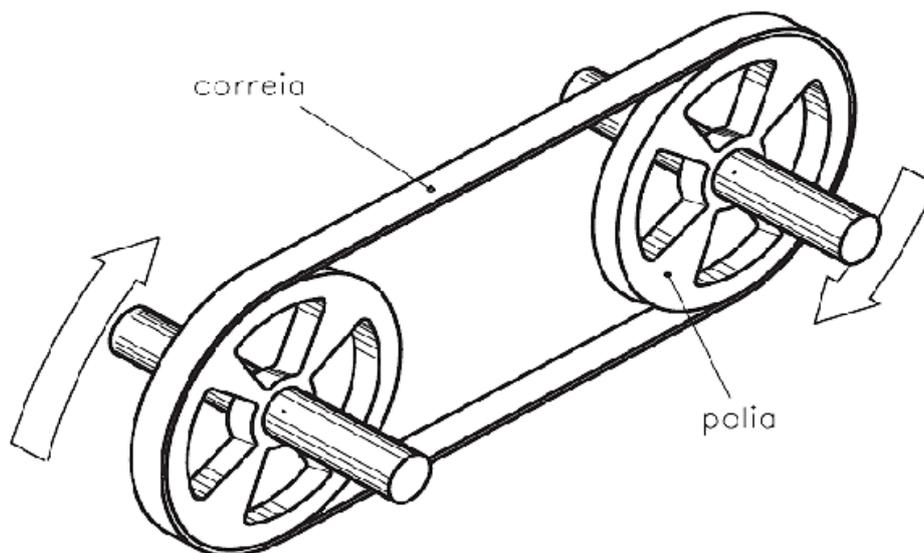
### **2.5.1. TRANSMISSÃO POR POLIAS E CORREIAS.**

As polias são peças cilíndricas, movimentadas pelas correias, e são definidas pelo tipo de correia que toca sua superfície, as polias também são definidas por **Polias Movidas** e **Polias Motoras**.

**Polias movidas** são polias que recebem o movimento e a força, e fazem em prol do mesmo.

**Polias motoras** são polias que transferem o movimento e a força, para as Polias movidas.

Transmissões por correias são comuns nos motores a combustão para transmitir o movimento do motor para a funcionalidade do alternador e outros acessórios, como o compressor do ar condicionado. Sendo assim, polias assumem grande importância na transmissão do torque e movimento dentro dos veículos automotores.

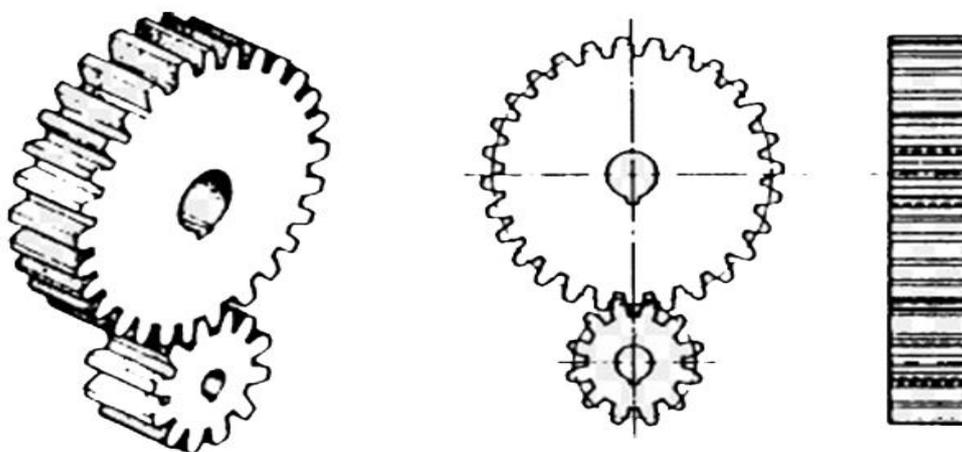


**Figura 6 – Polia e Correia.**

*Fonte: Material de Aula do Prof. Celso João (Fatec - SA).*

### 2.5.2. TRANSMISSÃO POR ENGRENAGENS.

As engrenagens são utilizadas em diversos sistemas mecânicos, assim como nas transmissões. Capazes não apenas de transferir torque, mas também de reduzir a velocidade, aumentar o torque original ou reduzi-lo. Em qualquer engrenagem, a relação de transmissão é determinada pela distância do centro da mesma até o ponto de contato no “dente” da engrenagem.

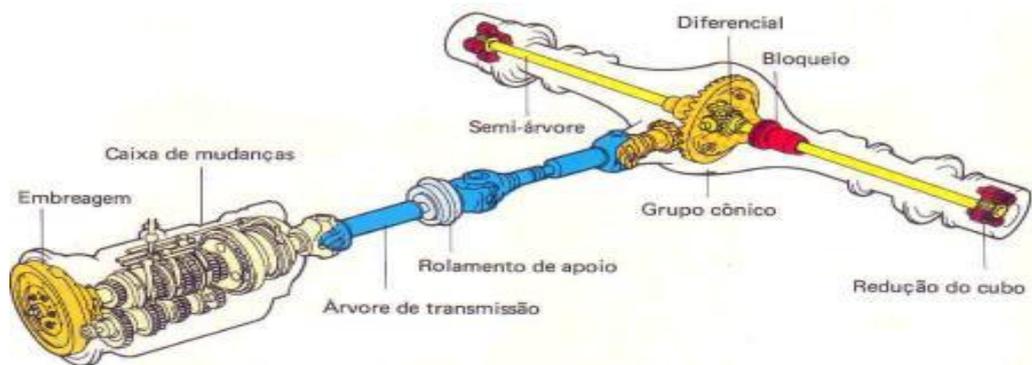


**Figura 7 - Engrenagens.**

*Fonte: Material do Prof.Dr. William F. Queiroz (UFMT)*

## 2.6. FLUXO DE FORÇA.

A transmissão de Torque é feita, como vimos, por engrenagens e polias. Cada uma em seu determinado momento e para diversos fins, porém para entendermos melhor esse momento precisamos entender como é o conjunto *Powertrain*.



**Figura 8 – Conjunto Powertrain.**

**Fonte:** <https://pt.slideshare.net/CarlosEMilenaAlves/apostila-power-train>

Após entendermos como funciona a geração de torque no motor, iremos abordar como este mesmo torque é transmitido para as rodas do veículo, entendendo assim o princípio de funcionamento do fluxo de força e também da transmissão.

### 2.6.1. RELAÇÃO DE TRANSMISSÃO.

A relação de engrenagens, ou relação de transmissão, é a medida da relação entre as velocidades rotacionais de duas ou mais engrenagens interligadas. Em geral, no caso de duas engrenagens a que está recebendo a força rotacional diretamente do motor, ou de um gerador através de um eixo, é chamada de “motora”. E a engrenagem que recebe a rotação da motora é conhecida como “movida”. Existe uma relação entre a engrenagem que “rotacional” e a que é “rotacionada”, isso se dá pela quantidade de dentes de ambas, no caso se a motora é menor que a movida, ela necessitará de mais de uma volta para conseguir aplicar uma volta na engrenagem movida. Podemos expressar esse conceito básico usando a fórmula:

$$Re = \frac{T2}{T1}$$

***Equação 16 – Calculo da relação de Engrenagens.***

Onde T1 é o número de dentes da primeira engrenagem, ou engrenagem motora, e T2 o número de dentes da segunda, ou engrenagem movida.

Essa fórmula pode ser aplicada da mesma maneira, para relações com conjuntos com mais pares de engrenagens, basta aplicarem-na para cada par de engrenagens. Lembrando que essa fórmula é aplicada sempre em conjuntos que realmente importam - aqueles que estão ligados no motor e eixo, os conjuntos que não estiverem interferindo de maneira nenhuma nessa relação não entram no cálculo.

Usando as relações de transmissão, é fácil descobrir a velocidade de rotação de uma engrenagem levando em conta a velocidade de entrada da anterior. Inicialmente é necessário descobrir a velocidade rotacional da primeira engrenagem. Uma vez que esse valor é conhecido basta aplicar a fórmula:

$$S1 * T1 = S2 * T2$$

***Equação 17 – Expressão para o cálculo da rotação das engrenagens.***

Onde S1 e T1 são a rotação e o número de dentes da primeira engrenagem e S2 e T2 a rotação e número de dentes da segunda. Substituindo na fórmula os valores conhecidos teremos o seguinte:

$$Rpm1 * n^{\circ}1 = Rpm2 * n^{\circ}2$$

***Equação 18 – Substituição na fórmula do cálculo da rotação.***

Aplicando uma simples álgebra temos:

$$Rpm2 = Rpm1 * \frac{n^{\circ}1}{n^{\circ}2}$$

***Equação 19 – Expressão final para cálculo da rotação.***

O resultado final será dado em *Rotação/s (rotação por segundo)*, pois é a unidade de velocidade rotacional no sistema internacional.

## **2.7. PNEU.**

O pneu, ou pneumático, é um componente feito de borracha em formato circular, usado em automóveis, caminhões, aviões, etc. Ele é inflado com gás e sua principal função é proporcionar rodagem, tração e deslizamento lateral aos veículos. Se colocando assim como uma peça chave no funcionamento do mesmo.

Os pneus recebem uma nomenclatura específica com o seguinte formato:

***205/70 R15***

O modelo utilizado acima é o mesmo usado pelo veículo de estudo no projeto. Agora iremos entender o que é cada item da nomenclatura. 205 é a largura da banda de rodagem. 70 é um valor em porcentagem referente a altura com relação a largura, ou seja, é 70% de 205 que vale pela altura, o valor deve ser multiplicado por dois, para encontrarmos o perfil do pneu. *R* indica que o pneu é do tipo radial e o valor é o diâmetro do mesmo 15" polegadas.

## **2.8. RAIO DINÂMICO DA RODA.**

Precisamos compreender que o torque gerado pelo motor deve chegar até as rodas do veículo. Tendo início nos pistões, o torque é passado para árvore de manivelas e depois para a volante. Da volante do motor ele é transferido para o sistema de transmissão, que em conjunto com a marcha escolhida pelo condutor, uma relação de torque será transmitida para as rodas. A maneira pela qual esse torque é transmitido é em relação às trocas de marchas, onde as mesmas só podem ser trocadas pela ECU (quando falamos nos sistemas automatizados, automáticos e de variação contínua). O ponto mais importante é que para o sistema realizar a troca de marchas ele precisa

saber a velocidade e a rotação do motor. O cálculo de raio dinâmico pode nos dar essa informação.

O mesmo pode ser calculado da seguinte maneira:

$$P_{Roda} = 2\pi r$$

**Equação 20 – Cálculo para encontrar o perímetro da roda.**

Podemos observar que o raio "*r*" é dado pelo diâmetro dividido por 2 (dois):

$$r = \frac{D}{2}$$

**Equação 21 – Cálculo para encontrar o raio da roda.**

É importante observar esses cálculos conceitualmente com o devido cuidado para se evitar erros de quantização, como por exemplo, saber que o diâmetro "D" representa o diâmetro da própria roda que está sendo utilizada somado a duas vezes a medida do perfil do pneu que está montado nesta roda dividindo essa soma por 2 (dois), com isso é calculado o que é denominado de *raio dinâmico*, que é dado pela seguinte equação:

$$Raio\ dinâmico = \frac{[D_{Roda} + 2d]}{2}$$

**Equação 22 – Cálculo para encontrar o raio dinâmico da roda.**

### 2.8.1. RELAÇÃO RAO DINÂMICO E OBTENÇÃO DE VELOCIDADE.

Podemos traçar uma relação entre o raio dinâmico e alguns valores do veículo, e com eles conseguirmos a velocidade gerada nas rodas em um determinado momento. Entender esse conceito é de extrema importância para nosso estudo, pois sabendo a velocidade e a necessidade do condutor, o sistema irá planejar a próxima troca de marcha.

Sabendo-se que:

$$Rt = \frac{Movida}{Matora}$$

**Equação 23 – Relação de Transmissão.**

Podemos conseguir no manual do veículo os dados das relações de transmissões, e assim executarmos estes cálculos. Precisamos também da relação de transmissão do diferencial do veículo, e então poderemos calcular a relação total de transmissão.

$$\text{Relação Total} = R_{\text{marcha}} * \text{Relação do Diferencial}$$

**Equação 24 – Cálculo da relação total de transmissão.**

Após conseguirmos a relação total para cada marcha, podemos agora calcular os valores de torque e rotação para cada uma, usando um valor base que pode ser adquirido na faixa de torque e potência do veículo. O cálculo pode ser feito da seguinte maneira:

$$T_{\text{roda}} = T_{\text{Motor}} * R_{\text{total}} \qquad \text{RPM}_{\text{roda}} = \frac{\text{RPM}}{R_{\text{total}}}$$

**Equação 25 – Formulas da ROTAÇÃO e Torque na roda.**

Agora iremos completar a equação acrescentando as fórmulas do pneu, mas antes precisamos saber o perímetro do pneu utilizado. No caso usaremos o exemplo acima, que é o mesmo pneu do veículo utilizado no projeto:

$$\text{Perfil} = 205 * 0.70(70\%) = 143,5 \text{ mm} * 2 = 287 \text{ mm}$$

**Equação 26 – Cálculo do perfil da roda.**

Precisamos antes de calcular o perímetro, descobrir o valor do Diâmetro da roda em milímetros, para isso precisamos fazer uma simples conversão:

$$D_{\text{roda}} = 15" * 25,4 \text{ (const. de conversão)} = 381 \text{ mm}$$

**Equação 27 – Conversão de polegadas (in) para Milímetros (mm).**

$$\text{Perímetro} = (\text{Perfil} + D_{\text{roda}}) * \pi =$$

$$\text{Perímetro} = (287 \text{ mm} + 381) * 3,14 = 2097,52 \text{ mm}$$

**Equação 28 – Fórmula para encontrar o perímetro.**

Assim podemos encontrar o valor de rotação e torque empregado à roda do veículo, para isso, coletou-se um valor de torque e rotação; no caso do próximo exemplo, vamos utilizar o torque e rotação máxima do motor que conseguimos na faixa de torque no manual do veículo. Para o veículo Strada utilizado nesse projeto, a relação de transmissão da segunda marcha é 2,238: 1 e a relação do diferencial é 4,067: 1. Então a equação se mostra da seguinte maneira:

$$R_{total} = R_{2^{a}marcha} * R_{diferencial}$$

$$R_{total} = 2,238 * 4,067 : 1$$

$$R_{total} = 9,101 : 1$$

**Equação 29 – Cálculo da Relação total da 2ª marcha do Strada.**

Agora aplicamos esse valor na fórmula de torque, utilizando o torque máximo que é 17,8 Kgfm@ 2800 RPM. O torque pode ser convertido de Kgfm para Newtons. E assim temos a seguinte equação:

$$17,8 \text{ Kgfm} * 10 (\text{ cons. de conversão para Newton}) = 178 \text{ Nt}$$

**Equação 30 – Conversão de Kgfm para Newton.**

Após a conversão podemos calcular o torque:

$$T_{roda} = T_{motor} * R_{total}$$

$$T_{roda} = 178 \text{ Nt} * 9,101 = 1620 \text{ Nt}$$

**Equação 31 – Torque empregado na roda.**

Agora iremos calcular a rotação que obteremos na roda, nas condições acima:

$$RPM_{roda} = \frac{RPM_{motor}}{R_{total}} = \frac{2800}{9,101} = 307,5 \text{ Rpm}$$

**Equação 32 – Rotação empregada na roda.**

Podemos assim calcular a velocidade teórica do veículo, utilizando os valores de rotação na roda, junto com os valores do pneu. Assim a equação toma a seguinte forma:

$$\text{Velocidade Teórica} = \text{RPM} * \text{Perímetro}$$

$$V_{\text{teórica}} = 307,5 * 2097,52 \text{ mm} = 644987,4 \text{ mmpm}$$

**Equação 33 – Fórmula para o cálculo da velocidade teórica.**

Agora somente precisamos fazer uma pequena conversão:

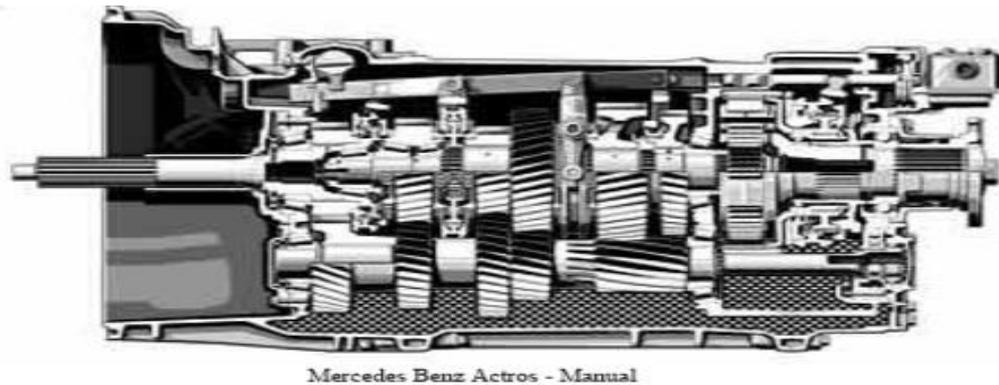
$$\frac{644987,4}{1000000} = 0,644987 \text{ Km/m}$$

$$0,644987 \text{ Km/m} * 60 = 38,69 \text{ Km/h}$$

**Equação 34 – Conversão para Km/h.**

## 2.9. FUNCIONAMENTO DA TRANSMISSÃO AUTOMOTIVA.

O motor produz o torque e a potência através do funcionamento e sincronismo do sistema biela e manivela, o torque é transmitido para as rodas através de uma relação de engrenagens e encaixe, conhecido como sistema de transmissão, com isso formamos o conjunto “Powertrain”. Porém existem vários tipos de transmissões, com funcionalidades diferentes. Iremos entender quais são essas transmissões e como eles funcionam. As transmissões a serem ressaltadas neste projeto são as transmissões manuais, que são as mais comuns no mercado. Transmissões automáticas que variam em entre sistemas com conversor de torque e do tipo CVT. E por fim as transmissões automatizadas ou semiautomáticas.

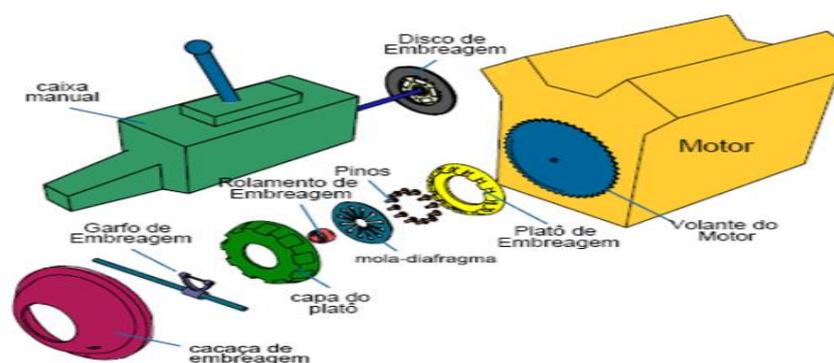


**Figura 9 - Desenho em corte de uma Transmissão Manual.**

**Fonte: Material de Aula do Prof. Celso João (Fatec - SA).**

### 2.9.1. COMPONENTES DA TRANSMISSÃO.

Uma transmissão simples é dividida em vários componentes que juntos conseguem transferir o torque do motor para o restante do veículo, são componentes mecânicos que trabalham em sincronismo. Já em sistemas automáticos, do tipo que utilizam conversor de torque, utilizando a rotação do motor o sistema impõe um giro no conversor que está mergulhado em óleo e o mesmo consegue exercer uma relação de marchas, através do giro. O sistema CVT, por sua vez, utiliza-se de um sistema de polias variáveis que impõem o regime de marchas de acordo com a necessidade do condutor. Para os sistemas automatizados, temos a mecânica de uma transmissão comum, sendo auxiliada por um conjunto mecatrônico, que irá ser atuada não mais pelo condutor através de um garfo seletor, mas sim pelo sistema mecatrônico acoplado.



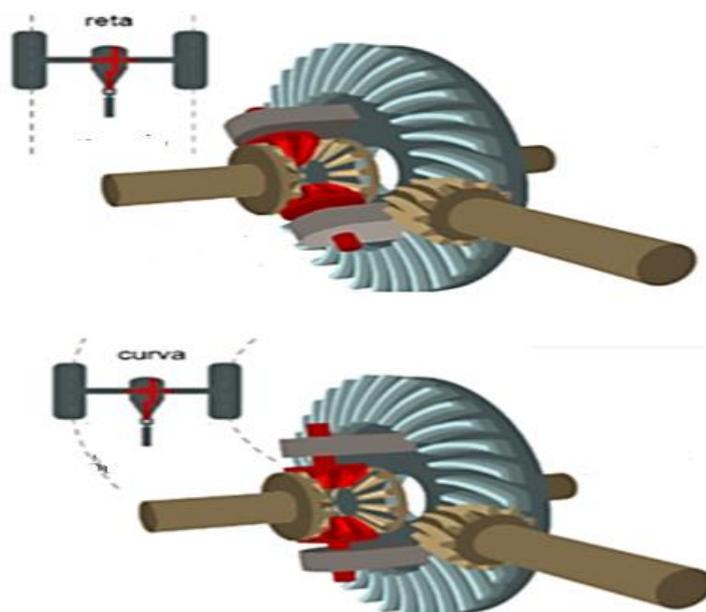
**Figura 10 - Decomposição dos elementos da transmissão manual.**

**Fonte: Material de Aula do Prof. Celso João (Fatec - SA).**

## 2.10. RELAÇÃO DE MARCHAS.

A relação de marchas é semelhante à relação de transmissão, aplicada ao câmbio do veículo temos uma relação de engrenagens motoras que recebem o torque diretamente do motor através do acoplamento da embreagem na volante. Essa relação pode ser alta ou baixa, quanto mais voltas a motora precisar para mover a engrenagem movida, mais torque será transmitido para as rodas. Caso a engrenagem motora não necessite de muitas voltas, ou nem mesmo uma volta, dizemos que essa marcha transmite velocidade ao veículo, ou seja, quanto maior o torque, menor a velocidade e vice-versa. Em veículos comuns, ré, primeiras e segundas marchas, transmitem mais torque. Isso porque, a primeira marcha e a ré têm como função tirar o veículo do momento de inércia.

Alinhado a esse sistema temos o diferencial que transmite o torque para as rodas e o mesmo também, através de um jogo de sincronizados, consegue fazer com que uma roda gire mais que a outra, esse efeito é necessário em momentos de curvas - onde a roda de fora necessita girar mais que a roda de dentro da curva. O diferencial conta com uma relação de transmissão que deve ser incluída nos cálculos, como consta na *secção 2.8.1*.



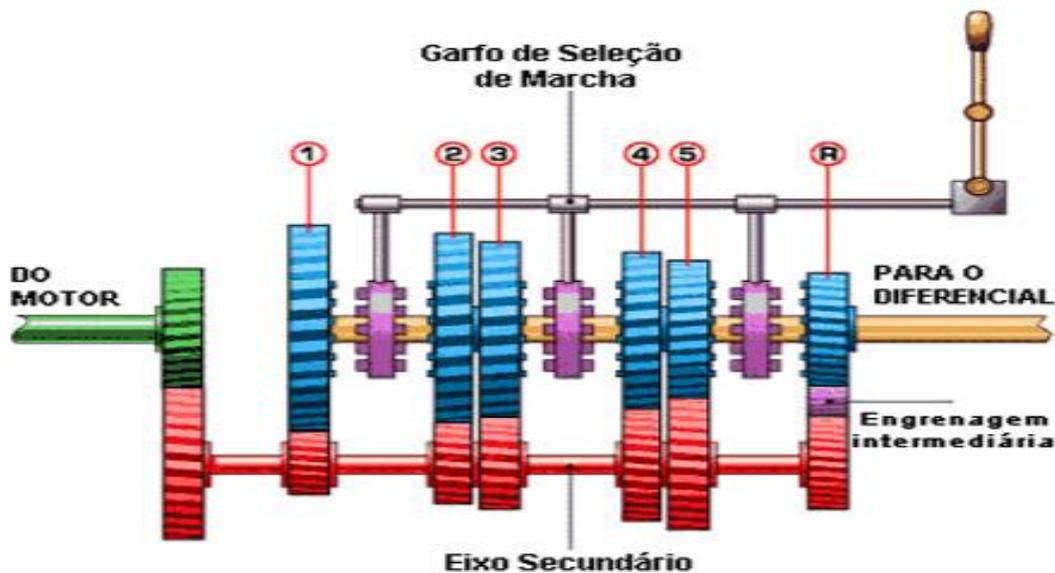
**Figura 11- Demonstração do funcionamento do Diferencial.**

**Fonte: Material de Aula do Prof. Celso João (Fatec - SA).**

## 2.11. TRANSMISSÃO MANUAL.

O câmbio manual é um sistema de engrenagens e com uma alavanca que permite ao condutor do automóvel trocar a marcha, ou as relações de marchas, que seriam as relações de engrenagens motoras e movidas, que podem empregar mais ou menos torque e mais ou menos velocidade ao veículo no momento em que desejar. Essa troca é possível através de uma série de componentes mecânicos que trabalham em sincronismo com o motor do veículo. Um desses componentes é a embreagem, que pode ser acoplada e desacoplada da volante do motor, a mesma tem a função de transmitir a rotação e torque do motor para a caixa de transmissão. Dentro da caixa de transmissão temos uma serie de pinos e engrenagens, que estão ligadas a um eixo, elas fazem a relação de transmissão e também, através do garfo, temos a seleção de marcha. Quando o condutor movimenta a vareta de câmbio para a marcha solicitada, ele internamente movimenta um garfo que acopla e se prende a uma das relações (no caso a selecionada pelo condutor) e então o eixo para transmitir a relação de torque e rotação que a aquela relação irá proporcionar.

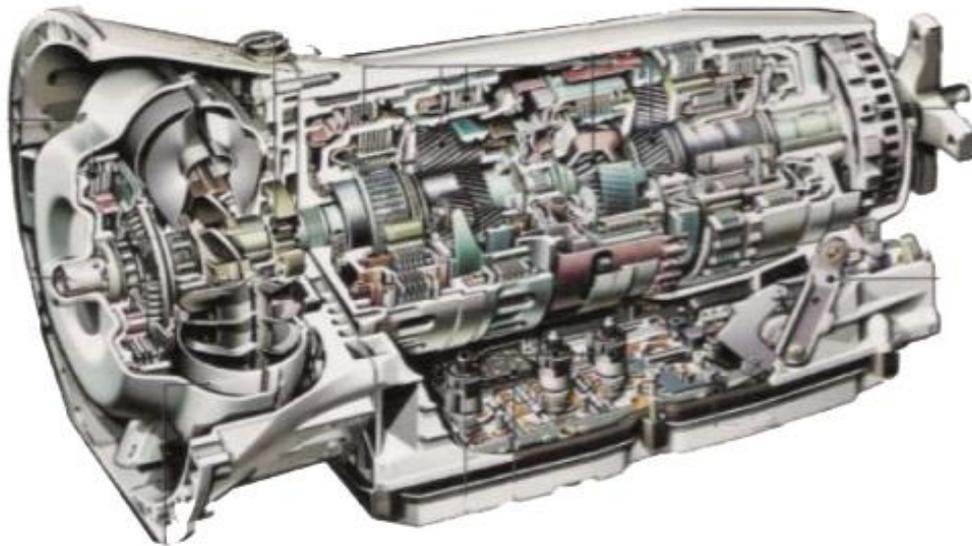
Veículos comuns podem ter até 6 (seis) marchas, já veículos comerciais tem de 18 (dezoito) a 36 (trinta e seis marchas).



**Figura 12 - Demonstração do Funcionamento do Câmbio Manual.**

**Fonte: Material de Aula do Prof. Celso João (Fatec - SA).**

## 2.12. TRANSMISSÃO AUTOMÁTICA.



**Figura 13 - Transmissão Automática em corte.**

**Fonte: Material de Aula do Prof. Celso João (Fatec - SA).**

Transmissões automáticas contêm sistemas mecânicos, sistemas hidráulicos, sistemas elétricos e controles de computador. Em uma transmissão automática os sistemas de controle operados hidráulicamente são gerenciados eletronicamente pela ECU do veículo, em vez de a embreagem e alavanca de câmbio. Tudo que o motorista tem que fazer é mudar o seletor de park (P) ou neutro (N), para de drive (D) e a troca de marchas ocorrerá automaticamente. Hoje, o sistema mecânico mais moderno e completo de um automóvel é a transmissão, com o desenvolvimento dos controles eletrônicos para as transmissões automáticas elas se tornaram também parte do sistema eletrônico do veículo, compartilhando muitas vezes os mesmos componentes, como sensores e atuadores utilizados para o controle do motor. Transmissões automatizadas e automáticas entram para o grupo de sistemas de segurança, pois proporcionam um conforto ao condutor, evitando fadiga ou irritações que poderiam causar distrações e acarretar um acidente. Esses tipos de transmissões são capazes de fornecer tanto desempenho quanto economia a todas as faixas de operação do veículo, o que as fazem serem muito cobiçadas no mercado atual.

A transmissão automática também permite que o veículo pare enquanto o motor permanece funcionando, sem que haja a necessidade de um pedal de embreagem pressionado. O conversor de torque, que é acoplado por fluido, provê essa função por atuar como um dispositivo de acionamento. A eliminação do pedal da embreagem permite uma operação mais suave do veículo, saídas e paradas mais fáceis, mesmo em ladeiras. São capazes de fornecer também uma melhor relação de marcha para as mais diversas condições, como ultrapassagens ou curvas, onde a mesma é selecionada automaticamente. Facilita a direção do veículo aos iniciantes ou aos condutores que possuem alguma restrição física. Os fatores como velocidade, rotação, posição do pedal do acelerador e carga ditam a funcionalidade desse modelo de transmissão, que lê os sinais obtidos e calcula a melhor funcionalidade do conversor de torque, seja multiplicando uma marcha ou reduzindo a mesma. O sistema conta também com modos de operação como “*modo esportivo*” ou “*econômico*”. Além de um rigoroso protocolo de falhas, que mantém a segurança.

### **2.12.1. TIPOS DE TRANSMISSÕES AUTOMÁTICAS.**

O aumento do trânsito nas grandes cidades tem feito às montadoras investirem em soluções que garantam mais conforto ao motorista. O câmbio automático, equipamento que há alguns anos era visto como sinônimo de luxo e alto investimento por parte dos compradores, tem se tornado cada vez mais popular no país e, dessa forma, os fabricantes de automóveis têm desenvolvido sistemas diferenciados para este tipo de transmissão. Atualmente, já existem diversos tipos de câmbio automático, espalhados por várias categorias de modelos: compactos, esportivos, mono-volumes são alguns deles.

Citando alguma das opções existentes no mercado, existem quatro principais tecnologias disponíveis no mercado brasileiro: câmbio automático convencional, CVT (Continuous Variable Transmission), MTA (Manual Transmission Automated) e DCT (Dual Clutch Transmission). Vale ressaltar que, atualmente, há aplicações de um maior número de marchas para reduzir perda no desempenho e diminuir o consumo de combustível:

**Transmissão automática convencional:** No mercado brasileiro, o sistema convencional de troca automática de marchas tem se estendido cada vez mais aos modelos mais barato. Para utilizá-lo, é preciso esquecer o pé esquerdo, já que não há pedal da embreagem e o pé direito fica responsável pelo freio e acelerador. Com o pé no freio, é possível mudar a alavanca do câmbio para P (park ou estacionado; bloqueia as rodas de tração), R (ré), N (neutro; não bloqueia as rodas de tração) e Drive (movimenta o veículo para frente, usado na maior parte do tempo da condução). Os câmbios automáticos tradicionais podem ter opção de trocas manuais por meio da alavanca ou de borboletas atrás do volante.



**Figura 14 - Câmbio Automático.**

**Fonte:** [www.vermlehoscar.com.br](http://www.vermlehoscar.com.br).

**CVT (Continuous Variable Transmission):** O CVT tem seu desenvolvimento sistemas datados desde 1970 e hoje já pode ser encontrado nos Mercedes-Benz Classe A e B, Nissan Sentra, além de Audi A4 e A6. E em veículos da linha Honda e Renault. No início, seu uso era direcionado a quadríciclos e hoje já foi testado até em carros de *Fórmula 1*. Do ponto de vista de economia de combustível é o mais eficiente. Mas não é tão popular no Brasil em função do alto preço do sistema. Neste sistema, é a variação da correia que determina a relação de marchas. Não há interrupção da passagem de torque (força), ou seja, na prática, o CVT garante uma condução bastante confortável, sem trancos. Tanto na hora de sair como em ultrapassagens, o CVT tem uma aceleração contínua. O desempenho é linear e suave, graças à

ausência de engrenagens. Em vez delas, há duas polias de diâmetro variável unidas por uma correia metálica de alta resistência.



**Figura 15 - Continuous Variable Transmission.**

**Fonte:** <http://motorshow.com.br/cambio-cvt-automatizado-ou-automatico-qual-e-o-melhor>

/

### **2.13. INTRODUÇÃO À TRANSMISSÃO AUTOMATIZADAS.**

Transmissão Automatizada é um sistema de transmissão de torque e potência do motor para as rodas semelhantes ao sistema manual de troca de marchas, porém utiliza de um sistema mecatrônico de auxílio, podendo então fazer as trocas automaticamente. Em alguns locais é conhecido como “Sistema de Transmissão Semiautomático”, pois o condutor pode optar por trocas automáticas de marchas e/ou por ele próprio fazer os momentos de troca de marcha.

Dentro do mundo de transmissões automatizadas, temos os sistemas mais conhecidos. A Volkswagen utiliza o sistema automatizado com a nomenclatura de *I-Motion*®. A empresa italiana Fiat usa o nome de *Dualogic*®. Dentro do mercado temos com menos frequência os nomes *PowerShift*® da Ford e também da Mercedes. A Scania adotou o nome de **Opticruze**®.

No mercado atual, as transmissões automatizadas ganham cada vez mais lugar. O maior nicho de mercado atualmente é na área de ônibus e caminhões, onde o uso do sistema automatizado vem crescendo e melhorando o consumo e desgastes dos sistemas, principalmente nessa área de mercado onde temos viagens constantes e alto uso do sistema. Porém dentro do

mercado de veículos de passeio ainda existe um receio quanto ao uso desses sistemas.



**Figura 16 - Sistema Automatizado de Transmissão.**

**Fonte: Diagnóstico do Câmbio Dualogic® (2007).**

### **2.13.1. DIVISÃO DO SISTEMA AUTOMATIZADO.**

Na parte de aquisição de dados e desenvolvimento de hardware do trabalho teve como foco maior a transmissão *Fiat Dualogic®*, que é semelhante ao sistema *I-Motion®*. Ambos produzidos e comercializados pela empresa *Magneti Marelli*. Porém com peculiaridades entre si, onde o sistema *Dualogic®* é composto por cinco eletroválvulas de acionamento, enquanto a transmissão *I-motion®* possui apenas quatro eletroválvulas, sendo todas por controle de corrente. Essa redução no número de eletroválvulas é devido ao tipo de troca de marcha aplicado pela Volkswagen, seguindo um funcionamento sequencial de engate de marchas. O sistema mecatrônico é acoplado ao sistema manual de troca de marchas, criando assim o sistema automatizado. O mesmo é dividido em grupos, onde cada grupo funciona em conjunto com o outro em sincronia. No nosso caso, dividiremos em três grupos para melhor compreensão.

O primeiro grupo que iremos ver é o “grupo hidráulico de potência”, seguido do “grupo das eletroválvulas” e por último “Componentes de interface e ECU”.

### 3. SISTEMA AUTOMATIZADO.

Neste capítulo iremos abordar o que é cada componente do sistema de transmissão automatizado e todas as suas funcionalidades, desde atuadores até sensores. Mostraremos os sinais do sistema em sua atuação.

Foi utilizado para estudo conteúdos sobre transmissões *Dualogic®* da empresa Fiat, além de conteúdos sobre a transmissão *I-motion®*.

Começaremos revisando os pontos básicos do sistema automatizado e seus componentes. Iremos nos aprofundar nos grupos que dividem o “*kit mecatrônico*” e entender seu funcionamento.



**Figura 17 - Joystick (Alavanca) do Sistema Dualogic®.**

**Fonte: Diagnóstico do Câmbio Dualogic® (2007).**

#### 3.1. FUNCIONALIDADE.

“O câmbio *Dualogic®* é um sistema de transmissão automático gerenciado por uma unidade eletrônica chamada de ‘NCD - Nodo Câmbio *Dualogic®*’ e traz como principais vantagens a melhoria do conforto ao dirigir e melhoria nos rendimentos dos componentes da transmissão” (*Diagnóstico do Câmbio Dualogic®, 2007*).

Como vimos no trecho acima, o sistema automatizado é gerenciado por uma unidade de gerenciamento conhecida como “NCD” na literatura da Fiat, devemos ressaltar também que o sistema automatizado é conhecido

popularmente também como câmbio semiautomático, ou seja, através de um comando no joystick (alavanca) do câmbio podemos alterar seus modos de operação para automático, ou manual, onde podemos executar as trocas de marcha no momento que desejamos.

O sistema também possui uma série de vantagens em relação ao câmbio automático e ao manual. Em relação ao câmbio manual temos sistemas de segurança que impedem que o motorista troque a marcha errada, evitando o engrenamento incorreto das engrenagens podendo acarretar o desgaste prematuro do sistema, ou até mesmo a quebra dos componentes. Temos também uma redução de poluentes e uma economia de 5% de combustível no ciclo urbano em modo automático. Mas uma das vantagens principais do sistema é a possibilidade de se alternar o sistema entre manual e automático.

	CÂMBIO MECÂNICO	CÂMBIO AUTOMÁTICO	CVT	CÂMBIO AUTOMATIZADO
PESO	0	---	--	-
EFICIÊNCIA ENERGÉTICA	0	---	++	+
INTERRUPÇÃO DE TORQUE NAS TROCAS DE MARCHAS	0	++	+++	+
FLEXIBILIDADE NAS ESTRATÉGIAS DE CONTROLE	0	+++	++	+
ECONOMIA DE COMBUSTÍVEL	0	--	++	+
QUALIDADE DE TROCA DE MARCHAS	0	++	+++	+
SENSAÇÃO DE ESPORTIVIDADE	0	+++	++	+
CUSTO DO PRODUTO	0	---	--	-
CUSTO DE MANUTENÇÃO	0	---	--	-
	Pontos Negativos	-14 Pontos	- 6 Pontos	-3 Pontos
	Pontos Positivos	+10 Pontos	+14 Pontos	+6 Pontos
	Média	-4 Pontos	+8 Pontos	+3 Pontos

**Tabela 2 - Comparativo ente modelos de câmbio.**

**Fonte: Diagnóstico do Câmbio Dualogic® (2007).**

Na tabela acima podemos observar as vantagens do sistema *Dualogic®* em comparação com o câmbio automático, tendo como referência o câmbio manual. Onde temos o sinal de “+” para vantagem, “-” para de desvantagem e “0” significa nulo, ou sem vantagem.

Agora iremos entender cada componente que está presente no sistema automatizada e entender como funcionam em conjunto.

## **3.2. COMPONENTES DO SISTEMA.**

O “Kit Mecatrônico” é dividido em grupos de projeto que atuam em conjunto um com o outro. No capítulo anterior apenas citamos quais eram os grupos e os componentes, agora iremos compreender melhor suas funcionalidades dentro do conjunto. O primeiro grupo a ser estudado será o “Grupo Hidráulico de Potência”. Em seguida o “Grupo de Eletroválvulas” e por fim os “Componentes de Interface e ECU”. Em algumas literaturas as separações dos grupos são diferentes, mas para este projeto resolvemos adotar esse método de explicação e de separação de grupos para uma melhor explicação.

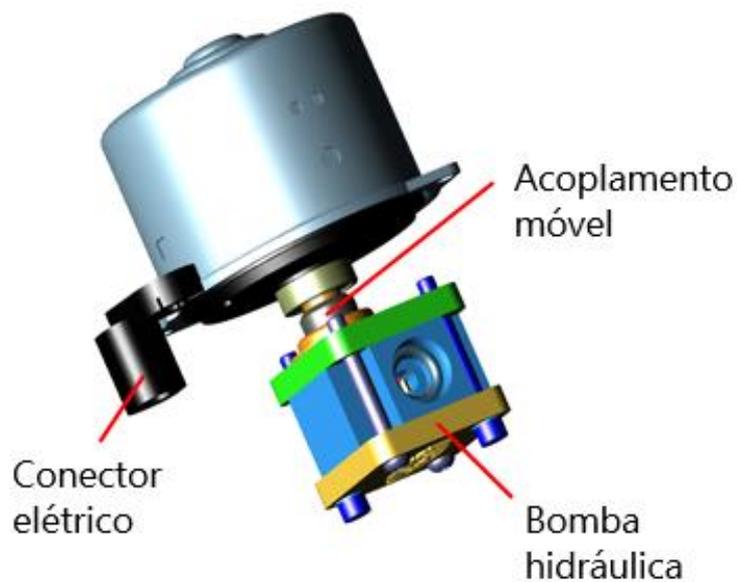
### **3.2.1. GRUPO HIDRÁULICO DE POTÊNCIA E COMPONENTES.**

O “*Grupo Hidráulico de Potência*”, como foi abordado anteriormente, é um grupo que tem como função fornecer o óleo e a pressão exata para atuação dos êmbolos. O sistema necessita fazer isso em conjunto com as eletroválvulas. Além disso, deve manter a pressão pelo momento necessário e armazenar o óleo, assim como receber o retorno da atuação anterior. O seu controle é feito através dos módulos “NCD”, ou J217 em veículos Volkswagen, que emite um comando para a o relé de atuação da eletrobomba, a mesma tem como função bombear o óleo para o sistema, e/ou manter o sistema na devida pressurização durante todo o processo de troca de marchas.

Para isso devemos entender como os componentes do “*Grupo Hidráulico de Potência*” funcionam individualmente, e depois correlaciona-los no sistema completo.

#### **3.2.1.1. ELETROBOMBA.**

A eletrobomba é ativada quando a pressão está abaixo do valor mínimo, e desativada quando atinge o valor máximo. A mesma é composta por um grupo de engrenas e funciona a partir de um motor elétrico de corrente contínua.



**Figura 18 - Eletrobomba.**

**Fonte: Transmissão Automatizada ASG (2009).**

### **3.2.1.2. ACUMULADOR HIDRÁULICO.**

O acumulador mantém uma pressão reserva mesmo com a eletrobomba desligada, para que haja a funcionamento dos atuadores. Isso evita que a eletrobomba seja ativada a cada troca de marcha.



**Figura 19 - Acumulador de pressão.**

**Fonte: Transmissão Automatizada ASG (2009).**

### 3.2.1.3. DEFLETOR DE ÓLEO.

Caso o acumulador sofra uma ruptura, o óleo esguichara em partes quentes do motor, o que poderá acarretar em danos, incêndios e aumento do risco para os ocupantes do veículo. Para isso temos o defletor, que tem como função impedir esse contato do óleo com as partes quentes.



*Figura 20 - Defletor de Óleo.*

*Fonte: Diagnóstico do Câmbio Duallogic® (2007).*

### 3.2.1.4. CARACTERÍSTICAS IMPORTANTES DOS COMPONENTES.

Cada componente citado acima tem uma característica própria de funcionamento, precisamos ficar atentos a essas informações, seja no momento de manutenção, projeto ou análise. No manual do sistema conseguimos informações como tipo de óleo que é usado no sistema, que é um óleo que contém propriedades específicas para essa atuação. Assim como precisamos ficar atentos aos níveis de pressão de projeto, para sabermos se o sistema está em perfeitas condições.

Componente	Característica
Óleo hidráulico	Nome comercial: Tutela CS SPEED Cor: amarela
Eletrobomba	Vazão específica é de 0,25 cm <sup>3</sup> / rotação
Pressão de Trabalho	Entre 35 bar e 50 bar (a 20° C)

*Tabela 3 - Características do Óleo e pressão de projeto.*

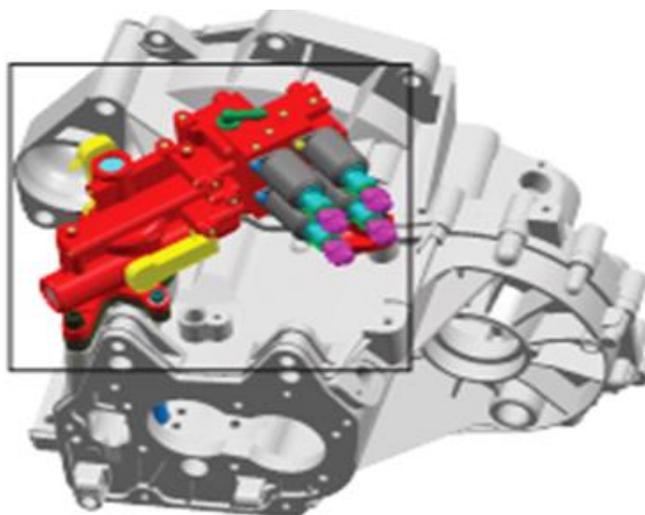
*Fonte: Diagnóstico do Câmbio Duallogic® (2007).*

### 3.2.2. GRUPO DAS ELETROVÁLVULAS.

Estudaremos os componentes pertencentes ao grupo das eletroválvulas e entenderemos como funciona cada componente por si só. Analisaremos seus sinais e seus valores para funcionamento no conjunto.

O sistema *Dualogic*® é composto de cinco eletroválvulas, as eletroválvulas têm como função atuar o engate, seleção e controlar a embreagem. Elas são denominadas “EV-0” para a embreagem. “EV-1” e “EV-2” para engate e desengate. E por fim “EV-3” e “EV-4” para a seleção.

Para veículos equipados com o *I-motion*®, temos apenas quatro eletroválvulas. “N255” para controle da embreagem. “N286” para atuação do êmbolo de seleção de marcha, onde diferente do *Dualogic*®, temos apenas uma eletroválvula com controle de corrente que movimentará todo o êmbolo de seleção em seu curso. “N284” e “N285” são as eletroválvulas de engate, e também funcionam com o princípio de controle de corrente.



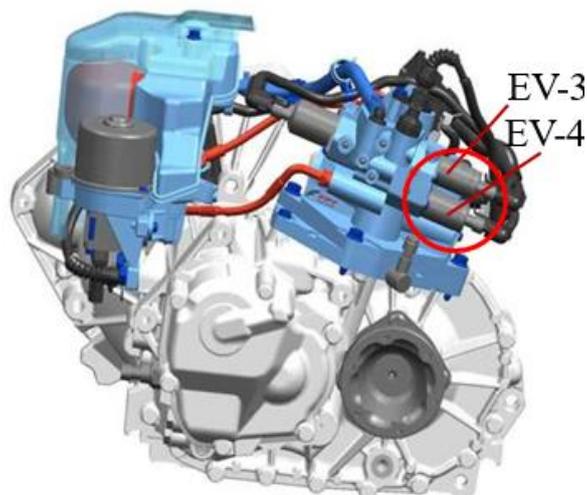
**Figura 21 - Vista do grupo das eletroválvulas no *I-motion*®.**

**Fonte: Transmissão Automatizada ASG (2009).**

#### 3.2.2.1. ELETROVÁLVULAS DE SELEÇÃO.

Essas eletroválvulas de seleção do *Dualogic*® têm como função controlar o fluxo de óleo para o atuador de seleção. São caracterizadas na literatura como “EV-3” e “EV-4”. As mesmas são do tipo on/off, onde, apenas exercem função de liberar o fluxo de óleo, sem exercer controle de pressão e vazão. Suas características funcionais possibilitam uma capacidade máxima de

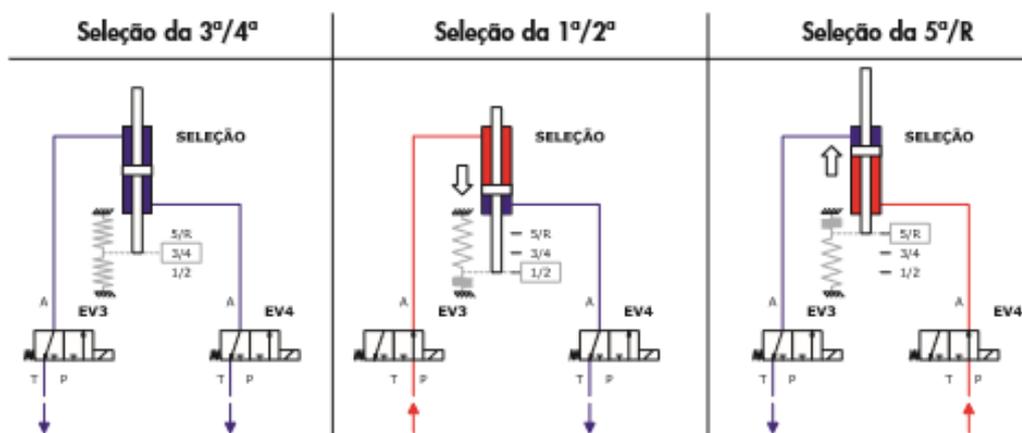
vazão de 1,4 l/min com diferencial de pressão de 10 bar. São alimentadas por 12v (volts) diretamente da unidade de controle e consomem em média 2A (ampères). A resistência elétrica da bobina é de 5,1  $\Omega$  (ohm's) +/- 6% a 20°C.



**Figura 22 - Posição das eletroválvulas de seleção.**

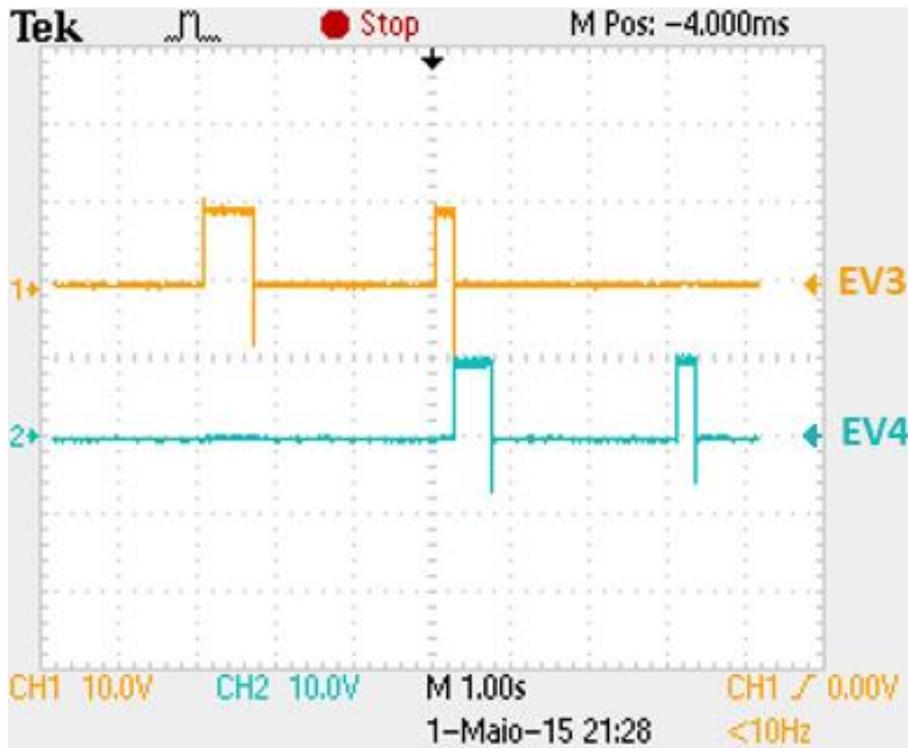
**Fonte: Diagnóstico do câmbio Dualogic® (2007).**

Essas eletroválvulas funcionam através de uma excitação elétrica de 12v. Quando não excitada, temos a posição de descanso que é 3ª/4ª marchas. Quando EV-3 é excitada, a mesma libera o fluxo de óleo que empurra o êmbolo deixando-o na posição 1ª/2ª marchas e quando excitamos a EV-4, o fluxo de óleo liberado empurra o êmbolo para a posição 5ª/Ré. No diagrama abaixo entenderemos melhor como funciona.



**Figura 23 - Funcionamento da EV-3 e EV-4.**

**Fonte: Diagnóstico do câmbio Dualogic® (2007).**



**Figura 24 - EV3 e EV4 atuando simultaneamente.**

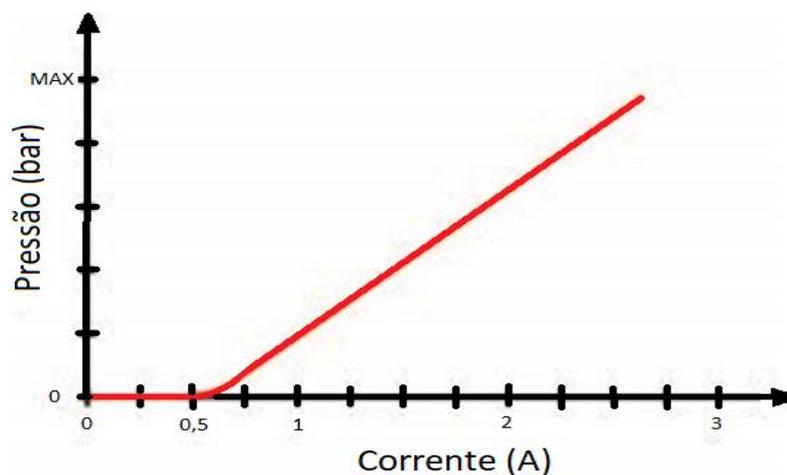
**Fonte: Autor.**

Como podemos ver os sinais apresentados por essas eletroválvulas são sinais digitais, apresentando apenas dois estágios, 0v (volts) e 12v (volts). Alterando apenas o tempo de alta e baixa, dependendo da necessidade de funcionalidade. Por exemplo, quanto mais tempo a eletroválvula precisar atuar, mais tempo ela ficará em alta.

Nos veículos equipados com o sistema *I-motion*® existe apenas uma eletroválvula de seleção, a mesma funciona com o princípio de controle de vazão. Esse controle de vazão é feito através de uma corrente aplicada à eletroválvula. Como as trocas de marcha são sequenciais, precisando apenas fazer um controle de corrente na eletroválvula que conduzirá o movimento do curso do êmbolo através de sua atuação. A eletroválvula de vazão é utilizada no *Dualogic*® como válvula de atuação da embreagem e será explicada com profundidade nos próximos capítulos.

### 3.2.2.2. ELETROVÁLVULAS DE ENGATE.

As eletroválvulas de engate apresentadas pelo sistema *Dualogic®*, como EV-1 e EV-2, tem a função de controlar a pressão e a passagem de óleo para os atuadores de engate/desengate. Essa função requer uma precisão e controle maior por parte da eletroválvula, por isso as mesmas não podem ser do tipo on/off, mas sim do tipo proporcional de pressão. Neste caso trata-se de eletroválvulas de controle por corrente. A mesma atua liberando a passagem do óleo gradativamente em relação a corrente de projeto da mesma.

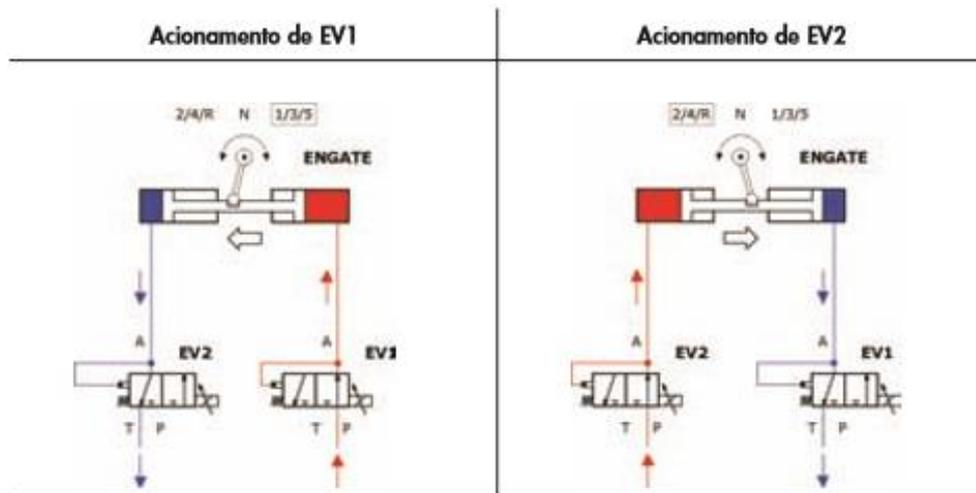


**Figura 25 - Gráfico da corrente pela vazão da pressão.**

**Fonte: Diagnóstico do Câmbio Dualogic® (2007).**

As características construtivas dessa válvula proporcionam uma vazão de 7 l/min, e o controle é feito por uma corrente elétrica que pode variar de 0 a 2A (ampères). A mesma tem uma variação de 10 bar de pressão. E sua confecção constitui uma bobina com resistência de 2,5  $\Omega$  (ohms) com variação de +/- 6% a 20° C.

A atuação dos seletores é dividida entres as eletroválvulas. A eletroválvula EV-1 comanda os engates e desengates das machas impares (1ª, 3ª e 5ª). Enquanto que a eletroválvula EV-2 controla as marchas pares (2ª 4ª e Ré).



**Figura 26 - Circuito hidráulico da EV-1 e EV-2.**

**Fonte: Diagnóstico do Câmbio Dualogic® (2007)**

Como podemos ver acima no circuito hidráulico temos o controle feito pelas eletroválvulas. A intensidade de corrente aplicada à eletroválvula dita a marcha a ser engatada. A corrente de operação da eletroválvula foi medida e conseguimos um valor que varia de 0,66A até 0,80A, essa variação ocorre devido à necessidade de velocidade de descolamento do pistão e a distância que ele se encontra do engate. Porém é compressível que o valor para engate da próxima marcha na sequência em que aquela eletroválvula atua é o valor dobrado, ou seja, 2A dividido por 3 (três) eletroválvulas temos 0,66A. Quando engatamos a sequência de marchas ímpares, por exemplo, ao engatarmos a 1ª marcha devemos utilizar 0,66A, mas ao engatarmos a 3ª marcha, nesse caso devemos empregar 1,33A que é o dobro e para a 5ª marcha colocamos o valor total de 2A.

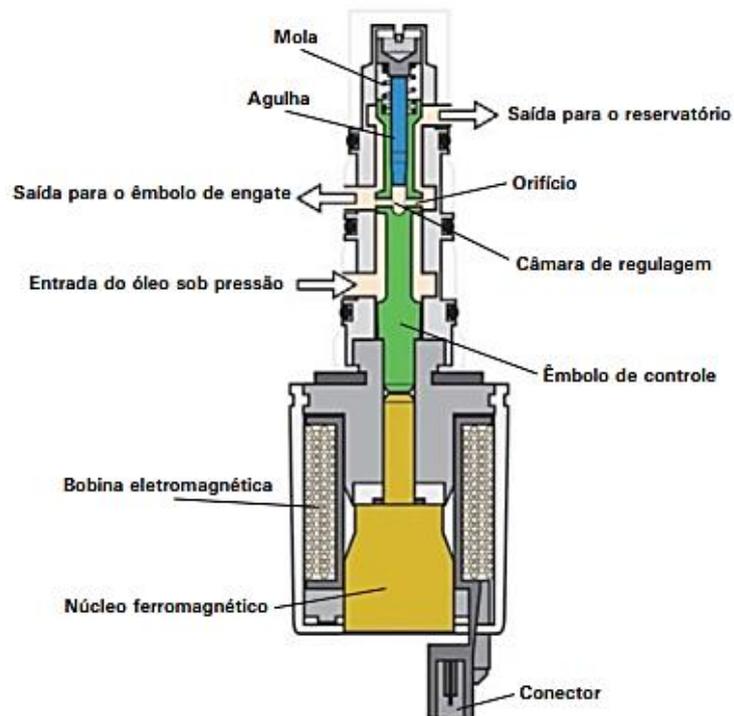


**Figura 27 - Tensão Elétrica de 12V da Eletroválvula.**

**Fonte: Autor.**

A banda de largura do pulso pode ser maior, como foi possível observar. Isso se deve ao tempo em que a eletroválvula necessita ficar ativa para fazer o engate.

No sistema *I-motion*® as eletroválvulas de engate são iguais ao sistema *Dualogic*®, elas são identificadas pela literatura técnica como “N284” e “N285”. E assim como no câmbio *Dualogic*®, elas apresentam a mesma função no *I-motion*®.

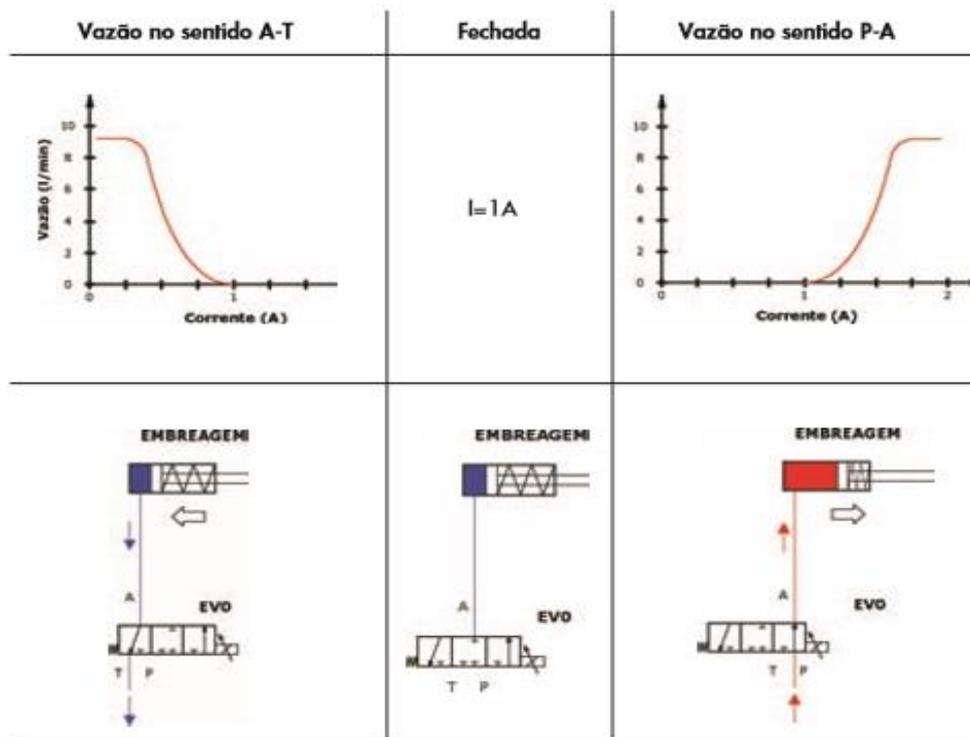


**Figura 28 - Vista em corte da eletroválvula de pressão.**

*Fonte: Transmissão Automatizada ASG (2009).*

### 3.2.2.3. ELETROVÁLVULA DO ATUADOR DE EMBREAGEM.

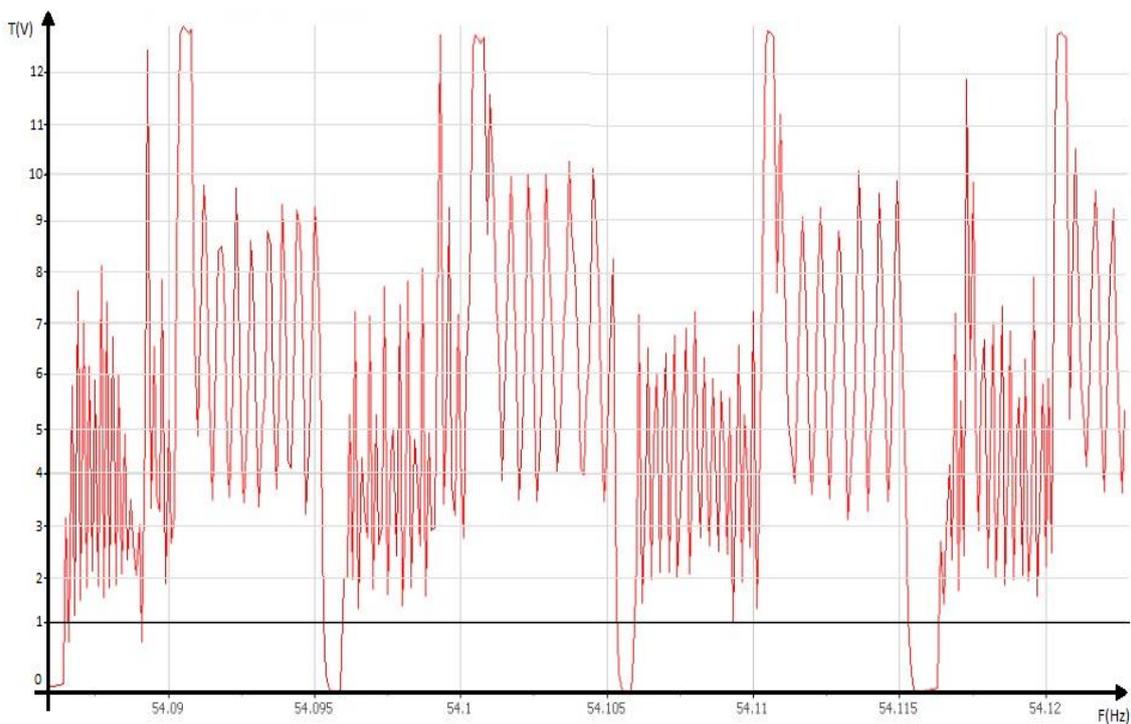
Essa eletroválvula tem como função controlar o óleo para dentro da câmara do atuador da embreagem. Essa eletroválvula, em particular, é do tipo proporcional à vazão, ou seja, faz o controle não só do fluxo e sentido do óleo, mas também da vazão. Isso através de uma corrente de controle. A corrente de controle é semelhante à EV-1 e EV-2, variando de 0 a 2A. Porém o modo de atuação é diferente, ela recebe uma corrente direta do módulo de controle. A mesma tem uma pressão de 10 bar, com vazão de 10 l/min. Resistência elétrica de 2,5  $\Omega$ / com variação de +/- 6% a 20°C.



**Figura 29 - Esquema hidráulico da EV-0.**

**Fonte: Diagnóstico do câmbio Dualogic® (2007).**

Como podemos ver na imagem acima, temos dois momentos. O momento A-T significa “Saída – Tanque”, nesse caso é o movimento de retorno do fluido para o tanque e uma redução de pressão exercida. Já no segundo momento P-A, que significa “Pressão – Saída”, temos o fluxo do óleo em direção ao êmbolo, e um esforço é gerado, o que empurra a embreagem para frente, fazendo o seu acoplamento na volante. Todos esses momentos são controlados por uma corrente. Quando temos a corrente fixa em 1A o sistema se mantém fechado, sem exercer pressão ou recuar para tanque, ou seja, não temos T-A nem P-A. Quando temos uma corrente acima de 1A, o sistema entende como uma necessidade de exercer pressão, ou seja, fazer o acoplamento da embreagem. Nesse caso ele direciona o fluxo de óleo em função de exercer uma força no êmbolo. Quando temos uma corrente abaixo de 1A, o sistema exerce a função contrária, retornando o óleo para a câmara, e diminuindo a pressão, fazendo com que haja um desacoplamento e um recuo da embreagem, assim como ocorre no veículo, seria um momento de engate de uma nova marcha.

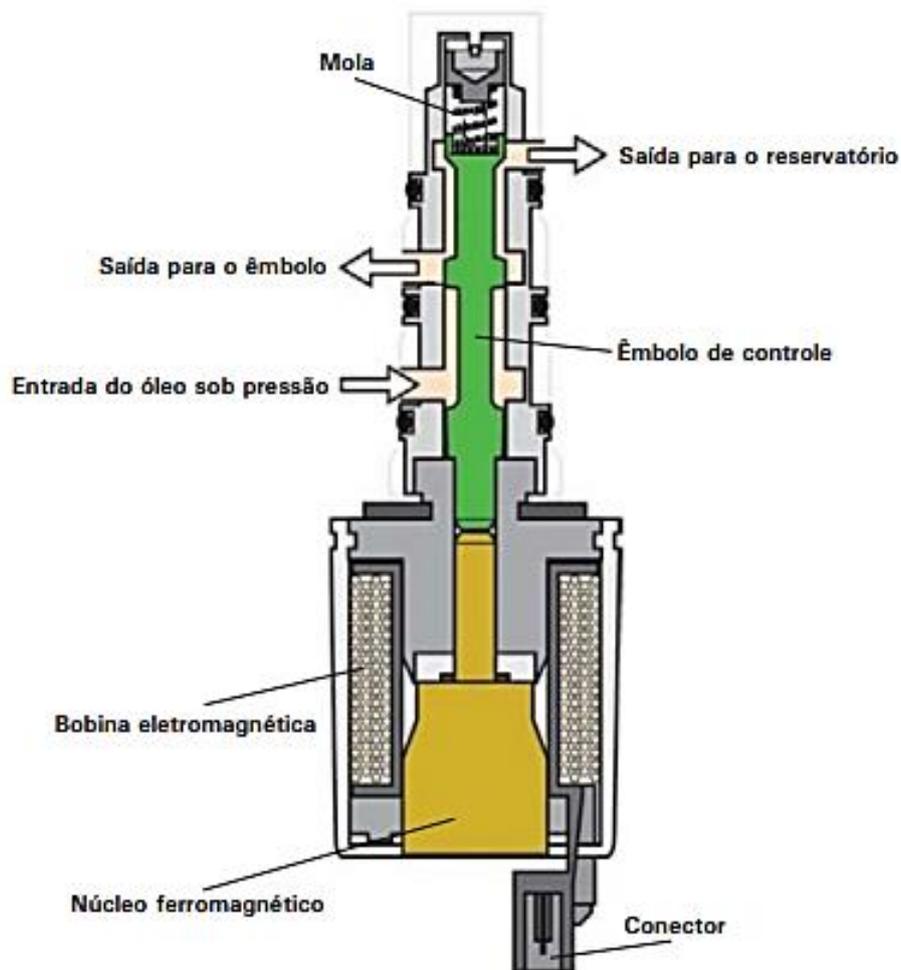


**Figura 30 - Sinal de tensão da EV-0.**

**Fonte: Autor.**

Como podemos observar acima o sinal e tensão que a EV-0 trabalha com uma afinação muito alta, onde existem várias atuações da mesma em um curto período de tempo para fazer o controle da embreagem.

No sistema *Dualogic*® temos duas eletroválvulas do tipo proporcionais a vazão, como explicado anteriormente, “N255” é a eletroválvula do atuador de engate, enquanto que a eletroválvula “N286” é a responsável pela seleção de marchas. Seu funcionamento também é semelhante ao do sistema *Dualogic*®.



**Figura 31 - Eletroválvula proporcional à vazão em corte.**

*Fonte: Transmissão Automatizada ASG (2009).*

### **3.2.3. COMPONENTES DE INTERFACE E ECU.**

Componentes de interface e a unidade de controle do sistema. O grupo de interface tem como função conectar o grupo das eletroválvulas e o grupo de potência ao eixo de transmissão, e isso se dá pelos seguintes componentes citados nas próximas secções.

#### **3.2.3.1. EIXO DE COMANDO DO CÂMBIO.**

O eixo de comando do câmbio tem como função fazer a interface entre o sistema eletro-hidráulico e o câmbio, transmitindo os movimentos dos cilindros para o conjunto trambulador. A mesma transmite esses movimentos, fazendo

em si dois tipos de movimento: um “movimento vertical” (translação) e um movimento rotacional.

Utilizando-se do movimento de translação, consegue posicionar a haste de comando junto ao garfo (movimento de seleção). Através do movimento rotacional ele faz o engate dos garfos nas marchas desejadas (movimento de engate). Tanto no sistema *Dualogic*® como no sistema *I-motion*® o componente é o mesmo.



**Figura 32 - Eixo de Comando do Câmbio. Fonte: Diagnóstico do Câmbio Dualogic® (2007).**

### **3.2.3.2. FLANGE INTERMEDIÁRIA.**

A flange intermediária tem dentro do sistema inúmeras funções, ela serve para posicionar o grupo das eletroválvulas sobre a caixa de câmbio, além de alinhar o eixo de comando do câmbio com o grupo das eletroválvulas. Também tem como função vedar o sistema em relação a meios externos e proporcionar alívio de pressão de gases dentro do sistema. Em ambos os sistemas o componente é o mesmo.



**Figura 33 - Flange Intermediária.**

**Fonte: Diagnóstico do Câmbio Duallogic® (2007).**

### **3.2.3.3. ATUADOR DE EMBREAGEM.**

O atuador da embreagem, “CSC – Clutch Slave Cylinder” atua a embreagem em resposta a pressão do óleo que chega a uma de suas conexões. No atuador existe um sensor de posição que informa para o módulo o deslocamento da embreagem.



**Figura 34 - Atuador da embreagem.**

**Fonte: Diagnóstico do câmbio Duallogic® (2007).**

Um conceito interessante é que os atuadores de ambos possuem conexões diretas com o módulo, pois o sensor de posição da embreagem é posicionado no próprio atuador.



**Figura 35 - Atuador da embreagem I-motion®.**  
**Fonte: Transmissão Automatizada ASG (2009).**

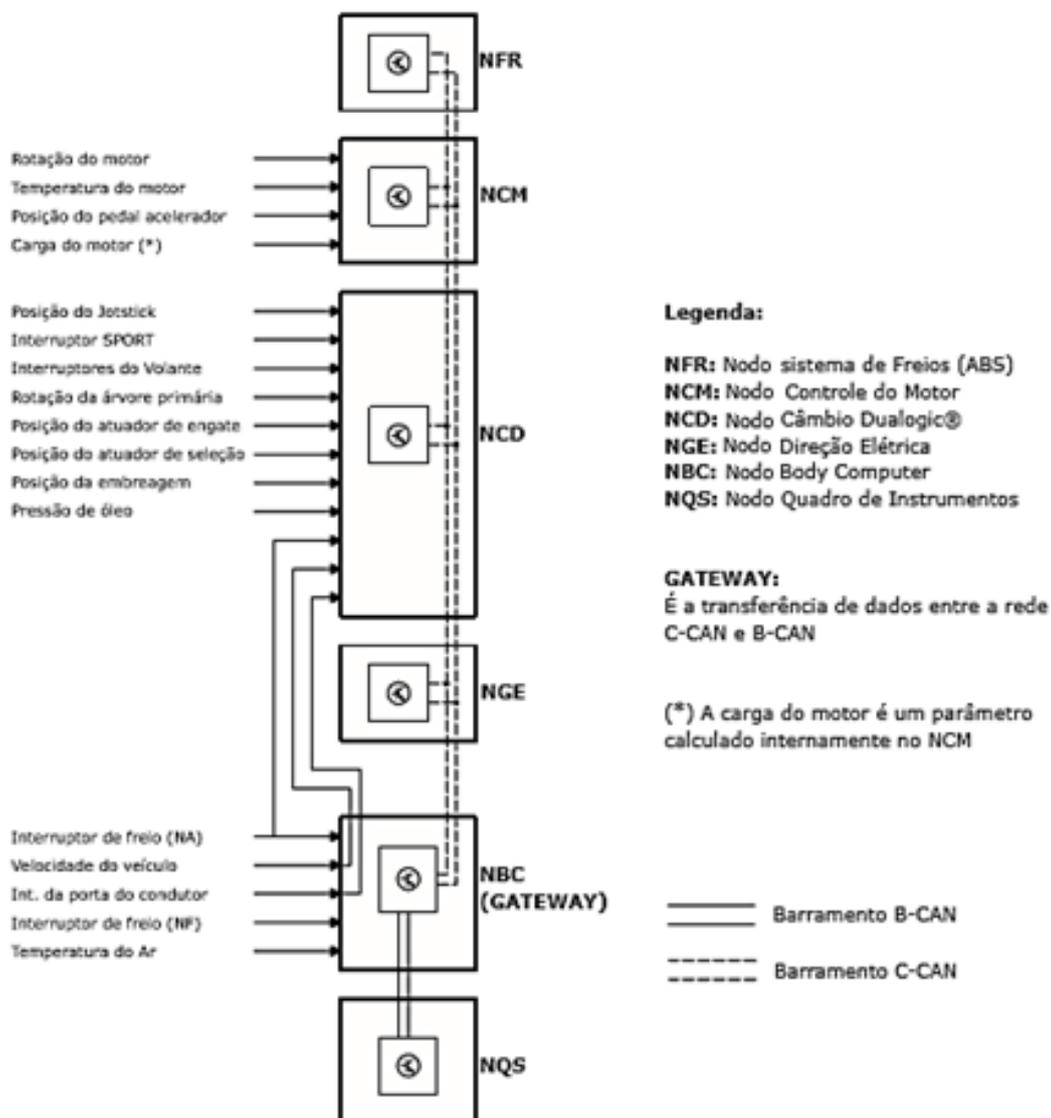
#### 3.2.3.4. UNIDADE DE CONTROLE (NDC).

*Nodo câmbio Duallogic®* ou *NCD*, é a nomenclatura utilizada pela *Fiat* para se referir aos seus módulos de controle. *NCD* é o módulo responsável por fazer o controle e atuação das eletroválvulas e monitorar os sensores presentes no sistema. O módulo por sua vez deverá fazer as trocas de marchas tanto em automático quanto em manual, avaliando uma série de condições aplicadas ao veículo e encontrando o melhor momento para troca de marcha.



**Figura 36 - Nó do câmbio Duallogic®.**  
**Fonte: Diagnóstico do câmbio Duallogic® (2007).**

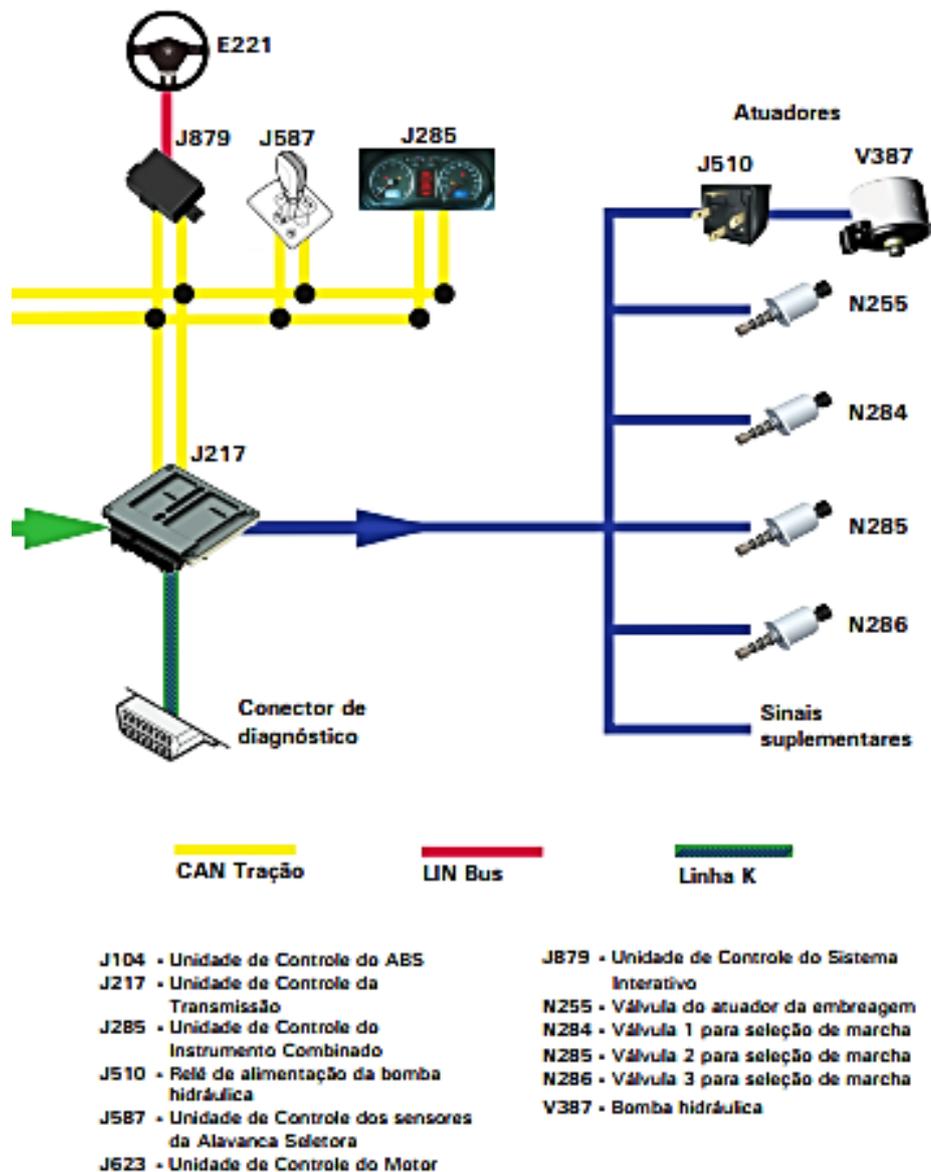
O mesmo é composto por 60 pinos, alocados em dois conectores. Têm conexões com outros módulos do veículo através da rede de comunicação do veicular (*CAN*) e com o módulo de *OBD* (*on-board diagnostic*) através da linha *K*. Recebe sinais dos sensores presentes no kit mecatrônico e sinais externos ao kit através da *rede can*, possibilitando uma série de informações cruciais para a atuação das eletroválvulas. Como podemos ver abaixo, existe uma arquitetura eletrônica de comunicação entre todos os módulos do veículo, vemos que o mesmo recebe informações do módulo de cabine e do módulo de motor; informações que são importantes para a troca de marcha. Informações como interruptor de freio são cruciais para o funcionamento do sistema, por exemplo, veículos equipados com esse sistema não dão partida se o interruptor de freio não estiver acionado e com o joystick em posição neutro. Informações como rotação do motor e carga no pedal são cruciais para as trocas de marchas, e as mesmas vem do módulo do motor através da *rede can*.



**Figura 37 - Arquitetura Eletrônica dos Módulos.**

**Fonte: Diagnóstico do câmbio Dualogic® (2007).**

Nos veículos com *I-motion*® o sistema apresenta as mesmas conexões com outros módulos. Proporcionando uma arquitetura de comunicação semelhante, desde acionamento e controle, até monitoramento de falhas. Recebendo os sinais dos sensores e de outros módulos. E além do processamento e controle, o sistema também informa no painel do condutor o status do sistema.



**Figura 38 - Arquitetura eletrônica do I-motion®.**

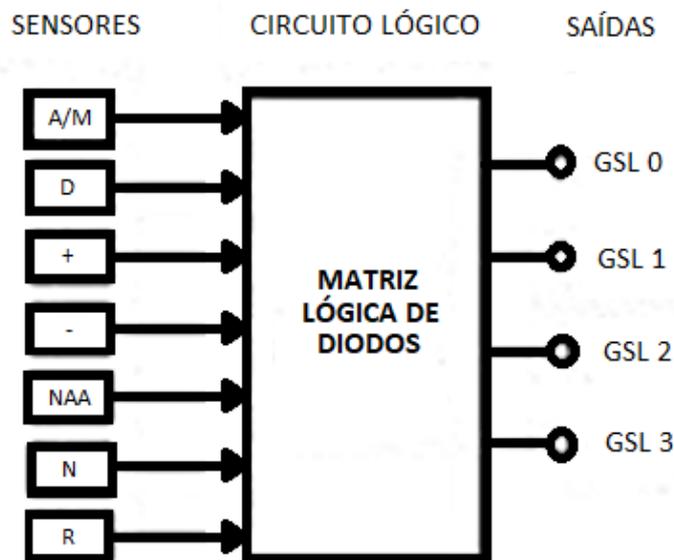
**Fonte: Transmissão Automatizada ASG (2009).**

### 3.3. SENSORES.

Os sensores são dispositivos capazes de transformar grandezas físicas ou químicas em grandezas elétricas. No sistema *Dualogic®* existem sensores que auxiliam o sistema a interpretar o atual estado do veículo antes de efetuar as trocas de marchas. Esses sinais elétricos emitidos pelos sensores são enviados até os terminais do módulo de controle e processados, a partir desse ponto o módulo pode calcular o melhor momento para uma troca de marcha.

### 3.3.1. SENSOR DE POSIÇÃO DA ALAVANCA DE COMANDO DO CÂMBIO.

O sensor de posição da alavanca de comando do câmbio, ou joystick, como é popularmente conhecido é composto por sete sensores do tipo efeito *hall*, um para cada posição do câmbio, no joystick temos um ímã que tem como função gerar a excitação no sensor *hall*. Os valores são montados em uma lógica binária que informará para o módulo a posição do joystick.



**Figura 39 - Lógica de funcionamento do Joystick.**

**Fonte: Diagnóstico do câmbio Duallogic® (2007).**

Como podemos ver na imagem acima, temos as posições em que os sensores se encontram, eles passam por uma matriz lógica de diodos, e são convertidos em quatro sinais. Com os quatro sinais gerados pela matriz lógica, podemos então criar uma tabela binária que será interpretada pelo módulo de controle.

	GSL3	GSL2	GSL1	GSL0
Falha	1	1	1	1
D	1	0	1	0
-	1	1	0	0
+	0	1	0	1
N	1	0	0	1
R	0	0	1	1
A/M	0	1	1	0
NAA	0	0	0	0

Legenda:  
 Nível 1 = de 2,7 V a 3,9 V  
 Nível 0 = de 0,7 V a 2,1 V  
 \*Se a tensão for abaixo de 0,7 V, o sistema reconhece **Curto Circuito GND**  
 \*Se a tensão for acima de 3,9 V, o sistema reconhece **Circuito Aberto**

**Figura 40 - Tabela binária da posição do Joystick.**

**Fonte: Diagnóstico do câmbio Duallogic® (2007).**



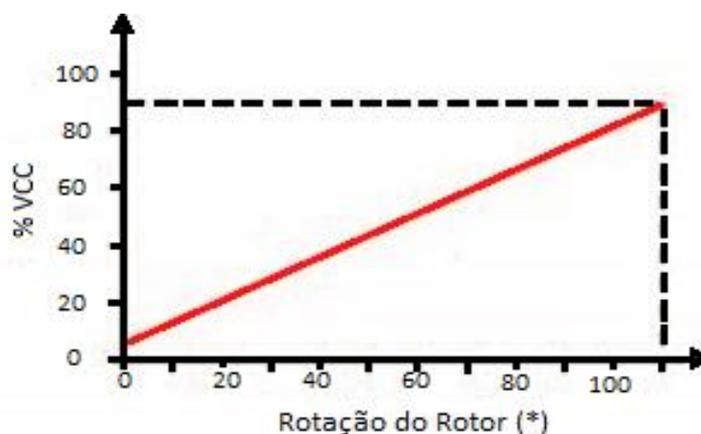
### 3.3.2. SENSOR DE POSIÇÃO DOS ATUADORES DE ENGATE E SELEÇÃO.

Os sensores de posição dos atuadores de engate e seleção são potenciômetros que funcionam sem o princípio do contato deslizante. O mesmo utiliza de um anel magnético e um ímã, os mesmos são montados sobre um rotor e conforme a rotação consegue-se um valor de tensão proporcional. Conforme temos um aumento de rotação, o valor de tensão aumenta proporcionalmente, isso acontece por causa da influência que o ímã gera sobre um sensor de tipo efeito hall que está instalado no local, ou seja, quando o rotor rotaciona o anel magnético, o mesmo gera uma excitação por causa do ímã e essa tensão gerada é captada pelo sensor de efeito hall.



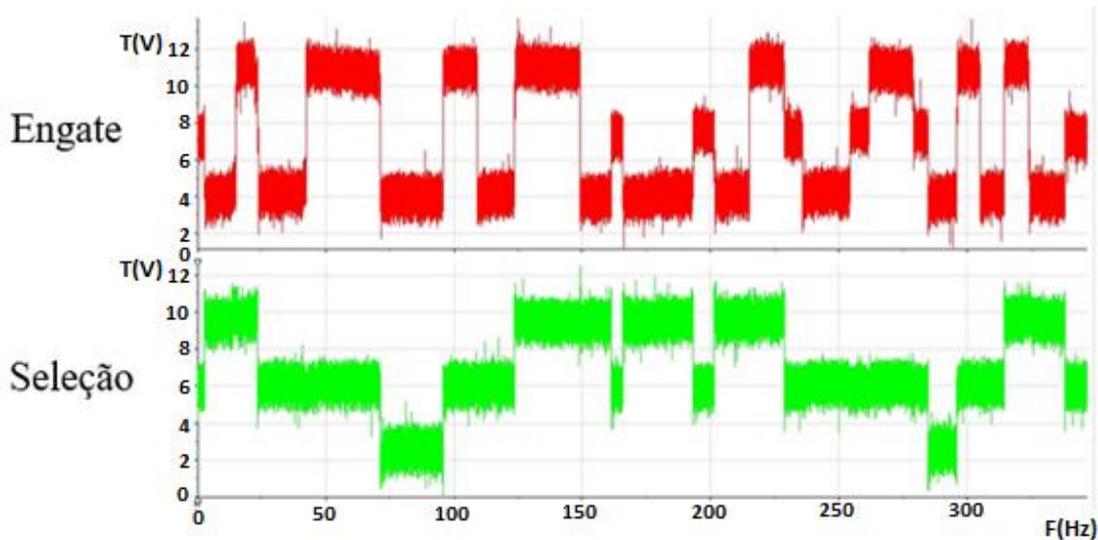
**Figura 42 - Acoplamento do sensor de efeito hall ao conjunto magnético. Fonte: Diagnóstico do câmbio Duallogic® (2007).**

O valor de tensão deve ser proporcional à rotação, o gráfico teórico de funcionamento do sensor deve ser o apresentado abaixo:



**Figura 43 - Sinal do sensor de rotação. Fonte: Diagnóstico do câmbio Duallogic® (2007).**

Porém durante o funcionamento do sistema, as trocas de marchas apresentam rotações diferentes para cada par de marchas, e devido ao tempo de permanência em cada marcha, o sinal apresentado é semelhante a um sinal do tipo digital. Veremos o sinal real durante o funcionamento nos demais capítulos.

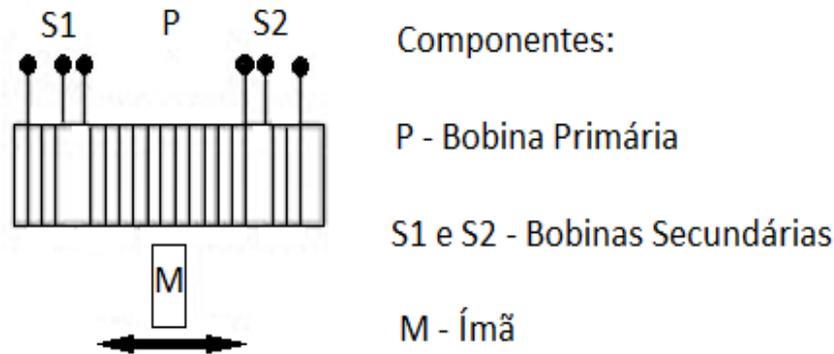


**Figura 44 - Sinal do sensor medido pelo grupo.**

*Fonte: Autor.*

### 3.3.3. SENSOR DE POSIÇÃO DA EMBREAGEM.

O sensor de posição da embreagem é um *PLCD – Permanet Magnetic Linear Contact-Less Displacement Sensor*, ou Sensor de deslocamento linear sem contato e com ímã permanente. Esse sensor mede o deslocamento linear, ele é formado por três bobinas e um ímã, onde a bobina central é conhecida como bobina primária e as demais são bobinas secundárias. O ímã é móvel e se desloca de acordo com o movimento que é necessário medir.



**Figura 45 - Representação das bobinas e do ímã.**

**Fonte: Diagnóstico do câmbio Dualogic® (2007).**

O seu funcionamento depende de uma relação entre as bobinas secundárias e a bobina primária. Um gerador de tensão alternada alimenta as bobinas secundárias, S1 e S2, e ambas geram tensões  $V_1$  e  $V_2$  respectivamente. A tensão total é dada por:

$$V_s = V_1 + V_2$$

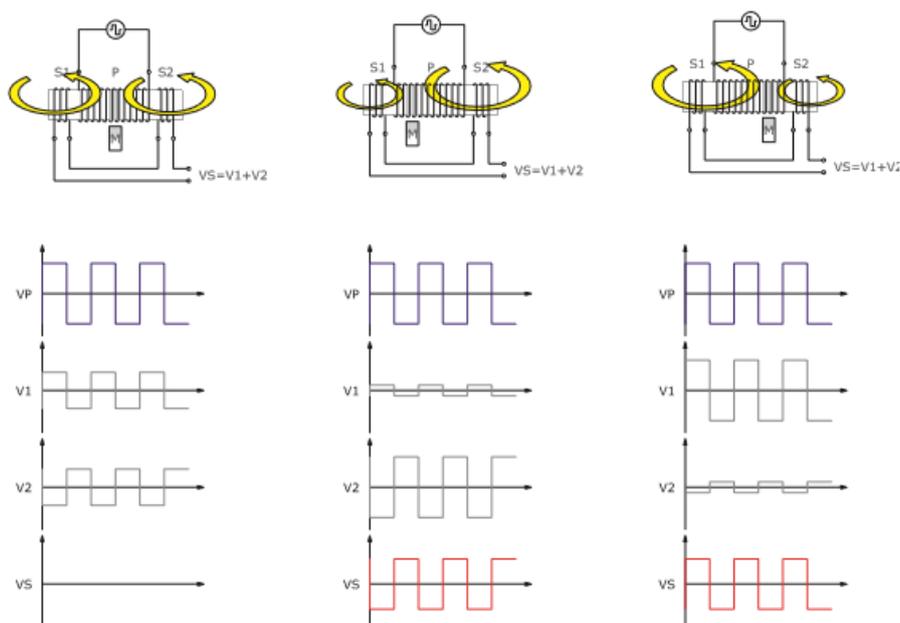
**Equação 35 – Relação de tensão total.**

Conforme o ímã se move próxima às bobinas o valor de tensão varia. Quando o ímã se mantém na posição central o valor de saída  $V_s = 0V$ . Quando o ímã se desloca a equação toma uma forma diferente onde:

$$V_1 = -V_2$$

**Equação 36 – relação de tensão com ímã em deslocamento.**

Nesse caso com a mudança de tensão entre as bobinas, o valor de tensão final varia, devido a diferença de tensão entre as bobinas, o valor de  $V_s$  tende a aumentar. Quando há deslocamento, a diferença que indica o mesmo é dada por uma defasagem de  $180^\circ$  na fase do sinal. Podemos observar abaixo a diferença de deslocamento e de tensões em relação ao deslocamento.



**Figura 46 - Sinal do sensor de posição da embreagem.**

**Fonte: Diagnóstico do câmbio Dualogic® (2007).**

### 3.3.4. SENSOR DE PRESSÃO DE ÓLEO.

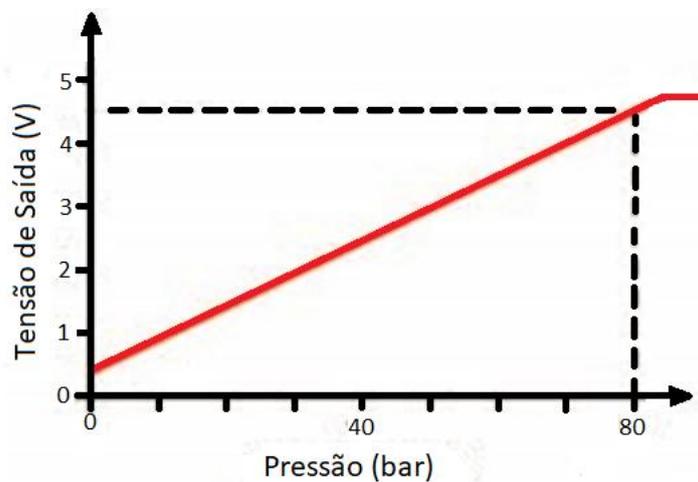


**Figura 47 - Sensor de pressão.**

**Fonte: Diagnóstico do câmbio Dualogic® (2007).**

O sensor de pressão tem como função informar para o módulo de controle *NCD* a pressão do óleo no sistema hidráulico, ele é instalado diretamente no grupo hidráulico e com base no valor informado, o *NCD* pode ativar ou desativar a eletrobomba em casos de necessidade. Ele é constituído

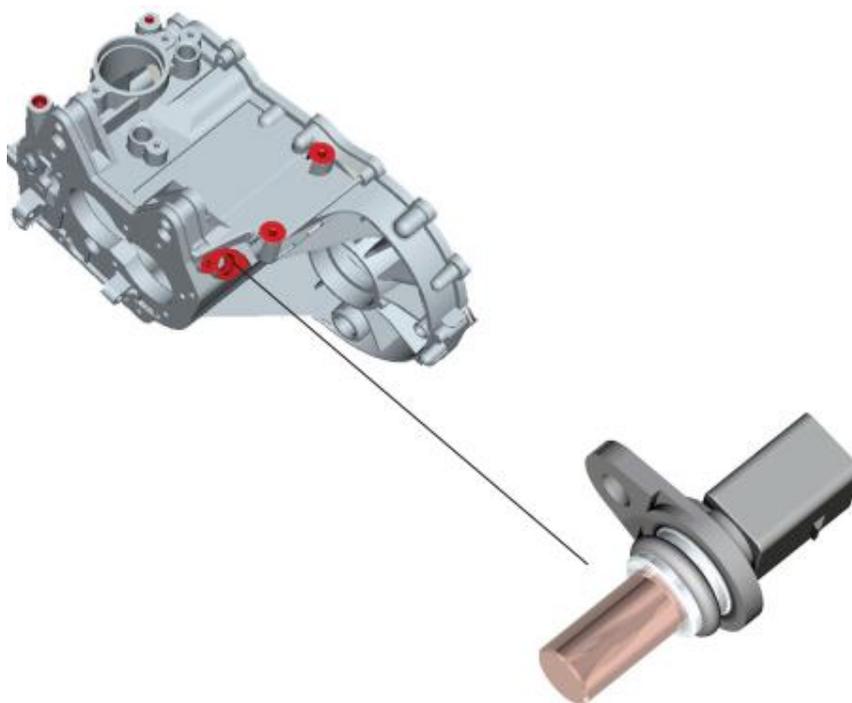
de um elemento capacitivo que fornece um valor de tensão linear ao aumento de pressão. Tensão de alimentação de 5V, valor máximo de 80 bar de leitura.



**Figura 48 - Gráfico de operação do sensor de pressão.**

**Fonte: Diagnóstico do câmbio Dualogic® (2007).**

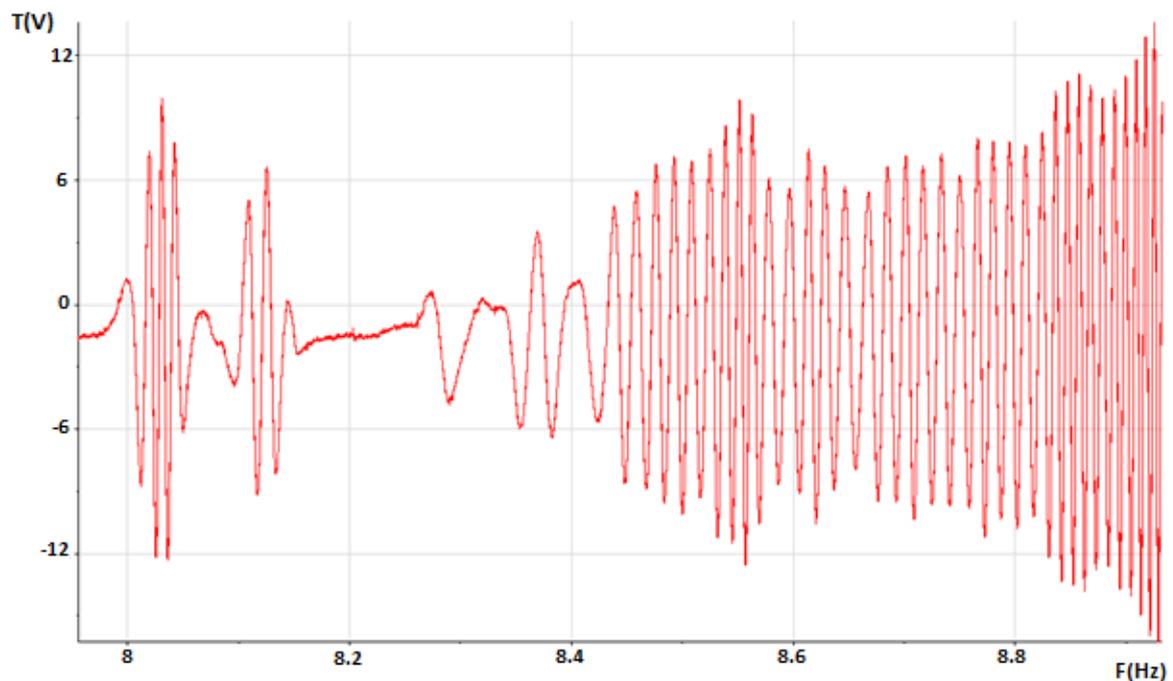
### 3.3.5. SENSOR DE ROTAÇÃO DA ÁRVORE PRIMÁRIA.



**Figura 49 - Sensor de rotação da árvore primária.**

**Fonte: Transmissão Automatizada ASG (2009).**

O sensor de rotação da árvore primária é instalado diretamente no câmbio e fornece o valor de rotação da árvore primária para o *NCD*, esse valor fornecido é comparado com a rotação do motor, para verificação de patinação no sistema. É um sensor do indutivo de relutância magnética, o sinal tem variação de frequência com relação à rotação.

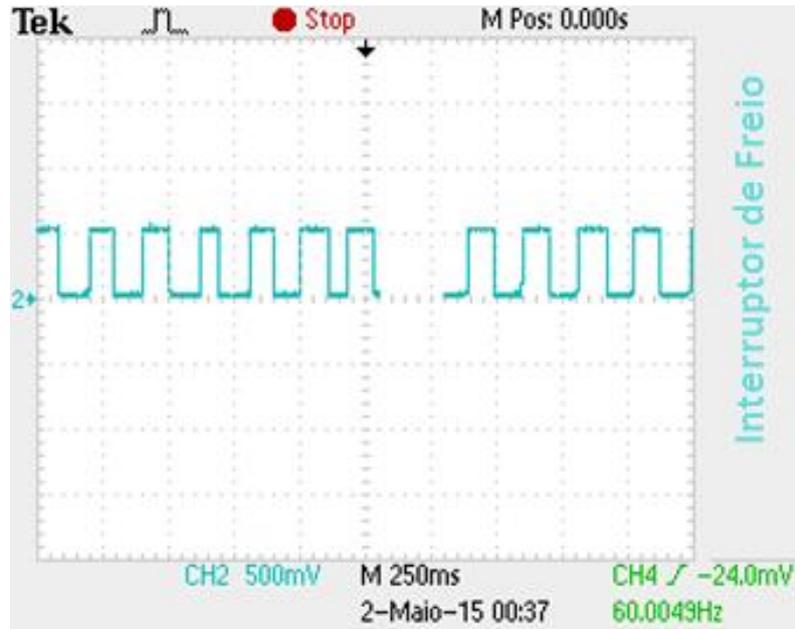


**Figura 50 - Sinal do sensor de rotação.**

**Fonte: Autor.**

### **3.3.6. INTERRUPTOR DE FREIO.**

O interruptor de freio é um sinal do tipo digital que informa o *NCD* quando o pedal do freio é acionado. O sinal dentro do sistema é duplicado, pois o veículo recebe via barramento *CAN* o mesmo sinal do *NBC* – *Nodo Body Computer*. O sinal duplicado tem a importância de plausibilidade.

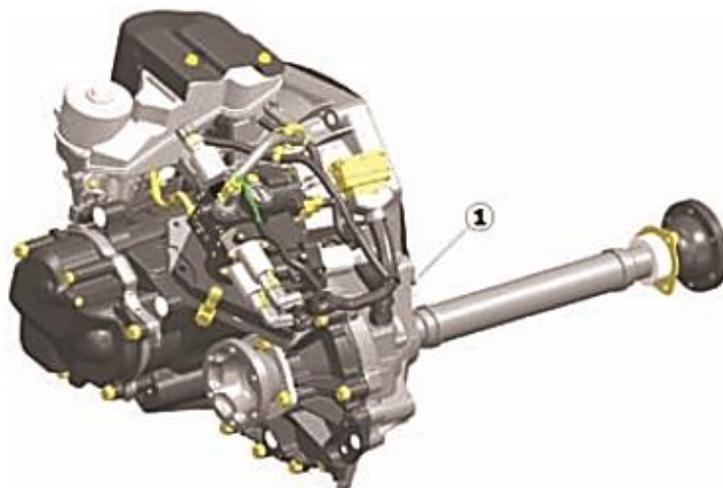


**Figura 51 - Sinal do interruptor de freio.**

**Fonte: Autor.**

### 3.3.7. SENSOR DE VELOCIDADE.

O sensor de velocidade é instalado diretamente no câmbio, e tem como função informar ao *NCD* a velocidade veículo. Esse sinal é importante para o módulo definir os momentos de troca de marcha e acionamento da embreagem.



**Figura 52 - Localização do sensor de velocidade.**

**Fonte: Diagnóstico do câmbio Dualogic® (2007).**

### **3.3.8. INTERRUPTOR DA PORTA DO CONDUTOR.**

Esse sinal informa ao módulo se a porta do condutor estiver aberta. Nesse caso é um sinal de estratégia de segurança, pois o veículo não se movimenta se a porta estiver aberta. O sinal é um pulso de 5V semelhante ao do interruptor de freio.

### **3.3.9. SINAIS DE SENSORES VIA REDE CAN.**

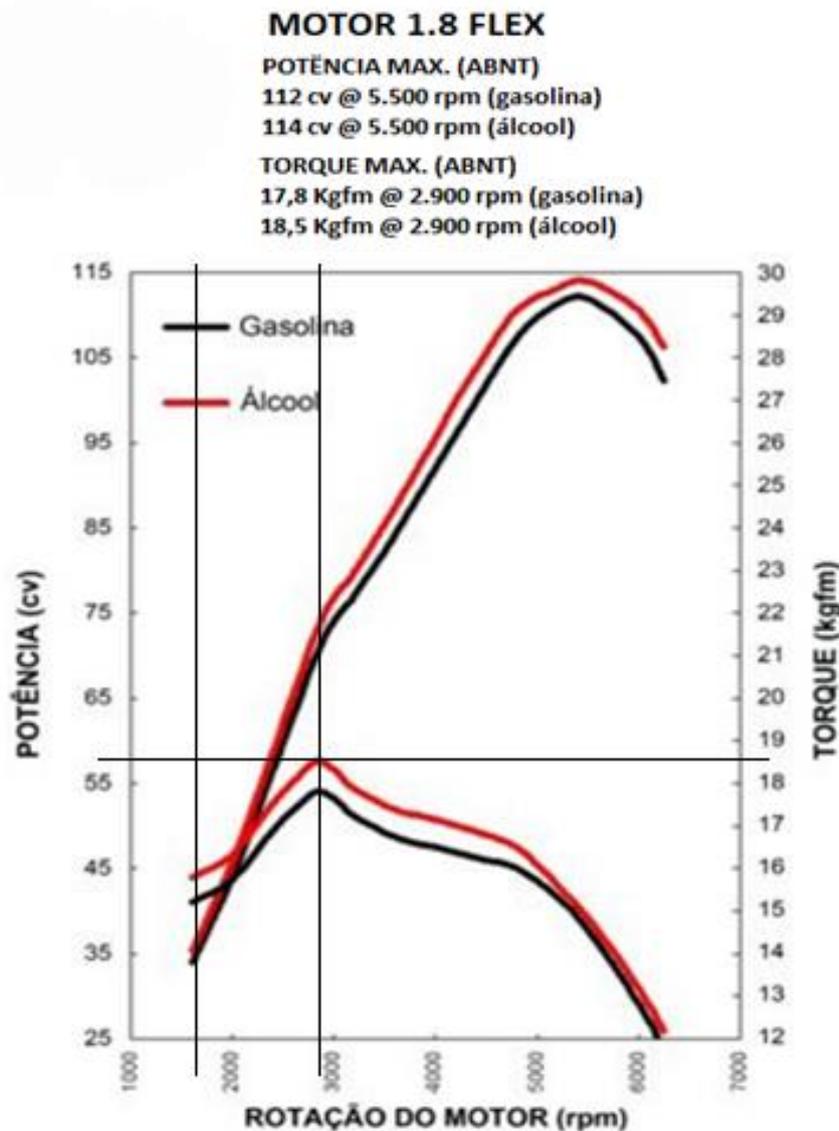
Alguns sensores do sistema fornecem sinais cruciais para a definição de estratégia do câmbio. Porém esses sinais não são monitorados diretamente pelo *NCD*, eles são enviados para o módulo do câmbio *Dualogic®* através do barramento CAN, e assim as informações podem ser adicionadas nos cálculos do *NCD*. Essa estratégia evita a necessidade de custos com sensores duplicados e a ocorrência de interferências durante a transmissão do sinal por longos chicotes até o *NCD*. Os sinais que são obtidos via rede CAN são:

1. *Temperatura do motor;*
2. *Temperatura do Ar Externo;*
3. *Rotação do Motor;*
4. *Posição do pedal do acelerador.*

### **3.4. ESTRATÉGIAS DE TROCAS DE MARCHAS.**

As estratégias para trocas de marchas são definidas pelo módulo da transmissão. Para fazer a troca de marcha corretamente, o *NCD* analisa a posição do pedal do acelerador (necessidade do condutor), rotação tanto do motor quanto da embreagem, velocidade do veículo, entre outras informações provenientes do sistema. O sistema observe todos esses sinais e valores para definir o melhor momento, na necessidade de encontrar uma troca de marcha que favoreça economia e/ou potência, favorecendo torque ao veículo. Para isso é necessário entendermos a faixa de torque e potência do veículo. A faixa de torque e potência é gerada no motor e está esboçada no gráfico abaixo, no

caso do sistema *Dualogic®*, a mesma é de suma importância para as trocas de marcha.



**Figura 53 - Gráfico de torque e potência da Strada.**

**Fonte: Manual do Veículo.**

Como podemos observar, a faixa assinalada no gráfico mostra o início do torque no motor, e o momento de torque máximo. Essa faixa varia entre 2000 a 2900 RPM, onde 2900 RPM o momento de torque máximo. Então a unidade deve procurar fazer as trocas de marcha entre essa faixa, para sempre ter torque alto, mesmo durante a troca de marcha onde a rotação tende a cair. Mantendo as trocas de marchas dentro dessa faixa de rotação, teremos torque alto aplicado às rodas e baixo consumo de combustível. E em uma

necessidade de carga no pedal, a unidade pode alongar a troca para até 4000 RPM que ao trocar a marcha, a rotação irá cair, mas mesmo assim estará dentro da faixa de torque máximo. Já quando precisamos de potência o módulo faz as trocas de marcha entre 5500 RPM, onde temos a faixa de máxima potência. Essa estratégia é constantemente adotada pelo módulo de controle, e ele processa o momento exato para a troca de marcha dentro da faixa, usando os dados obtidos pelos sensores.

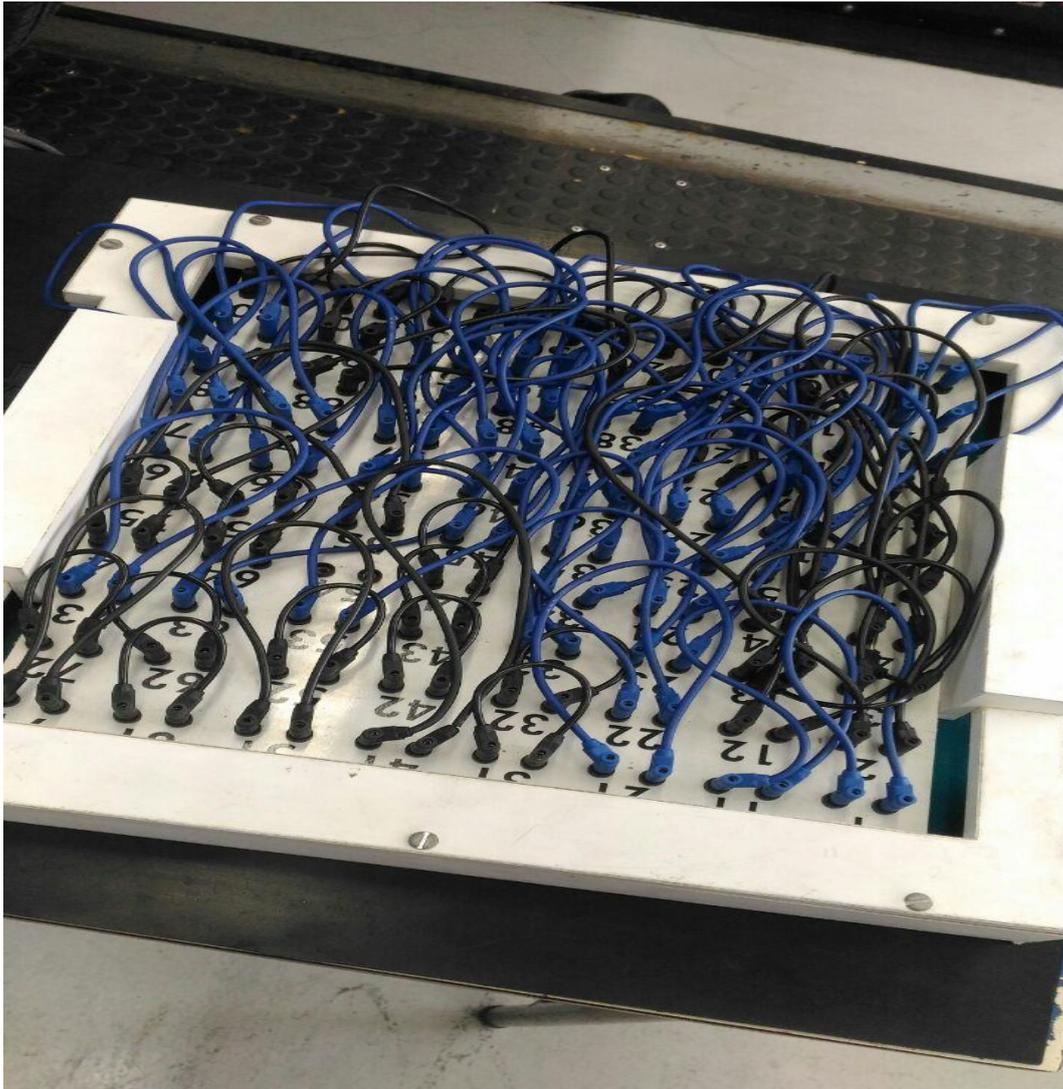
Em testes realizados no veículo observamos as trocas de marcha em modo de operação automático e normal, o módulo realizou as trocas de marchas dentro da faixa de 2000 a 2500 RPM, já com o botão *sport* ligado, as trocas ocorreram exatamente a 2900 RPM, empregando torque máximo as rodas do veículo. Já no ensaio de potência as trocas ocorreram exatamente na faixa de potência máxima.

## **4. METODOLOGIA.**

Conceituaremos como o projeto foi desenvolvido e os equipamentos utilizados durante sua elaboração. Entenderemos como foi desenvolvido e como funciona o hardware na simulação do acionamento das eletroválvulas. Assim como também iremos ver os resultados apresentados pelo sistema.

### **4.1. AQUISIÇÃO DE DADOS.**

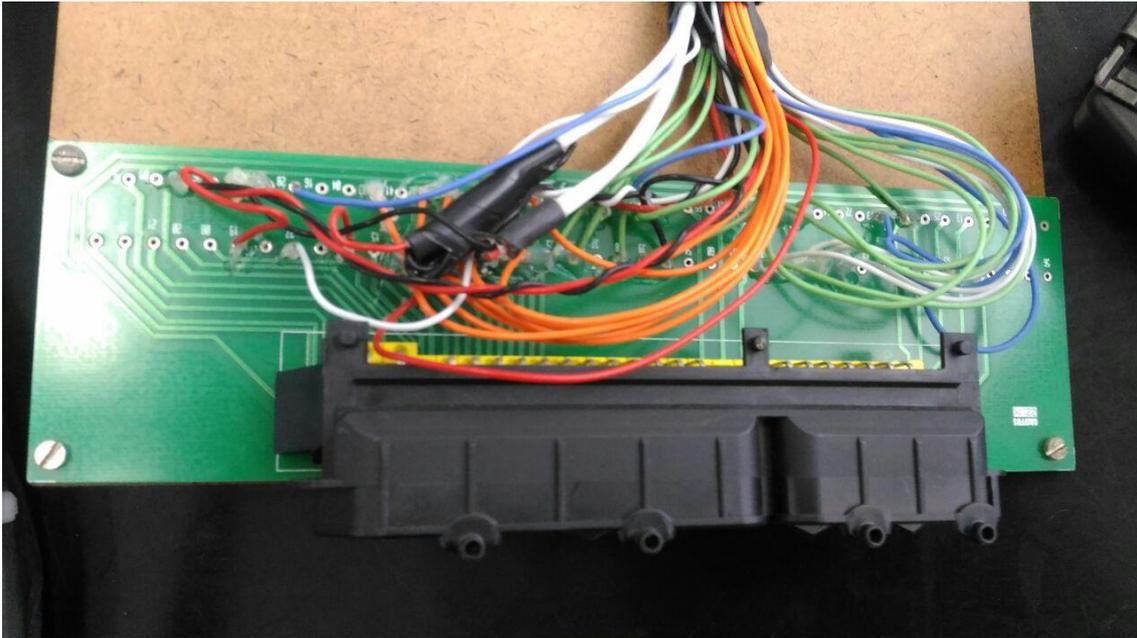
A aquisição de dados do módulo foi feita através de um “Break-out Box” confeccionado pela própria universidade. A caixa de transferência de dados contém dois conectores machos, e através de um cabo, conectamos o módulo e o carro à caixa. A mesma é feita através de um circuito impresso, que faz as passagens dos dados, porém acrescentando dois terminais, nos quais podemos acessar os dados com um osciloscópio ou multímetro. Ao abrirmos um dos pinos, podemos inserir as pontas de provas do osciloscópio ou do multímetro. A caixa de passagem foi essencial para o desenvolvimento desse projeto, pois com ela conseguimos ver os sinais de praticamente todos os dados da *NCD*. Ao conseguirmos esses sinais foi possível analisarmos e entendermos como o módulo gerencia as funções, além disso, para fazermos a atuação do kit de bancada, precisamos simular sinais iguais que atuassem as eletroválvulas, e para isso precisávamos saber quais tipos de sinais eram gerados pelos componentes do sistema.



**Figura 54 - Break-out Box.**

**Fonte: Autor.**

A caixa de passagem (*break-out Box*) tem dois conectores, um para o módulo e outro que liga diretamente no chicote do veículo. Para isso utilizamos conectores semelhantes ao da unidade de gerenciamento. Tanto a caixa de passagem quanto os conectores foram feitos através de um circuito impresso.



**Figura 55 - Conector do chicote do veículo.**

**Fonte: Autor.**

#### **4.2. AQUISIÇÃO DE DADOS VIA LABVIEW.**

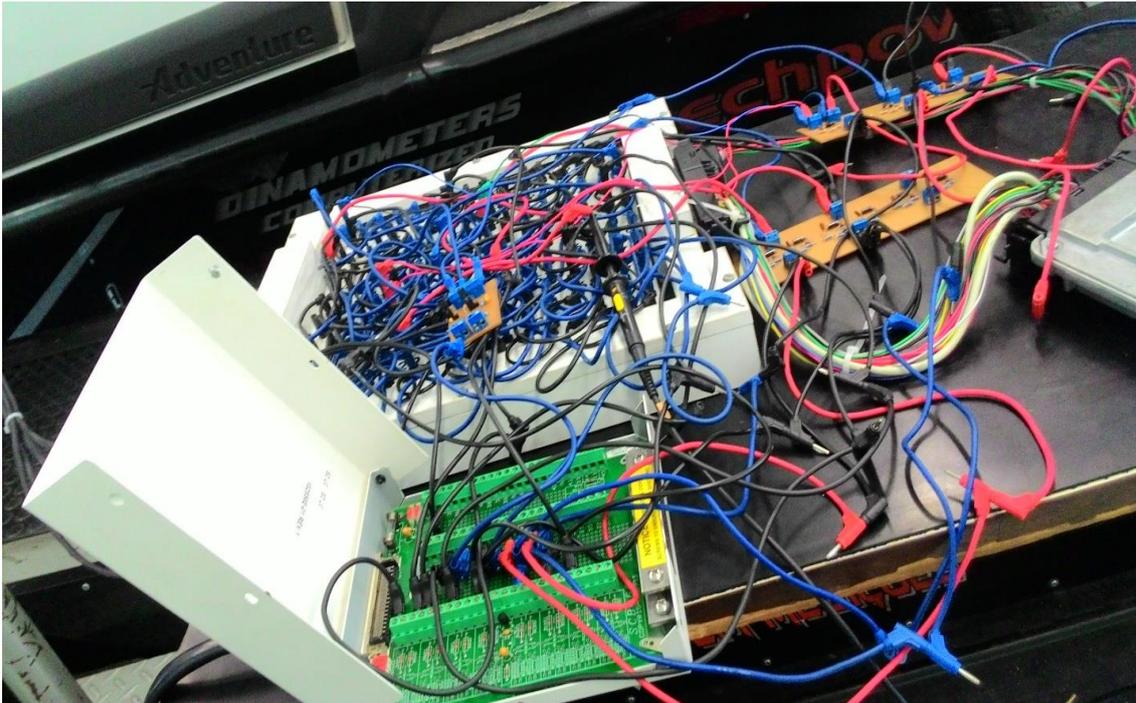
O *Labview - Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench (Laboratório Virtual de Instrumentos de Engenharia de Bancada)*, é uma linguagem de programação gráfica, ou seja, são utilizadas ferramentas visuais ao invés de linhas de programação. Outra diferença do *LabView* para as ferramentas de programação textuais está na ordem de execução do programa que passa a ser através do fluxo de dados ao invés de ser sequencial, resultando em uma vantagem no processamento de dados.



**Figura 56 - Placa de aquisição National Instruments NI-USB®.**

**Fonte: Autor.**

Foi constituído pela universidade um programa de aquisição de dados via o software LabView. Esse software integrado a placa de aquisição da *National Instruments* (criadora do LabView), *NI-USB®* onde conectamos os dados vindos do módulo original, e através do programa e da placa de captura de dados, conseguimos coletar simultaneamente uma quantidade razoável de sinais ao mesmo tempo, a utilização desse instrumento nos possibilita também a aquisição de dados com o veículo em movimento. Podemos separar os sinais em digitais e analógicos. Com os dados salvos foi possível uma análise posterior para entendimento do funcionamento em conjunto do sistema. As eletroválvulas têm seu funcionamento com tensões de 12V, e a placa de aquisição da *National* tem seus limites de tensão em 10V. Para realizarmos as aquisições de dados foi necessário utilizarmos um divisor de tensão. Assim ligamos os sinais nos divisores e dos divisores para a placa de aquisição.



**Figura 57 - Montagem da bancada de aquisição de dados.**

**Fonte: Autor.**

### **4.3. ANÁLISE DOS DADOS ADQUIRIDOS.**

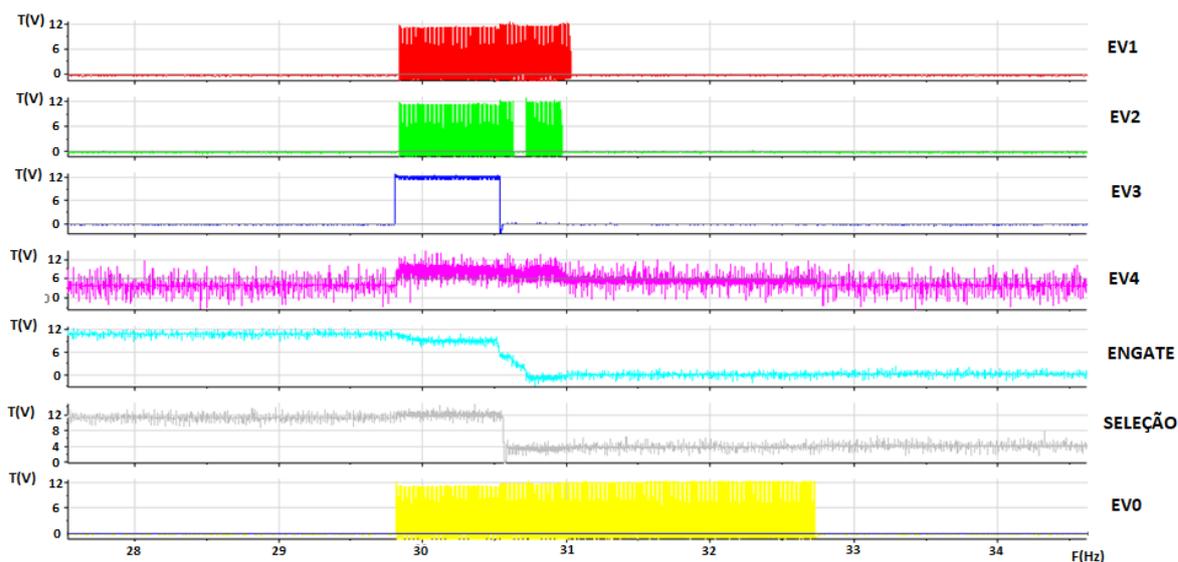
Primeiramente definimos um padrão de testes para coleta de dados, utilizamos o dinamômetro de rolo da própria faculdade, e iniciamos os testes com o veículo sempre em automático. Utilizamos o sinal do interruptor de freio como ponto de referência de partida e em seguida iniciamos a rodagem do veículo. Rodamos com o mesmo até atingirmos quinta marchas e depois reduzimos a velocidade do veículo, para fazermos as reduções de marchas. Com isso conseguimos sinais de todas as eletroválvulas atuando ao mesmo tempo.

<b>Marcha Requerida</b>	<b>EV0</b>	<b>EV1</b>	<b>EV2</b>	<b>EV3</b>	<b>EV4</b>
<b>1<sup>a</sup></b>	A	C	-----	B	-----
<b>2<sup>a</sup></b>	A	-----	C	B	-----
<b>3<sup>a</sup></b>	A	B	-----	-----	-----
<b>4<sup>a</sup></b>	A	-----	B	-----	-----
<b>5<sup>a</sup></b>	A	C	-----	-----	B
<b>RÉ</b>	A	-----	C	-----	B

**Tabela 4 – Sequência de acionamentos do sistema.**

**Fonte: Diagnóstico do câmbio Dualogic® (2007).**

Com os dados foi possível entendermos que o sistema funciona acionando as eletroválvulas uma após a outra, porém como método de segurança, as eletroválvulas de engate só funcionam após as eletroválvulas de seleção terem feito sua atuação, isso para que não ocorram avarias ao sistema. Durante nossas análises entendemos que as eletroválvulas de um mesmo grupo funcionam ao mesmo tempo, isso para aumentar a precisão de controle, principalmente na eletroválvula de engate, onde um exerce a função de engatar, a outra aplica uma força contrária ao engate para reduzir o movimento da primeira eletroválvula e aumentar a suavidade no momento de engate. A eletroválvula EV-0 que executa o controle da embreagem necessita de um controle preciso de corrente. O controle é realizado através do driver MCP33816. A embreagem funciona antes, durante e depois da troca de marcha, ou seja, a mesma fica em funcionamento durante todo o processo, tendo poucos momentos de repouso.



**Figura 58 - Sinal conjunto das eletroválvulas.**

**Fonte: Autor.**

Na imagem acima temos em sequência, de cima para baixo, EV-0, EV-1, EV-2, EV-3 e EV-4. E o sinal de atuação em um momento de troca de marcha. Abaixo podemos observar os testes realizados durante o projeto, as aquisições feitas e observações durante os testes.

<b>DATAS</b>	<b>TIPO DE TESTE</b>	<b>MODO</b>	<b>OBSERVAÇÕES</b>
<b>06.05.2015</b>	Aquisição de dados	Veículo parado	Utilização de multímetro e osciloscópio
<b>23.05.2015</b>	Aquisição de dados	Veículo em movimento	Utilização de Osciloscópio
<b>07.07.2015</b>	Aquisição de dados com acrescento de Rede CAN	Veículo em movimento modo automático	Utilizado software de aquisição de Rede CAN e início da definição de freio como ponto de início.
<b>23.07.2015</b>	Aquisição de dados via Lab View	Automático	
<b>15.05.2016</b>	Aquisição de dados via Labview	Automático	Teste para definição dos condicionadores da ECU
<b>13.06.2016</b>	Aquisição de dados	Veículo	Teste realizado para medir

		Parado	extremos de sinais
<b>02.09.2016</b>	Aquisição de dados	Veículo parado	Teste realizado para definir funcionamento das eletroválvulas de engate e níveis de corrente
<b>16.09.2017</b>	Teste de estratégias de troca de marchas	Automático	
<b>23.09.2017</b>	Teste de estratégias de troca de marchas – Dinamômetro	Automático	Análise junto a faixa de torque e potência
<b>21.10.2017</b>	Teste nas Eletroválvulas	Kit de Bancada	Acionamento elétrico das eletroválvulas
<b>12.11.2017</b>	Teste nas Eletroválvulas.	Kit de bancada	Acionamento elétrico das eletroválvulas sem pressão no sistema
<b>15.11.2017</b>	Teste nas Eletroválvulas	Kit de bancada	Sistema com pressão, e acionamento da eletrobomba.
<b>19.11.2017</b>	Acionamento das eletroválvulas	Kit de bancada	Acionamento das eletroválvulas com o sistema em pressão, e leitura de pressão.
<b>02.12.2017</b>	Montagem do Layout do Hardware de Acionamento Básico		
<b>11.12.2017</b>	Testes utilizando a placa de acionamento básico	Kit de bancada	Acionamento das eletroválvulas e do controle de pressão utilizando a

			placa de acionamento básico.
<b>16.12.2017</b>	Último teste das Eletroválvulas	Kit de Bancada	Acionamento realizado utilizando fonte de 20A e controle de pressão via software.

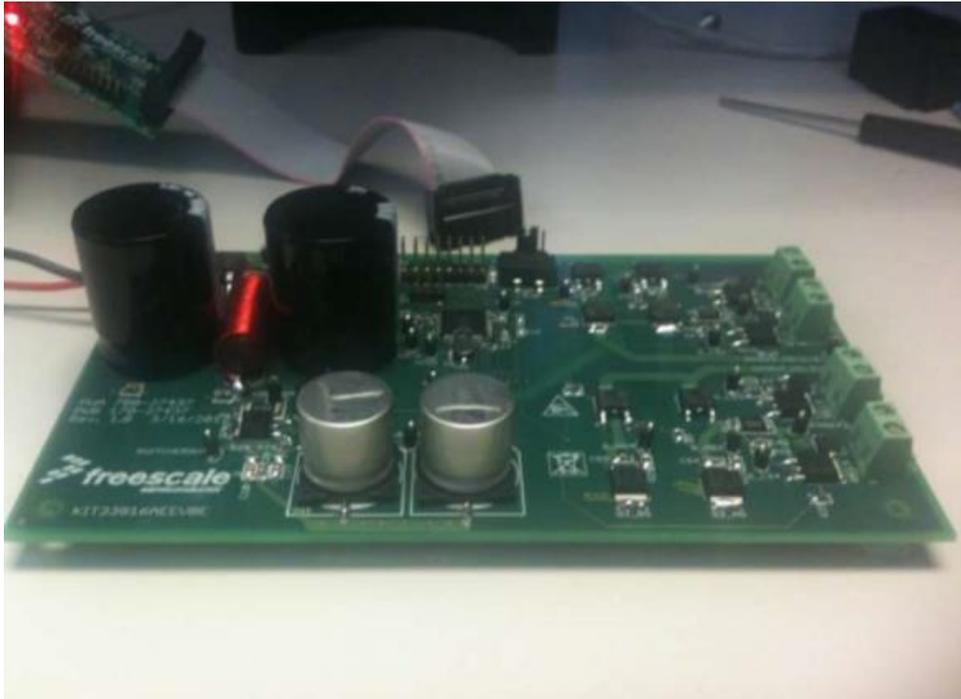
**Tabela 5 – Tabela de teste do projeto.**

**Fonte: Autor.**

Como podemos observar os testes serviram para definirmos os sinais que posteriormente servirão para o desenvolvimento do layout da unidade de gerenciamento. Assim como também serviram para o desenvolvimento da placa de acionamento básico das eletroválvulas. Os testes foram de suma importância para entendermos a funcionalidade das eletroválvulas, e, além disso, conseguimos descobrir que diferente da explicação dos manuais, as eletroválvulas de um mesmo grupo funcionam em conjunto como uma estratégia de engate ou seleção mais suave, diminuindo as vibrações abruptas durante as trocas de marchas.

#### **4.4. DRIVER DE CONTROLE MCP33816.**

O driver de controle e acionamento MCP33816 da empresa *Freescale*, é utilizado tanto no controle de eletroválvulas injetoras diesel, pois existe a necessidade de um controle de alta tensão e corrente, quanto no módulo de transmissão, ele é utilizado devido a sua precisão no controle, principalmente para o controle de *PWM*. O driver é comum em unidades de gerenciamento confeccionadas por multinacionais, e será o mesmo utilizado pelo grupo. Os testes primários foram feitos utilizando-se um hardware próprio da empresa. Utilizamos esse hardware como base para o desenvolvimento da nossa unidade de gerenciamento, para a parte de atuação das eletroválvulas, acrescentou-se também o controle dos sensores e outros periféricos.



**Figura 59 - Placa de controle do MCP33816.**

**Fonte: Manual do usuário Freescale (2012).**

Este Kit é conectado ao Computador através de um software chamado *SPI Gen V7.0* ou superior, o qual a *Freescale* fornece através de caráter experimental por 30 (trinta) dias, no seu próprio site.

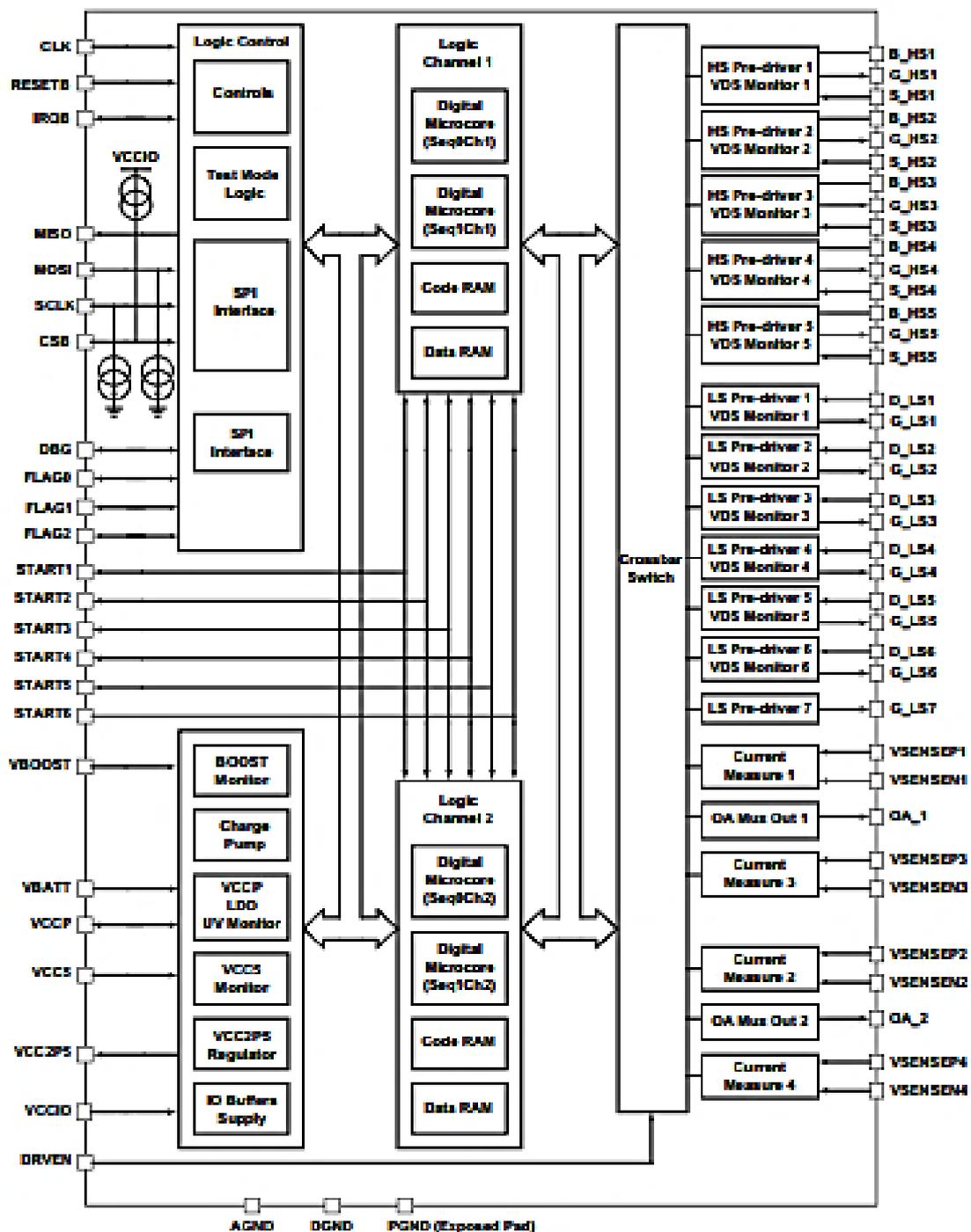


Figura 60 - Diagrama interno do MCP33816

Fonte: Datasheet MCP33816.

O driver MCP33816 da empresa Freescale, funciona como um microcontrolador, ele possui um sistema interno de processamento, armazenamento RAM, monitor de corrente, entre outras funcionalidades. Uma vez funcionando, o sistema possui uma linguagem de programação própria e

uma comunicação via SPI onde podemos comunicar com os microcontroladores do sistema. O monitor de corrente funciona como resposta para o sistema, enviando a corrente que está nas saídas, fazendo com que o microcontrolador saiba se está correta. E por último a unidade RAM serve para armazenar os valores de corrente que o driver deverá utilizar, e a mesma pode ser alterada pelo microcontrolador do sistema.

#### **4.5. Hardware.**

Para este projeto foi desenvolvido um hardware provisório que tem como função somente o acionamento das eletroválvulas, com esse hardware tivemos a base para o desenvolvimento da placa de controle, que terá com função o controle de corrente das eletroválvulas, assim como a leitura dos sensores e a atuação do driver. O segundo hardware já foi projetado e está em fase de finalização, ficará disponível para os projetos futuros, e detalhado no apêndice dessa monografia. Abordaremos a seguir o hardware que foi construído pelo grupo para o acionamento básico das eletroválvulas e também iremos falar das partes que compõem o hardware de controle, ou em outras palavras a unidade de gerenciamento desenvolvida. Com base nos sinais interpretados pelo grupo. Prevendo as atuações necessárias e as análises que os microcontroladores necessitarão fazer. O hardware foi projetado para atuar como a unidade de controle real.

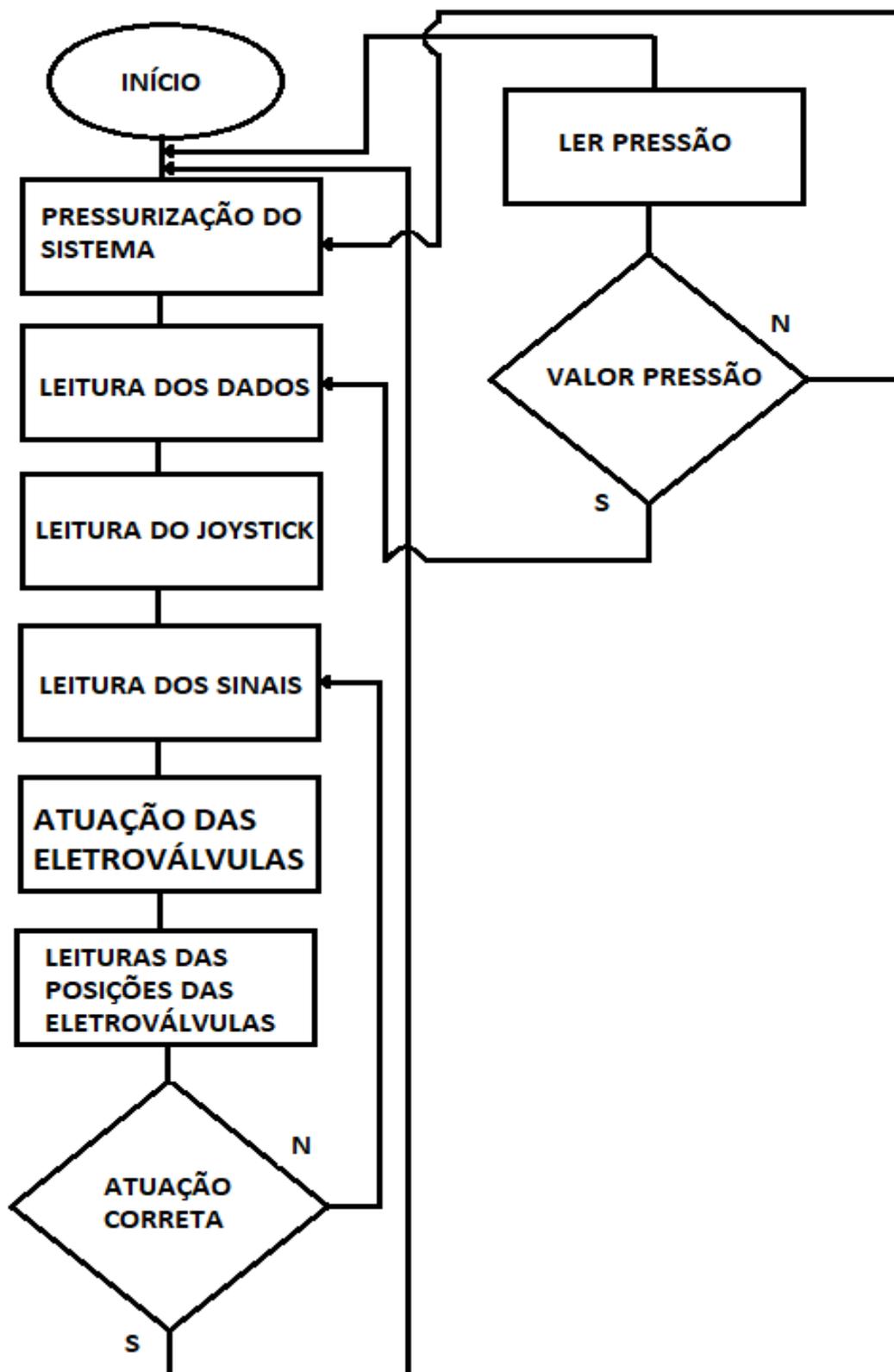


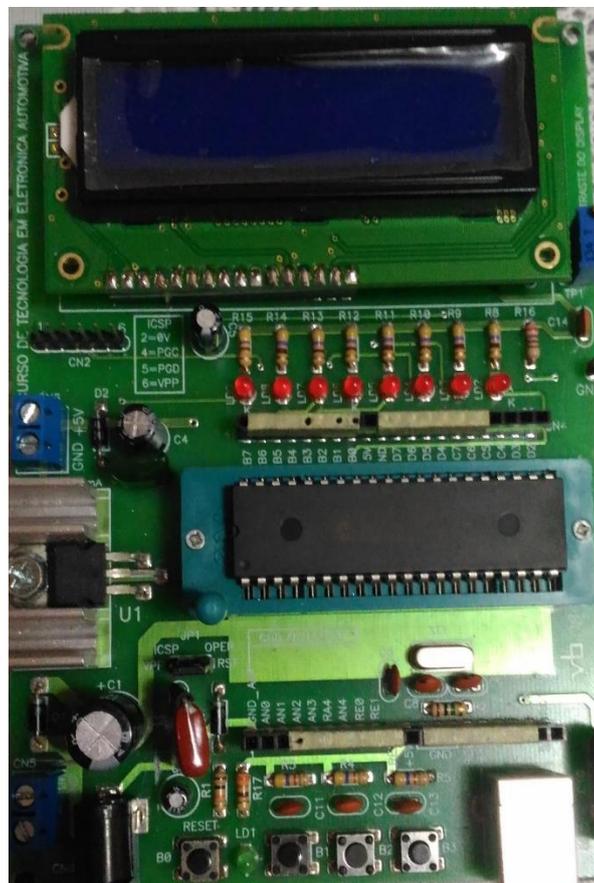
Figura 61 - Fluxograma da funcionalidade da ECU.

Fonte: Autor.

#### 4.5.1 Hardware de Acionamento das Eletroválvulas

O hardware de acionamento é composto de um circuito eletrônico que irá atuar as eletroválvulas de maneira básica sem controle de corrente, ou leitura de sinais. Ele é composto por MOSFET's, que são transistores de efeito de campo, controlados por tensão. Eles são muito comuns em circuitos de controle. E também temos relés que irão controlar o acionamento das eletroválvulas. O MOSFET recebe um sinal do microcontrolador presente no hardware padrão da Fatec desenvolvido durante o curso.

O hardware padrão desenvolvido pela faculdade possui um microcontrolador PIC18F4550. Esse microcontrolador recebe uma programação que irá atuar as eletroválvulas em sequência para simular um funcionamento de ajuste básico do sistema.

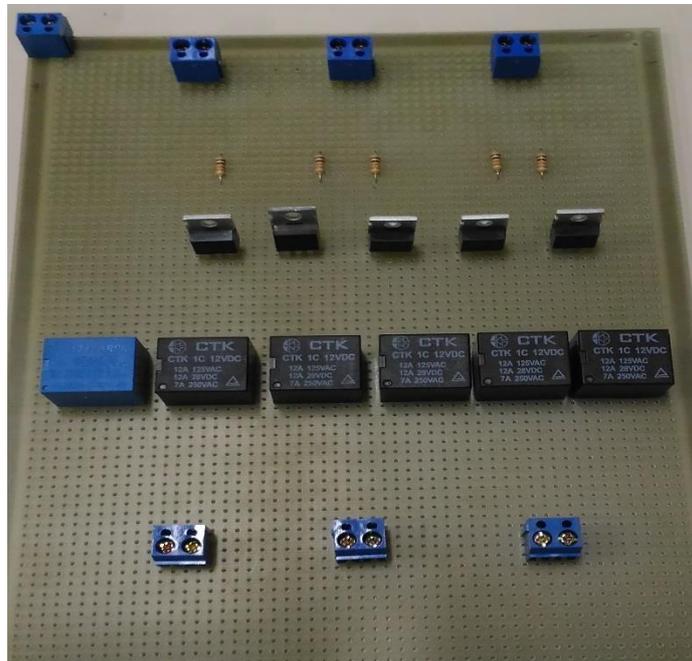


**Figura 62 - Hardware padrão da Fatec.**

**Fonte: Autor.**

O hardware é conectado a placa de acionamento e o microcontrolador acionará os Mosfet's que irão liberar a passagem de um sinal negativo para a

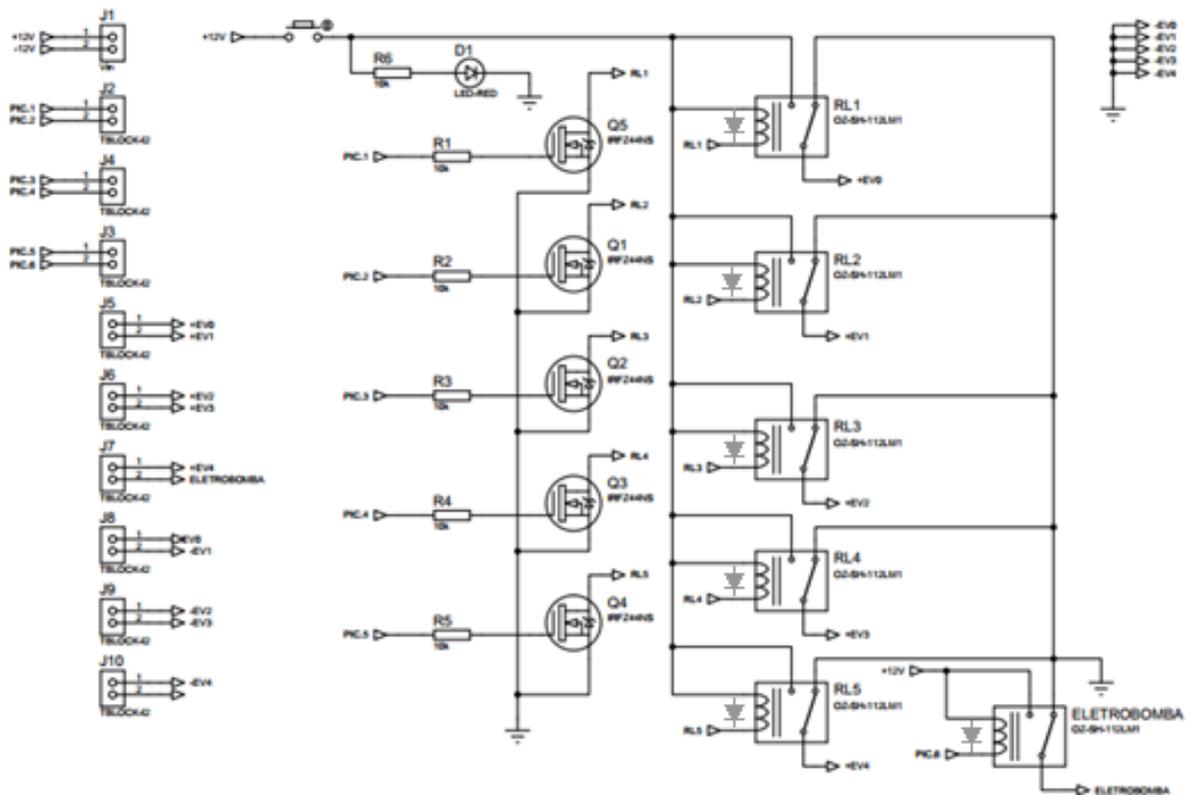
bobina do relé, esse processo fechará o circuito da bobina que está alimentada em 12V direto, a bobina irá se magnetizar e fazer o atracamento do contato passando a tensão para o terminal positivo da eletroválvula e fazendo a mesma entrar em funcionamento.



**Figura 63 - Placa de acionamento das eletroválvulas.**

**Fonte: Autor.**

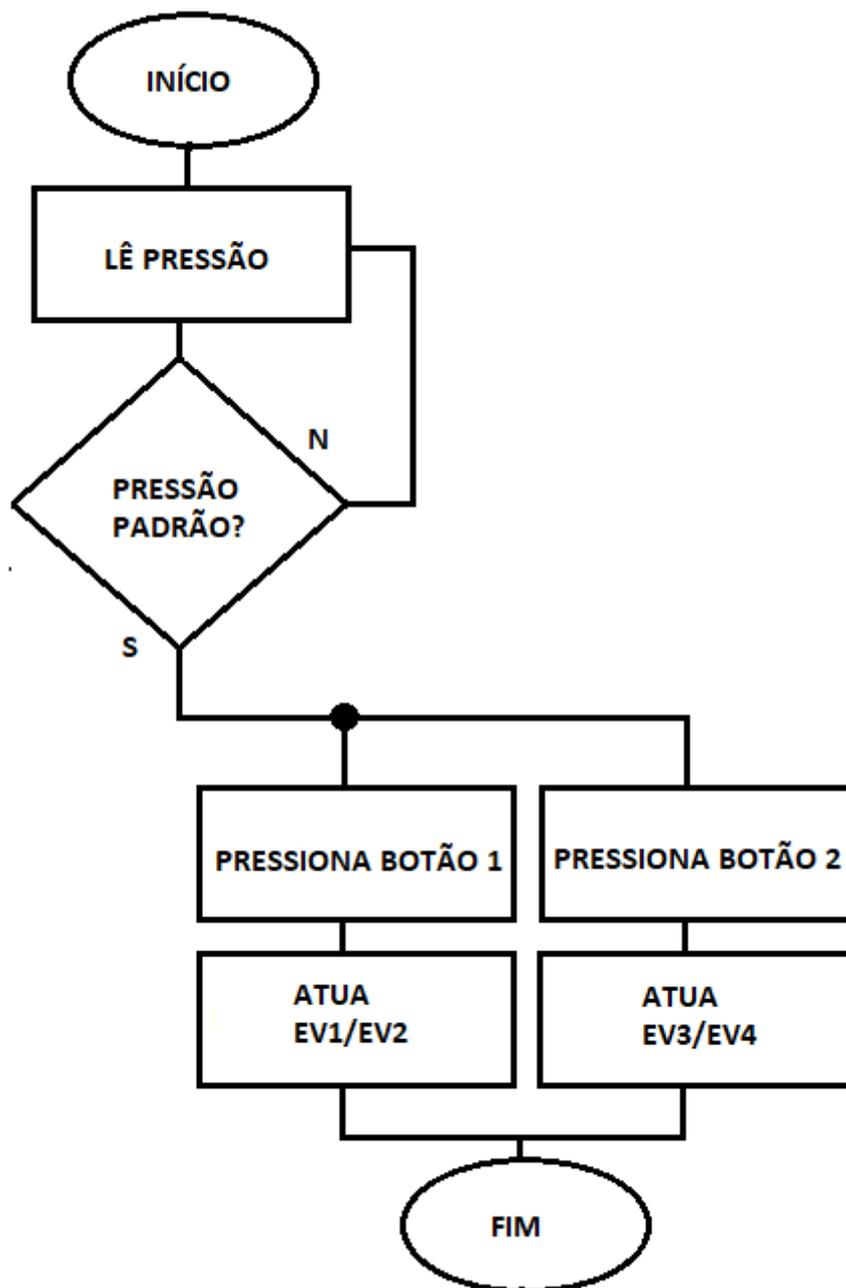
Abaixo podemos ver o esquema elétrico que foi desenvolvido pelo grupo, temos as entradas e saídas direcionadas para os bornes, e os MOSFET's IRFZ44N que suportam até 49A e 55V.



**Figura 64 - Esquema elétrico da placa de acionamento.**

**Fonte: Autor.**

Na imagem abaixo temos o fluxograma da placa de acionamento básico. Podemos ver seu funcionamento, que é sem controle de corrente, apenas realizando a atuação das eletroválvulas alternadamente.



*Figura 65 - Fluxograma da placa de acionamento básico.*

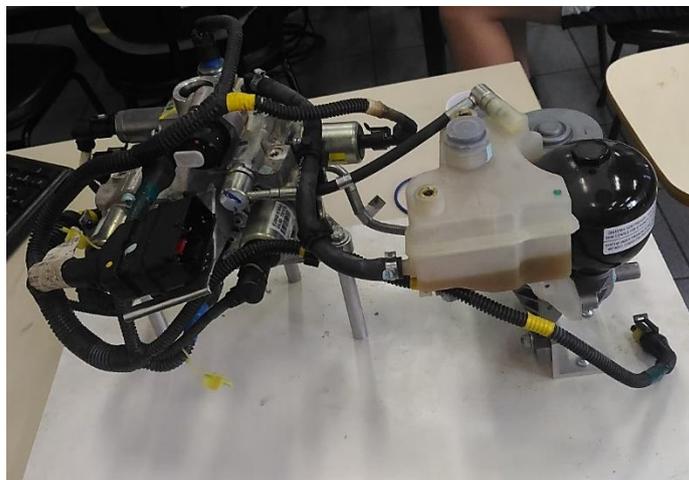
*Fonte: Autor.*

#### **4.6. BANCADA DE TESTES DIDÁTICA.**

Durante esse projeto foi desenvolvido uma bancada didática utilizando um kit mecatrônico, o modelo *Free Choice®* é o kit a ser acoplado na caixa de mudanças do veículo. Existem dois modelos, o kit acoplado nos veículos *Fiat*,

contém cinco eletroválvulas, isso por causa do tipo de troca de marchas não sequencial; já os modelos *Easytronic*® e *I-motion*®, da Chevrolet e Volkswagen, trabalham com troca de marchas sequenciais, sendo necessária somente uma eletroválvula de seleção ao invés de duas. Nesse caso a eletroválvula de seleção passa a ser do tipo controle de corrente ao invés de on-off.

Para a faculdade serão desenvolvidas duas bancadas, a primeira bancada com o Kit *Duallogic*® foi desenvolvida pelo nosso grupo e pode ser acionada através do hardware de controle e da placa de acionamento. O kit foi doado pela empresa *Magneti Marelli*, e o mesmo foram acoplados a uma bancada de madeira. E com o auxílio de uma fonte de 12V (volts) e 20A (ampères) conseguimos fazer o acionamento das eletroválvulas.



**Figura 66 - Bancada Duallogic®.**

**Fonte Autor.**

A segunda bancada está em desenvolvimento e ficará pronta para projetos futuros, ela será posicionada em uma bancada e também terá uma fonte de 12V (volts) para seu acionamento. A nova bancada contará com um sistema *I-motion*® acoplado na caixa de mudança do veículo. A mecatrônica do *I-motion*® conta com uma caixa de mudanças integrada ao kit. Assim como quando utilizado o sistema de controle de corrente, os projetos futuros poderão acionar nessa bancada as eletroválvulas para visualizar as marchas serem trocadas. O sistema *I-motion*® foi doado à faculdade pela Volkswagen do Brasil.



**Figura 67 - Sistema I-motion®.**

**Fonte: Autor.**

## **5. CONCLUSÕES PARCIAIS E FINAIS.**

Concluimos o projeto, que foi bem-sucedido dentro das propostas apresentadas no início desse trabalho. Conseguimos efetuar o acionamento das eletroválvulas com uma placa de acionamento e desenvolvemos uma bancada didática utilizando o kit *Dualogic*®. Deixamos para os futuros projetos a oportunidade de melhoria e continuidade do trabalho que foi feito até aqui. Além de contribuir para o acervo bibliográfico sobre essa área.

Tivemos também a possibilidade de aprimorar nossos conhecimentos dentro do campo das transmissões automatizadas, colocando-os em prática, assim como também nossos conhecimentos sobre acionamentos eletro-hidráulicos e de controle de sistemas.

## **6. PROJETOS FUTUROS.**

Para projetos futuros deixamos os seguintes tópicos:

1. *Desenvolvimento final da bancada I-motion®;*
2. *Finalização e confecção da placa de controle das eletroválvulas;*
3. *Desenvolvimento do software de controle das eletroválvulas.*

## 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

NATIONAL, Instruments(2012). Condicionadores de sinais. Fonte: <http://www.ni.com/white-paper/10630/pt/>.

BOSCH, Robert (2005). Manual de Tecnologia Automotiva. São Paulo: Edgard Blüncher Ltda.

FIAT, Pós-Venda (2007). Diagnóstico do Câmbio Dualogic. Belo Horizonte, MG, Brasil.

VOLKSWAGEN, Academia (2009). Transmissão Automatizada ASG. São Bernardo do Campo, SP, Brasil.

NXP. (Agosto de 2016). NXP Semiconductors . Fonte: [www.nxp.com: http://cache.nxp.com/assets/documents/data/en/datasheets/MC33816.pdf?srch=1&sr=5&pageNum=1](http://cache.nxp.com/assets/documents/data/en/datasheets/MC33816.pdf?srch=1&sr=5&pageNum=1).

INTERNATIONAL, Rectifier (s.d). Irfz44n manual. Kansas, CA, Estados Unidos.

MICROCHIP (2012). PIC18F44K22 Manual. Chandler, AZ, Estados Unidos.

BRUNETTI, Franco. Motores de Combustão Interna Volume 1, São Paulo, Edgard Blücher Ltda.2012.

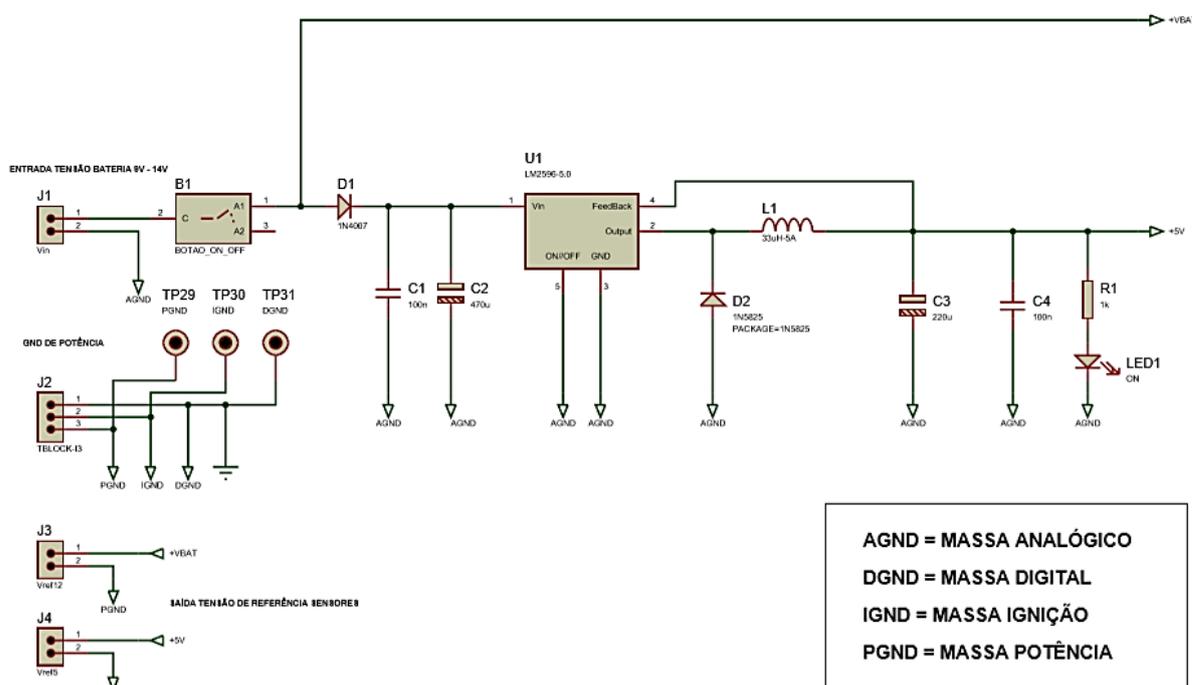
BRUNETTI, Franco. Motores de Combustão Interna Volume 2, São Paulo, Edgard Blücher Ltda.2012.

MICROCHIP (2012). MCP2515 Manual. Chandler, AZ, Estados Unidos.

## APÊNDICE A – HARDWARE DE CONTROLE DAS ELETROVÁLVULAS.

### Fonte.

A fonte retificadora está presente na placa de controle, e/ou unidade de gerenciamento, e tem como função receber +12V (volts) direto da bateria, e reduzi-lo até 5V (volts) que é a tensão de alimentação dos componentes digitais, como microcontroladores e outros CI's (Circuito Integrado). Mas a mesma também consegue fornecer +12V (volts) para as eletroválvulas e separar os negativos digitais e de potência. Para evitarmos interferências no sistema.



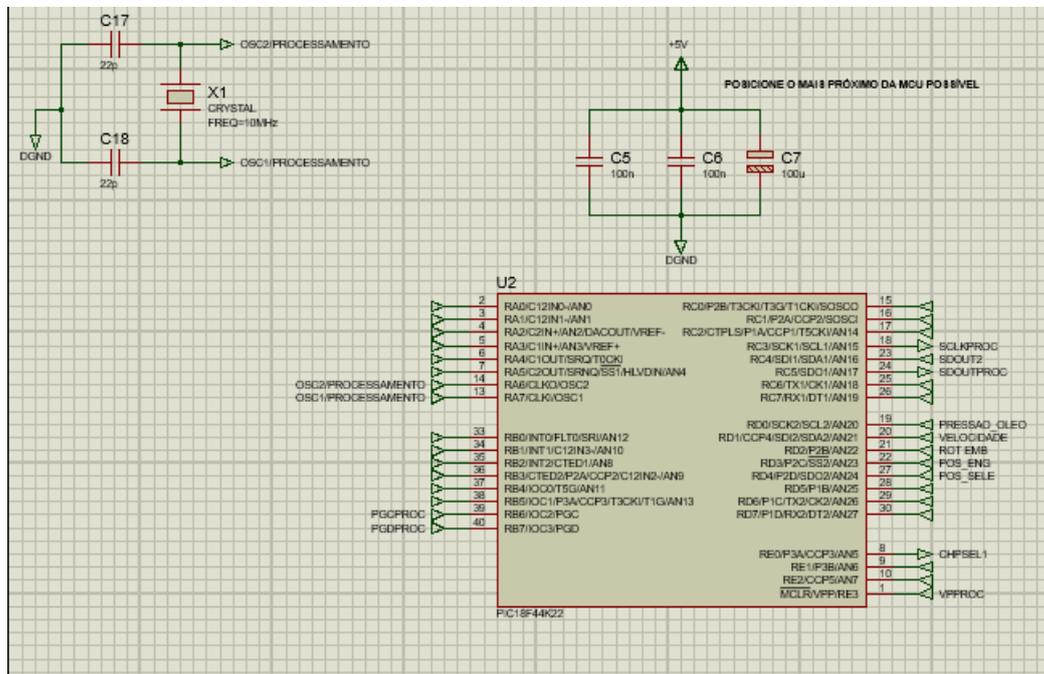
### Regulador de tensão.

Fonte: Autor.

Como podemos observar na imagem acima o circuito recebe +12V (volts) vindos da bateria, os mesmos passam por um regulador de tensão que reduz a tensão para +5V, tensão que irá atuar os componentes mais sensíveis da placa. Os pontos de aterramento foram separados para não haver uma interferência entre os sinais do circuito, o massa de ignição foi separado dos demais, pois dentro do veículo o mesmo é o que mais gera interferência.

## Microcontrolador de Processamento.

O microcontrolador de processamento terá como função fazer a leitura e o processamento de dados complexos. Dados complexos foram definidos pelo grupo como sinais analógicos, ou que variam muito em um período de tempo, são sinais que requerem um processamento e um tratamento feito pelo próprio microcontrolador.

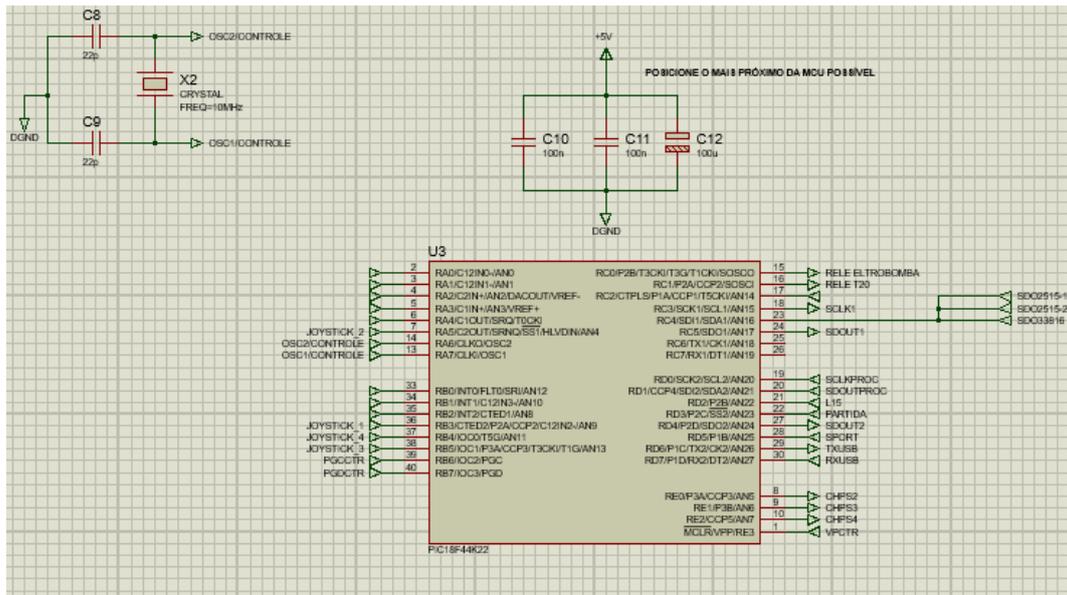


**Microcontrolador de processamento.**

**Fonte: Autor.**

## Microcontrolador de Controle.

O microcontrolador de controle recebe sinais não complexo, por exemplo, pulsos digitais como o botão de freio ou interruptor do botão sport. Ele além de processar dados e através de uma conexão SPI emitirá um comando para o driver MCP33816, que será responsável por atuar as eletroválvulas. O mesmo também tem a função de receber os dados via *rede can*. O mesmo ainda mantém uma comunicação com o microcontrolador de processamento.



**Microcontrolador de Controle.**

**Fonte: Autor.**

## Condicionadores de sinais.

Os sensores se tornam mais comuns à medida que temos uma evolução da tecnologia, em veículos automotores são inúmeras as aplicações dos sensores e os diferentes locais em que eles são dispostos. Ao passo que os sensores evoluem, seus sinais se tornam mais complexos para poderem medir e proporcionar um sinal com mais exatidão, ou seja, mas perto da condição real imposta. Para ser feita a leitura desses sinais, seja por uma placa de aquisição ou por um microcontrolador, o mesmo precisa de um tratamento. O sinal é submetido a um circuito que por sua vez irá tratar o dado recebido de modo que o microcontrolador possa interpretá-lo. Os condicionamentos podem ser dos seguintes tipos: *Amplificação*, *Atenuação*, *Isolação*, *Filtragem*, *Excitação*, *Linearização*, *CJC*, e *Contemplação de ponte*.

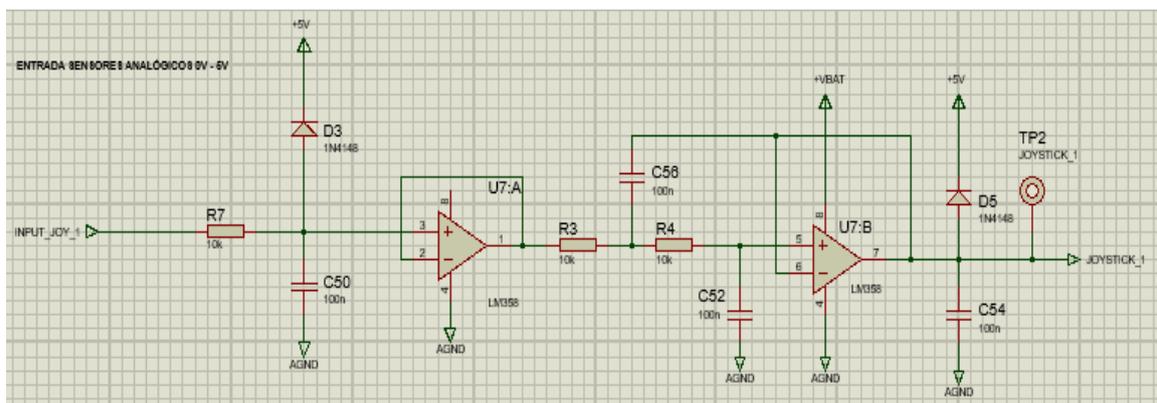
	Amplificação	Atenuação	Isolação	Filtragem	Excitação	Linearização	CJC	Completação de ponte
Termopar	✓		✓	✓		✓	✓	
Termistor	✓		✓	✓	✓	✓		
RTD	✓		✓	✓	✓	✓		
Strain Gage	✓		✓	✓	✓	✓		✓
Carga, pressão e torque (mV/V)	✓		✓	✓	✓	✓		
Carga, pressão e torque ( $\pm 5$ V, $\pm 10$ V, 4-20 mA)	✓		✓	✓	✓	✓		
Acelerômetro	✓		✓	✓	✓	✓		
Microfone	✓			✓	✓	✓		
Proxímetro	✓			✓	✓	✓		
LVDT/RVDT	✓		✓	✓	✓	✓		
Alta tensão		✓	✓					

**Condicionamento de sinais para tipos de sensores.**

**Fonte: National Instruments.**

Como podemos ver na imagem acima existem diferentes tipos de sensores e cada um precisa de um condicionamento diferente. No nosso sistema utilizamos condicionamentos do tipo *Linearização*, *Atenuação* e *Amplificação*. O condicionamento foi feito de acordo com o tipo de sinal medido.

### Condicionadores Analógicos.



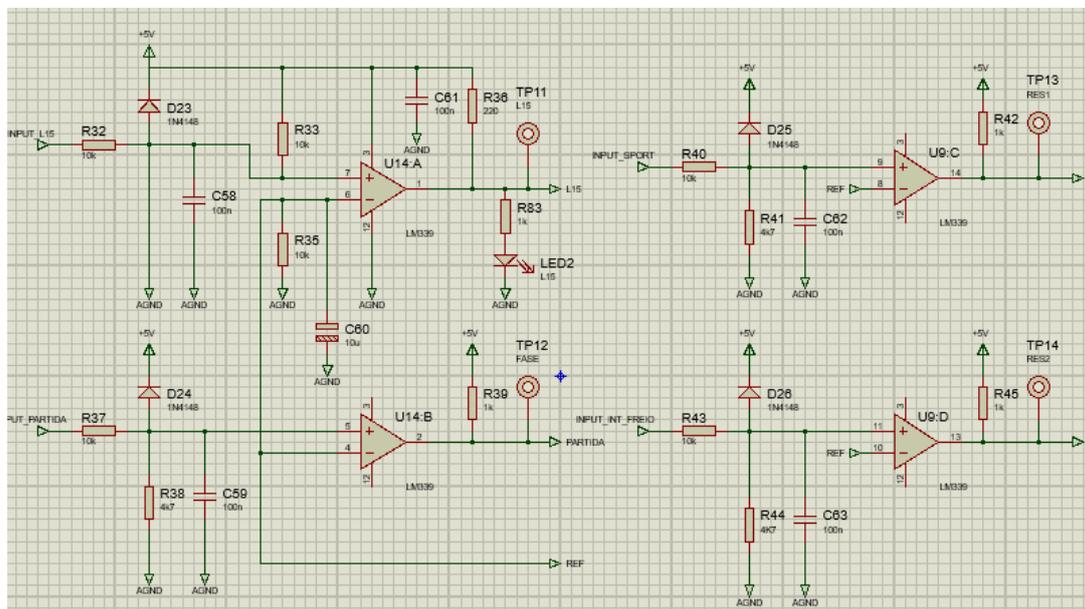
**Condicionador analógico.**

**Fonte: Autor.**

Os condicionadores analógicos leem sinais que variam no tempo e apresentam formato analógico. Todo sinal analógico por definição são sinais contínuos que variam no tempo, esses sinais serão processados pelo microcontrolador de processamento, pois necessitam de uma constante verificação de estado, por terem essa variação no tempo os mesmos podem não apresentar um padrão de estado.

O sinal inicialmente passa por um divisor de tensão composto pelo conjunto resistor e diodo que estão no início, o divisor serve para manter a tensão estável já que o sinal é dos sensores não é maior que 5V (volts) servindo de atenuação. Em seguida o sinal é passado por um amplificador operacional, o mesmo irá proporcionar um ganho ao sinal. O resultado final será um sinal quadrado proporcional em tempo e em tensão ao sinal analógico.

### Condicionadores Digitais.



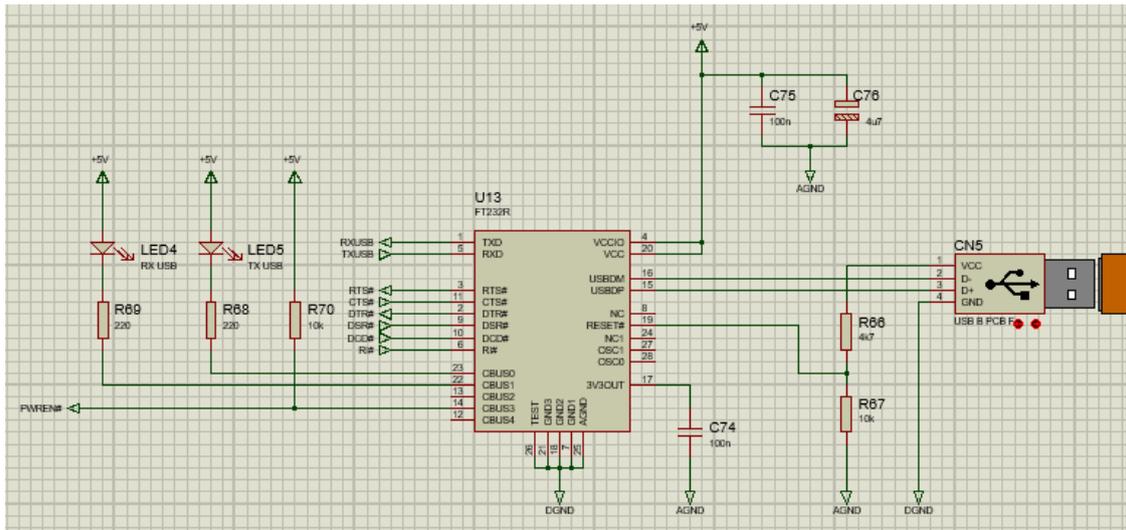
**Condicionadores digitais.**

**Fonte: Autor.**

Os condicionadores digitais medem os sinais digitais presentes no veículo, os mesmo por definição são sinais que variam amplitude, frequência de uma maneira discreta, ou seja, descontinuada. Por isso são sinais que tem um grau de dificuldade para sua leitura, os sinais variam seu estado de acordo com algum acontecimento no sistema, seu processamento é mais fácil, pois o



## Interface USB.



**Interface de comunicação USB.**

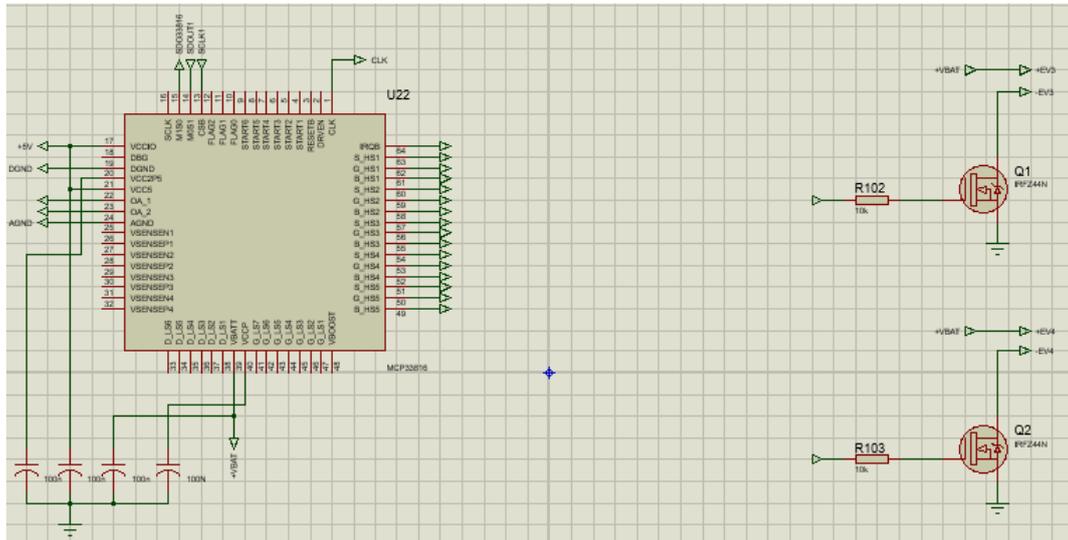
**Fonte: Autor.**

A interface de comunicação USB tem a única função de comunicar o hardware com o computador para que seja possível a atualização das versões de software, uma vez que a placa comunica com o computador, utilizaremos um programa de compilação para transpassar a programação criada pelo grupo para o hardware.

## Atuadores.

Nessa parte do hardware está contido o driver de acionamento das eletroválvulas, o MCP33816. O mesmo irá atuar as eletroválvulas de controle de corrente, ele tem ainda a função de controlar a corrente através de um PWM próprio e monitorar a corrente, fornecendo um sinal de retorno indicando sua condição de trabalho, não conseguiríamos manter um controle tão preciso da corrente de atuação das eletroválvulas sem a utilização do MCP33816.

As eletroválvulas do tipo on e off, serão controladas por um circuito atuado por transistores, os transistores utilizados pelo grupo são os IRFZ44N, os mesmos são capazes de atuar com correntes de até 49A, e se enquadram a necessidade das eletroválvulas.

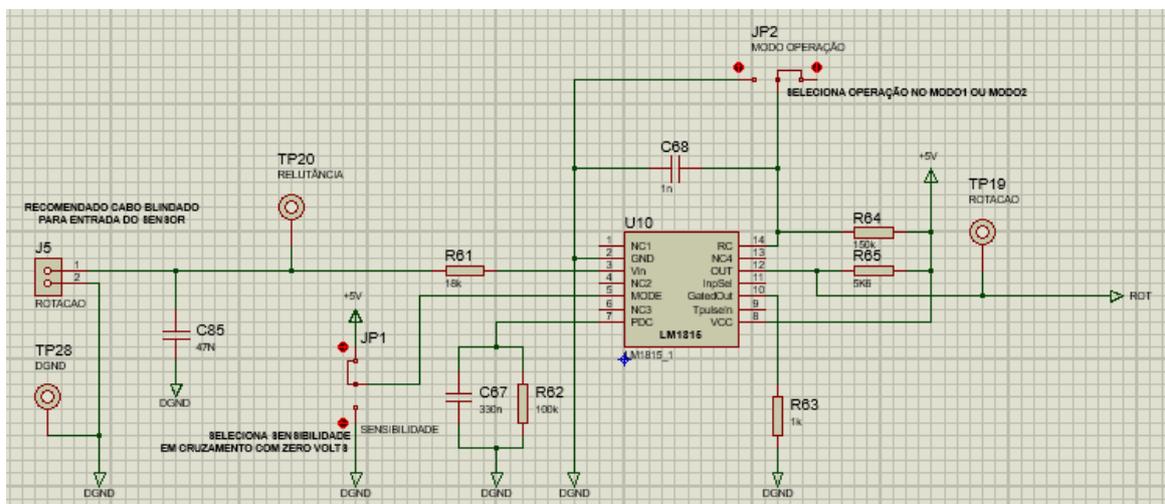


**Circuito do atuador das eletroválvulas.**

**Fonte: Autor.**

### Outros Componentes do Hardware.

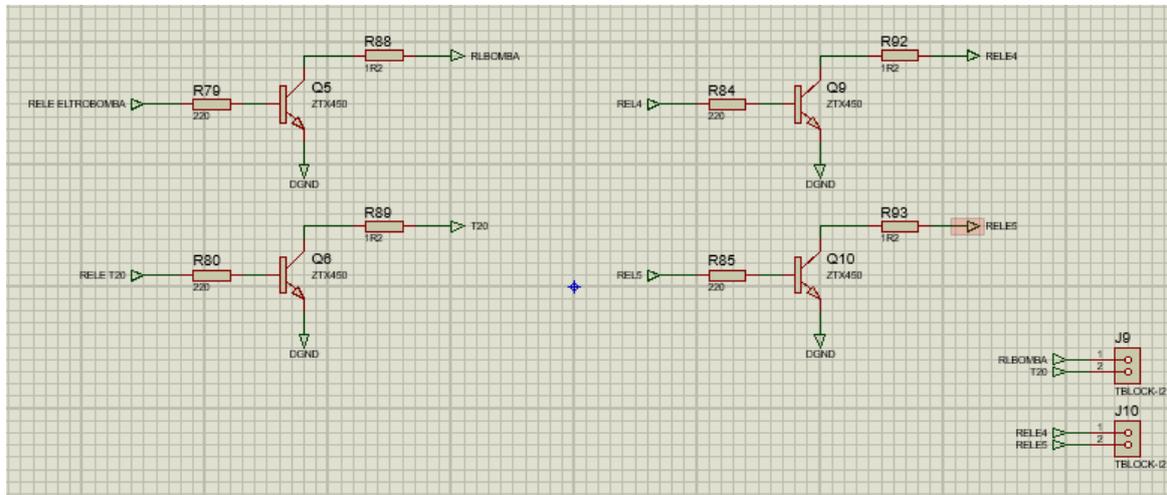
Utilizamos o LM1816 para fazer o condicionamento do sinal de rotação da embreagem. Isso se deve porque o sistema envia via rede CAN o sinal de rotação da árvore primária, o próprio sistema *Dualogic*® monitora a rotação da embreagem, fazendo um comparativo entre os dois sinais podemos verificar se há patinação entre a embreagem e a árvore primária.



**Condicionador da rotação de embreagem.**

**Fonte: Autor.**

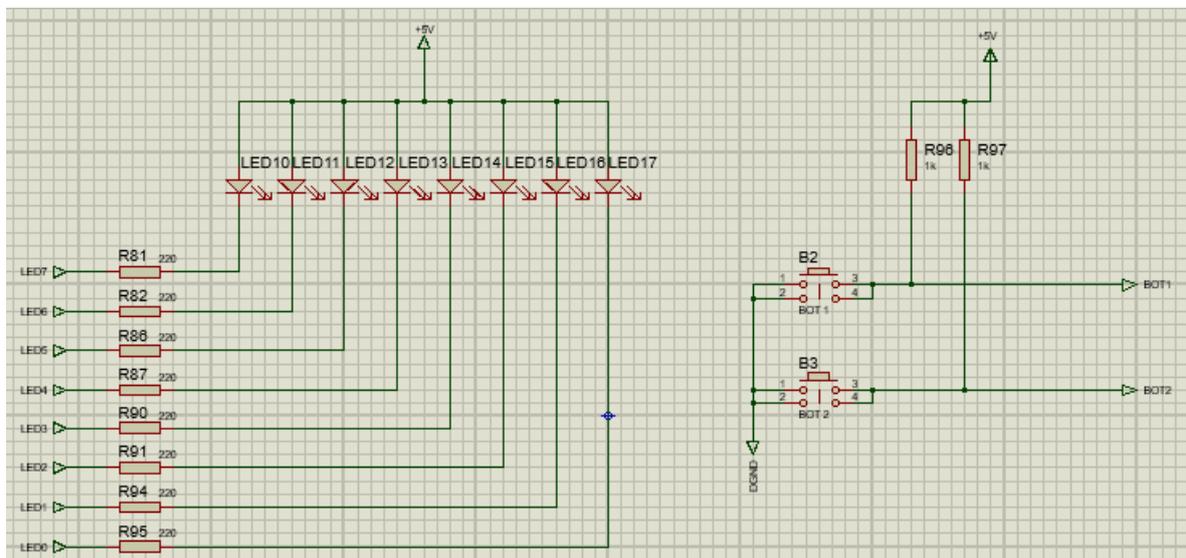
Outro ponto importante são as interfaces dos relés, uma parte dedicada da placa preparada para acionar até quatro relés. Dentro do sistema temos o relé da eletrobomba que é ativado pelo próprio módulo. Esse conjunto de acionamento é composto por um conjunto diodo e resistores, que irão acioná-los através de um comando do microcontrolador.



**Interface de acionamento dos relés.**

**Fonte: Autor.**

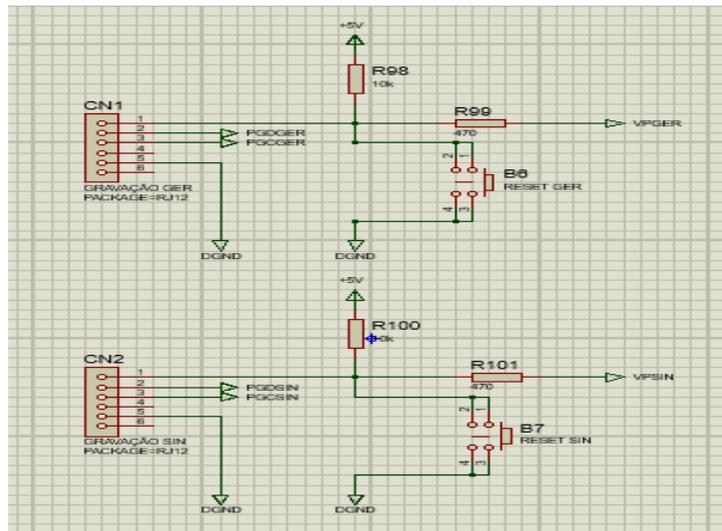
Temos na placa também uma parte dedicada para sinalização, onde utilizamos led's. Em conjunto com a sinalização temos também alguns botões, prevendo a necessidade de um acionamento em relação à bancada de testes. Botões que possam simular o interruptor de freio, porta e de modo sport.



### Circuito de sinalização e botões.

Fonte: Autor.

A última parte da placa é a gravação *in-circuit*, onde na própria placa temos a possibilidade de fazer uma gravação de programa sem a necessidade de um bootloader.



### Módulo de gravação *in-circuit*.

Fonte: Autor.