

**CENTRO PAULA SOUZA**  
**FATEC SANTO ANDRÉ**  
**Tecnologia em Eletrônica Automotiva**

**Arthur Ferreira Rodrigues**  
**Rafael Daniel Nascimento de Oliveira**

**PLATAFORMA DIDÁTICA DE SIMULAÇÃO DE VEÍCULO HÍBRIDO**

**Santo André**  
**2025**

**Arthur Ferreira Rodrigues  
Rafael Daniel Nascimento de Oliveira**

## **PLATAFORMA DIDÁTICA DE SIMULAÇÃO DE VEÍCULO HÍBRIDO**

Trabalho de Conclusão de Curso Apresentado ao Curso de Tecnologia em Eletrônica Automotiva da Fatec Santo André, orientado pelo Prof. Marco Aurelio Fróes, como requisito parcial para obtenção do título de Tecnólogo em Eletrônica Automotiva.

**Santo André  
2025**

## FICHA CATALOGRÁFICA

R696p

Rodrigues, Arthur Ferreira

Plataforma didática de simulação de veículo híbrido / Arthur Ferreira Rodrigues, Rafael Daniel Nascimento de Oliveira. - Santo André, 2025. – 71f: il.

Trabalho de Conclusão de Curso – FATEC Santo André.  
Curso de Tecnologia em Eletrônica Automotiva, 2025.

Orientador: Prof. Marco Aurélio Fróes

1. Eletrônica. 2. Veículo híbrido. 3. Plataforma didática. 4. Tecnologia. 5. Motores de Combustão Interna. 6. Sistemas eletrônicos. 7. Circuitos elétricos. 8. Gerenciamento. 9. Dinamômetro Baterias veiculares. I. Oliveira, Rafael Daniel Nascimento de. II. Plataforma didática de simulação de veículo híbrido.

## LISTA DE PRESENÇA

Santo André, 06 de dezembro de 2025.

LISTA DE PRESENÇA REFERENTE À APRESENTAÇÃO DO  
TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO COM O TEMA:  
"PLATAFORMA DIDÁTICA DE SIMULAÇÃO DE VEÍCULO HÍBRIDO" DOS  
ALUNOS DO 6º SEMESTRE DESTA U.E.

**BANCA**

PRESIDENTE:

PROF. MARCO AURÉLIO FRÓES \_\_\_\_\_

MEMBROS:

PROF. FERNANDO GARUP DALBO \_\_\_\_\_

PROF. EDSON CAORU KITANI \_\_\_\_\_

**ALUNOS:**

ARTHUR FERREIRA RODRIGUES \_\_\_\_\_

RAFAEL DANIEL NASCIMENTO DE OLIVEIRA \_\_\_\_\_

Arthur Ferreira Rodrigues

Em especial a minha mãe Maria Eudite Alves  
Ferreira e família.

Rafael Daniel Nascimento de Oliveira

Em especial aos meus pais Adalberto  
Fernandes De Oliveira e Relza Maria Do  
Nascimento Oliveira.

## **AGRADECIMENTO**

Em nome da dupla, agradecemos à instituição Fatec Santo André pelo suporte e pela estrutura disponibilizada ao longo da nossa formação. Manifestamos nossa gratidão ao Professor Marco Aurélio Fróes e ao Professor Fernando Garup Dalbo, cujas orientações e apoio foram fundamentais durante o desenvolvimento do projeto. Agradecemos também a todos os professores e colegas de classe que, ao longo do curso, contribuíram diretamente ou indiretamente com incentivo, colaboração e troca de conhecimentos. Registramos um agradecimento especial ao Professor Edson Caoru Kitani, que forneceu o servo motor DC e o inversor utilizados neste projeto, além de oferecer excelentes orientações técnicas que foram essenciais para o avanço e a conclusão deste trabalho.

“Tem quem fica a ver navios e quem chega longe de jangada”

Djonga

## RESUMO

A definição deste projeto pelo grupo ocorreu como desafio de colocar em prática os conhecimentos obtidos durante o curso de Tecnologia em Eletrônica Automotiva, com propósito de implementar uma plataforma didática de simulação de veículo MHEV (*Mild-Hybrid Electric Vehicle*) em uma bancada didática. Utilizando uma combinação de um motor a combustão interna, um servo motor de corrente contínua e um driver para gerenciar a partida e controle de rotação durante a partida utilizando o motor elétrico. Para o sistema de recarregamento utilizamos uma ponte de diodos para direcionarmos o fluxo da corrente elétrica para o recarregamento das baterias. Este projeto pretende contribuir com a instituição Fatec Santo André ao fornecer um modelo experimental para estudos acadêmicos e desenvolvimento de novas pesquisas na área de eletrificação veicular, sustentabilidade, eficiência energética e sistemas elétricos, além de possibilitar aprimoramento na integração entre motores de combustão interna e elétricos e gerenciamento de sistemas eletrônicos para controle de emissões de poluentes.

**Palavras-chave:** Eletrônica. Motores. Eficiência. Sistemas. Combustão. Elétrica. Emissões. Integração.

## ABSTRACT

The definition of this project by the group arose as a challenge to put into practice the knowledge acquired during the Automotive Electronics Technology course, with the purpose of implementing a didactic platform for simulating an MHEV (Mild Hybrid Electric Vehicle) on a teaching bench. A combination of an internal combustion engine, a direct current servo motor, and a driver is used to manage engine starting and speed control during startup using the electric motor. For the recharging system, a diode bridge is used to direct the flow of electric current for battery recharging. This project aims to contribute to the Fatec Santo André institution by providing an experimental model for academic studies and the development of new research in the areas of vehicle electrification, sustainability, energy efficiency, and electrical systems. Additionally, it enables improvements in the integration between internal combustion and electric motors, as well as in the management of electronic systems for controlling pollutant emissions.

**Keywords:** Electronics. Motors. Efficiency. Systems. Combustion. Electrical. Emissions. Integration.

## LISTA DE ILUSTRAÇÃO

Figura 1 - Toyota Prius 1997 .....	13
Figura 2- Classificação de máquinas elétricas.....	21
Figura 3- Arranjo topológico para um trem de acionamento de veículo elétrico híbrido série .....	22
Figura 4 - Arranjo topológico para um trem de acionamento de veículo elétrico híbrido paralelo	23
Figura 5 - Arranjo topológico para um trem de acionamento de veículo elétrico híbrido série- paralelo .....	24
Figura 6 - Diagrama de blocos de um sistema de controle com componentes e sinais.....	25
Figura 7- Ilustração do sinal PWM.....	29
Figura 8 - Diagrama ponte H.....	30
Figura 9 - Sensor de posição da borboleta (TPS).....	32
Figura 10 - Sensor de Rotação do motor .....	33
Figura 11 - Sensor de temperatura (NTC).....	33
Figura 12 - Sensor de Pressão Absoluta do Coletor (MAP).....	34
Figura 13 - Tendência de desenvolvimento de veículos nos próximos anos.....	36
Figura 14 - Diagrama de blocos do projeto .....	39
Figura 15 - Bancada didática .....	40
Figura 16 – Diagrama elétrico geral da bancada didática .....	41
Figura 17 - Servo Motor DC SEM MT30M4.....	42
Figura 18 – Diagrama do conector do servo motor .....	42
Figura 19 - Motor GX 120.....	43
Figura 20 – Ponte retificadora de diodos do alternador Bosch F000BL2136 12V .....	44
Figura 21 - Baterias ligadas em série 48 V.....	45
Figura 22- Polia Damper .....	46
Figura 23 - Correia de transmissão.....	47
Figura 24 - <i>Layout</i> do Sistema Paralelo .....	48
Figura 25 - Eixo Mancal.....	49
Figura 26 - Potenciômetro linear .....	50
Figura 27 - Comutador de ignição.....	51
Figura 28 - Servo Drive Reliance Electro-Craft MAX-400 .....	52

Figura 29 – Diagrama geral do Servo Drive Reliance Electro-Craft MAX-400.....	53
Figura 30 - Baterias ligadas em série 48 V.....	65

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1- VE e VHE e seus nomes alternativos .....	17
Tabela 2- Vantagens e desvantagens dos veículos elétricos híbridos.....	19

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

A	Ampere
AWD	<i>All-Wheel Drive</i>
CA	Corrente alternada
CC	Corrente continua
CPU	<i>Central Processing Unit</i>
DC	<i>Direct Current</i>
DCT	<i>Dual Clutch Transmission</i>
ECU	<i>Electronic Control Unit</i>
IAT	<i>Intake Air Temperature</i>
PHEV	<i>Plug-in Hybrid Electric Vehicle</i>
PMSM	<i>Permanent Magnet Synchronous Motor</i>
PWM	<i>Pulse Width Modulation</i>
MAP	<i>Manifold Absolute Pressure</i>
ME	Motor Eléctrico
MCI	Motor de Combustão Interna
MHEV	<i>Mild-Hybrid Electric Vehicle</i>
NTC	<i>Negative Temperature Coefficient</i>
RPM	Rotações Por Minuto
TCU	<i>Transmission Control Unit</i>
TPS	<i>Throttle Position Sensor</i>
V	Volt
VE	Veículo Eléctrico
VEH	Veículo Eléctrico Híbrido

## LISTA DE SÍMBOLOS

$\Omega$	Ohm
$\mu$	Micro
%	Porcentagem

## Sumário

1.1 Objetivo.....	14
1.2 Justificativa .....	14
1.3 Conteúdo .....	15
<b>2.FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA .....</b>	<b>16</b>
2.1 Veículos híbridos .....	16
2.1.1 Principais tipos de veículos híbridos .....	16
2.1.2 Vantagens dos veículos híbridos .....	18
2.1.3 Desafios dos veículos híbridos .....	18
2.2 Arquitetura de sistemas híbridos .....	20
2.2.1 Sistemas híbridos em série, paralelo e série-paralelo .....	20
2.3. Motor elétrico .....	26
2.3.1 Integração entre motor elétrico e motor a combustão .....	26
2.3.2 Baterias (tipos, características e gestão) .....	26
2.3.3 Inversores e conversores .....	26
2.3.4 Sistema de frenagem regenerativa .....	27
2.3.5 Transmissão e acoplamento .....	27
2.4 Fundamentos de eletrônica aplicada .....	28
2.4.1 Corrente contínua (CC) e alternada (CA).....	28
2.4.2 Comutação eletrônica e drivers .....	28
2.4.3 Modulação por largura de pulso (PWM) .....	29
2.5 Sistemas de controle embarcado .....	31
2.5.2 Atuadores .....	34
2.5.3 Comunicação entre sistemas.....	35
2.5.4 Protocolos de comunicação .....	35
2.5.5 Interface homem-máquina em plataformas didáticas .....	35
2.6 Impactos ambientais.....	35
2.6.1 Tendências .....	36
2.6.2 Eficiência energética e autonomia.....	37
3.1 Planejamento do projeto .....	39
3.2 Bancada didática.....	40
3.3 Servo motor DC SEM MT30M4-24.....	42
3.4 Motor a combustão interna GX 120 Honda .....	43

<b>3.5 Sistema de retificação do recarregamento regenerativo .....</b>	<b>44</b>
3.6 Baterias de chumbo-ácido .....	45
<b>3.7 Polia amortecedora de vibrações (Polia Damper).....</b>	<b>46</b>
<b>3.8 Sistema de transmissão por correia .....</b>	<b>47</b>
<b>3.9 Integração do sistema .....</b>	<b>48</b>
<b>3.10 Eixo mancal .....</b>	<b>49</b>
<b>3.11 Potenciômetro linear .....</b>	<b>50</b>
<b>3.12 Comutador de ignição DNA 4402.....</b>	<b>51</b>
<b>3.13 Servo drive reliance electro-craft MAX-400 .....</b>	<b>52</b>
<b>4.1 Sistema de partida .....</b>	<b>54</b>
<b>4.2 Desempenho do motor elétrico .....</b>	<b>54</b>
<b>4.3 Consumo de energia.....</b>	<b>54</b>
<b>4.4 Análise de eficiência da máquina elétrica .....</b>	<b>55</b>
<b>4.5 Gerenciamento de energia .....</b>	<b>55</b>
<b>5. CONSIDERAÇÕES FINAIS. ....</b>	<b>56</b>
<b>PROPOSTAS FUTURAS .....</b>	<b>56</b>
<b>Implementação de um microcontrolador para recarga em desaceleração e frenagem.....</b>	<b>56</b>
<b>Controle do regime de carga através da rotação do motor elétrico.....</b>	<b>57</b>
<b>Controle da rotação do motor elétrico em função do regime de carga .....</b>	<b>57</b>
<b>Comunicação entre o MCI e o sistema elétrico .....</b>	<b>58</b>
<b>Implementação do sistema de gerenciamento de baterias (BMS).....</b>	<b>58</b>
<b>Análise do modo de regeneração.....</b>	<b>58</b>
<b>Redução do consumo de combustível (Modo de assistência) .....</b>	<b>59</b>

## INTRODUÇÃO

Os veículos híbridos combinam duas ou mais fontes de energia, como um motor a combustão interna e um motor elétrico, com o objetivo de melhorar a eficiência energética e reduzir as emissões de poluentes. Sua história, que começou no século XIX, evoluiu em busca de soluções mais eficientes e sustentáveis para o meio ambiente. Embora tenha enfrentado períodos de declínio, o conceito de veículos híbridos ressurgiu com força a partir da década de 1990, quando a produção em massa se consolidou, com destaque para modelos como o Toyota Prius ilustrado na figura 1. Desde então, o desenvolvimento dessa tecnologia tem se tornado cada vez mais relevante, impulsionado pela demanda por alternativas que minimizem o impacto ambiental no setor automotivo. (Ferreira, Dias, 2021).

Este trabalho propõe uma plataforma didática de simulação de um veículo híbrido, utilizando uma bancada que integra um motor a combustão interna e um propulsor elétrico fornecendo uma ferramenta prática para a compreensão, pesquisa e desenvolvimento de sistemas híbridos, alinhados aos avanços tecnológicos no setor automotivo. Ao simular o funcionamento de um veículo híbrido, a plataforma permite uma análise mais aprofundada dos benefícios dessa tecnologia.

Figura 1 - Toyota Prius 1997



Fonte: Carmo, 2023

Além de sua aplicação prática, a plataforma oferece um ambiente de aprendizado teórico, experimental e interativo, onde estudantes e profissionais têm a oportunidade de explorar as vantagens e os desafios dos sistemas híbridos. Essa ferramenta também promove o desenvolvimento de novas soluções e a formação acadêmica de futuros tecnólogos em Eletrônica Automotiva, contribuindo para a criação de soluções mais sustentáveis para o transporte não apenas refletindo as tendências

atuais da indústria automotiva, mas também se projeta como uma ferramenta essencial no impulso ao conhecimento e à inovação no setor.

### **1.1 Objetivo**

Desenvolver uma plataforma didática experimental de um sistema híbrido automotivo na unidade Fatec Santo André, com o propósito de proporcionar uma ferramenta prática de ensino que possibilite aos alunos a análise comparativa entre diferentes tipos de motores, a avaliação da eficiência energética e volumétrica e do desempenho em testes reais, bem como o estudo para comparação dos impactos ambientais em relação aos veículos convencionais, promovendo assim o aprofundamento técnico e incentivo do desenvolvimento de futuras inovações tecnológicas.

### **1.2 Justificativa**

O desenvolvimento e a produção de veículos híbridos têm se expandido consideravelmente nos últimos anos, refletindo uma tendência global em direção à sustentabilidade e à eficiência energética no setor automotivo. Essa evolução tecnológica abre novas oportunidades, mas também impõe desafios significativos, principalmente no que se refere à capacitação dos profissionais que atuam no setor. A escassez de conhecimentos especializados sobre os sistemas híbridos, associados à complexidade desses sistemas, tem gerado dificuldades. Contudo torna-se essencial a criação de novas metodologias de ensino que aproximem a teoria da prática. Nesse contexto, a utilização de plataformas de simulação didática, voltadas para o estudo de veículos híbridos, surge como uma ferramenta importante para o aperfeiçoamento desses profissionais.

O desenvolvimento de uma plataforma de simulação didática tem como objetivo proporcionar aos estudantes e profissionais uma experiência prática no estudo e na aplicação de conceitos relacionados à mobilidade sustentável e a hibridização. Essa inovação educacional é justificada pela crescente demanda por profissionais capacitados, que possam atender às exigências do mercado de trabalho, cada vez mais voltado para soluções tecnológicas. Além disso, é necessário alinhar a formação acadêmica às tendências de mobilidade sustentável, que se configuram como um dos principais vetores do futuro do setor automotivo. Ao proporcionar um ambiente de aprendizado mais dinâmico e interativo, a plataforma facilitará a compreensão de sistemas híbridos, capacitando os profissionais para enfrentar os desafios tecnológicos do futuro e atendendo às necessidades emergentes do mercado.

### **1.3 Conteúdo**

O presente trabalho tem como objetivo desenvolver e implementar uma plataforma didática e experimental de simulação de veículo híbrido para a Fatec Santo André, com foco em enriquecer o processo de ensino-aprendizagem na área da tecnologia automotiva. A iniciativa visa suprir a ausência de recursos práticos no ambiente acadêmico, proporcionando aos alunos uma ferramenta interativa capaz de simular de forma realista o funcionamento de sistemas híbridos veiculares. O projeto tem como objetivo final a concepção e construção de uma bancada de simulação funcional, composta por um motor a combustão, um servomotor representando o sistema elétrico e a eletrônica embarcada responsável pela integração, controle e gerenciamento dos dois sistemas. Através dessa estrutura, será possível realizar análises comparativas entre diferentes tipos de motorização híbrida, avaliar a eficiência energética, o desempenho em diversas condições operacionais e os impactos ambientais em relação aos veículos convencionais. Além disso, o projeto busca estimular o pensamento crítico, a pesquisa aplicada e o desenvolvimento de soluções inovadoras, alinhadas às tendências tecnológicas e sustentáveis do setor automotivo, contribuindo para uma formação técnica mais completa e conectada às demandas do mercado de trabalho atual e futuro.

## 2.FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Neste capítulo iremos apresentar os fundamentos teóricos para o desenvolvimento deste projeto. Trazendo conceitos de uma bancada didático do funcionamento híbrido, tipos de sistemas híbridos, servo motor, motor de combustão interna (MCI), ponte de diodos e Driver para o controle de motores elétricos.

### 2.1 Veículos híbridos

Veículos híbridos utilizam pelos menos um motor de tração elétrica além do motor de combustão interna, neste caso o servo motor elétrico DC. Nesta construção de sistema a algumas características a serem consideradas como a otimização de potência, menor consumo de combustível e menor emissões de gases poluentes. Vale destacar que existem algumas formas de combinar os dois.

#### 2.1.1 Principais tipos de veículos híbridos

**VE-** Veículo elétrico comumente chamado pela poluição que geralmente utiliza uma bateria que pode ser alimentada pela rede elétrica.

**PHEV-** Veículo híbrido elétrico plug-in é um sistema que trabalha com uma bateria que pode ser recarregada através da rede elétrica e um motor de combustão interna, permitindo rodar no modo elétrico cerca de 16 a 48 km e após o fim dessa autonomia altera seu modo de funcionamento para totalmente híbrido

**HEV-** Veículo elétrico híbrido é um veículo híbrido que combina um motor a combustão interna com um ou mais motores elétricos. Nesse tipo de veículo, a bateria é recarregada automaticamente pelo próprio sistema do carro, principalmente por meio da frenagem regenerativa e do funcionamento do motor a combustão, não sendo necessário conectá-lo à tomada.

**Micro Híbrido-** Nesse sistema, o veículo não possui motor elétrico para movimentação. A principal característica do micro híbrido é o sistema *start-stop*, que desliga automaticamente o motor a combustão quando o veículo para (como em semáforos ou congestionamentos) e o religa ao soltar o freio ou acionar a embreagem.

**VEAE-** Veículo elétrico de autonomia estendida, é um tipo de veículo predominantemente elétrico, projetado para rodar a maior parte do tempo usando energia elétrica, mas que conta com um motor a combustão interna para aumentar sua autonomia quando a carga da bateria se esgota.

**Híbrido médio-** Esse sistema jamais poderá receber energia da rede elétrica como forma de carregamento da bateria, muito menos rodar de forma elétrica totalmente, porém pode alimentar a bateria em frenagem regenerativa e utilizar auxiliando em aceleração. Importante ressaltar que este sistema é utilizado em veículos da fórmula 1 atualmente. (DENTON, 2018). A tabela 1 especifica os diferentes sistemas híbridos aplicado aos veículos.

Tabela 1- VE e VHE e seus nomes alternativos

Veículo elétrico (VE), veículo eletricamente recarregável Carro elétrico	Termos normalmente utilizados para se referir a veículo alimentados parcial ou totalmente por uma bateria que pode ser alimentada pela rede elétrica.
Pure-EV, veículo puramente elétrico, Battery Electric Vehicle (BEV), totalmente elétrico	Veículo cuja tração total é fornecida através de baterias (elétricas) como fonte de energia.
Veículo híbrido elétrico plug-in (PHEV)	Veículo que faz combinação de motor de combustão interna, motores elétricos e baterias que podem ser alimentadas em rede elétrica.
Veículo elétrico de autonomia estendida (VEAE), Extended-Range Electric Vehicle (E-VER)	Semelhante ao veículo VE, porém utiliza motor de combustão interna como gerador para elevar a autonomia das baterias.
Veículo híbrido elétrico (VHE)	Tem como fontes de alimentação o motor de combustão interna, baterias e motor elétrico. Possui sistema de gerenciamento para definir qual o modo operante (motores trabalhando em conjunto, somente o MCI ou conjunto elétrico composto pelos motores e baterias) isto de acordo com a carga no motor, carga das baterias e velocidade.
Híbrido médio	Não pode ser ligado à rede elétrica, tampouco operar de forma 100% elétrico. Utiliza frenagem regenerativa e toda energia armazenada é fornecida no momento de aceleração. (carros utilizados na fórmula 1 atualmente).
Micro híbrido	Contempla um sistema start-stop e frenagem regenerativa para alimentar a bateria 12v

Fonte: Veículos elétricos e híbridos, 2018

### **2.1.2 Vantagens dos veículos híbridos**

Segundo Denton (2018), existem alguns pontos que se destacam no aspecto vantagens como por exemplo:

- Ambiental: Menor emissão de gases poluentes devido a combinação de motores, amparando o efeito estufa e melhorando a qualidade do ar. Gás principal (CO<sub>2</sub>).
- Maior autonomia: Os dois motores em conjunto fazem com que o veículo percorra longas distâncias sem a recarga da bateria ou até mesmo o abastecimento do tanque de combustível contemplando a limitação dos sistemas totalmente elétricos.
- Eficiência energética: Veículos híbridos consome menos combustível, sobretudo em perímetros urbanos com os trabalhos em conjunto dos transformadores de energia (MCI e Motor Elétrico).
- Incentivos Fiscais: Existem incentivos governamentais para essa aplicação de veículos reduzindo os custos de taxas e pagamento de impostos conforme a região.
- Desempenho otimizado: Com a conciliação dos motores o sistema proporciona acelerações mais rápidas e conduções suavizadas e silenciosa.

### **2.1.3 Desafios dos veículos híbridos**

Segundo Denton (2018), os veículos híbridos enfrentam desafios de infraestrutura e de aceitação no mercado automotivo.

- Custo inicial elevado: Devido à complexidade do sistema e a presença de dois propulsores, tornam os veículos mais caros em relação aos convencionais.
- Peso adicional: Mais elementos e componentes agregados a esse sistema como baterias e motor elétrico altera o peso total do veículo.
- Impacto Ambiental das Baterias: Um dos grandes desafios a ser batido globalmente é a produção e descarte de baterias, especialmente as de íon de lítio e níquel-metal hidreto, apresentam desafios ambientais devido ao uso de metais pesados e à necessidade de reciclagem adequada.

A tabela abaixo ilustra as principais vantagens e desvantagens que os veículos elétricos e híbridos apresentam no atual cenário do mercado global segundo o ponto de vista do Denton (2018).

Tabela 2- Vantagens e desvantagens dos veículos elétricos híbridos

Vantagens	Desvantagens
Um veículo híbrido é capaz de reduzir a quantidade de emissões de carbono que são liberadas no meio ambiente, pois o sistema reduz a quantidade de combustível utilizado durante a operação do MCI.	O valor elevado é a principal razão das pessoas não estarem mudando para veículos híbridos. Isso é normal quando esse tipo de produto tecnológico é lançado no mercado.
O aumento dos combustíveis fósseis a cada ano está incentivando as pessoas a recorrerem aos veículos híbridos por serem de menor custo.	Os fabricantes de automóveis estão tentando deixar os veículos mais leves para torná-los mais eficientes, o que forçou eles a produzirem motores e baterias menores, o que afeta também no desempenho da suspensão.
A recarga da bateria quando o veículo está no momento de frenagem é um ponto muito importante, o que proporciona um maior valor de autonomia.	O risco de eletrocussão em acidentes é elevado em caso de acidentes, onde a bateria pode transferir sua tensão para os passageiros causando ferimentos ou até levá-los a óbito.
O Governo Federal oferece incentivos fiscais para quem possua ou alugue um veículo híbrido. Isso ocorre em vários países para que haja inserção em sua frota de veículos.	Os veículos híbridos contam com uma maior quantidade de componentes periféricos, onde demanda mão de obra qualificada para a manutenção. Gerando um custo elevado nas manutenções.
Na fabricação de veículos híbridos mais leves são utilizados materiais mais leves de forma que a energia elétrica seja suficiente para os mover. Isso significa menor dependência do MCI.	A baixa potência é uma desvantagem nos veículos MHEV mesmo com combinação do ME e MCI, esta combinação não é adequada para a condução rápida. Indicado para condução em dentro de cidades e não em rodovias.

Fonte: Veículos elétricos e híbridos, 2018

### **2.1.4 Comparação entre veículos híbridos, elétricos e a combustão**

Escolher entre um veículo a combustão, elétrico ou híbrido envolve considerar uma variedade de fatores, como as necessidades individuais de transporte, o ambiente de condução, a disponibilidade de infraestrutura e o investimento financeiro. Segundo Santos (2020), os VE's têm vantagens quando comparados aos veículos com sistema de propulsão baseados em motores de combustão interna (MCI), como ausência de emissões, não dependência de combustíveis fósseis, alta eficiência, operação suave e silenciosa. Já os veículos VEH, independentemente da configuração, utilizam duas fontes de energia (uma fonte de energia primária e outra secundária) e têm vantagens em relação aos veículos com motor de combustão interna e veículos elétricos, de acordo com sua aplicação final.

Entretanto, apesar de diversos anos de experiência usando os motores MCI em veículos, suas características de torque e efeitos relacionados no desempenho do veículo ainda permanecem como uma área de discussões e possíveis melhorias, os ME's são os principais concorrentes para o MCI, porém, existem configurações de veículos que complementam a utilização de ambos.

## **2.2 Arquitetura de sistemas híbridos**

A arquitetura de um sistema híbrido automotivo define como o motor a combustão, o motor elétrico, a bateria e os sistemas eletrônicos interagem para mover o veículo, otimizando consumo e reduzindo emissões.

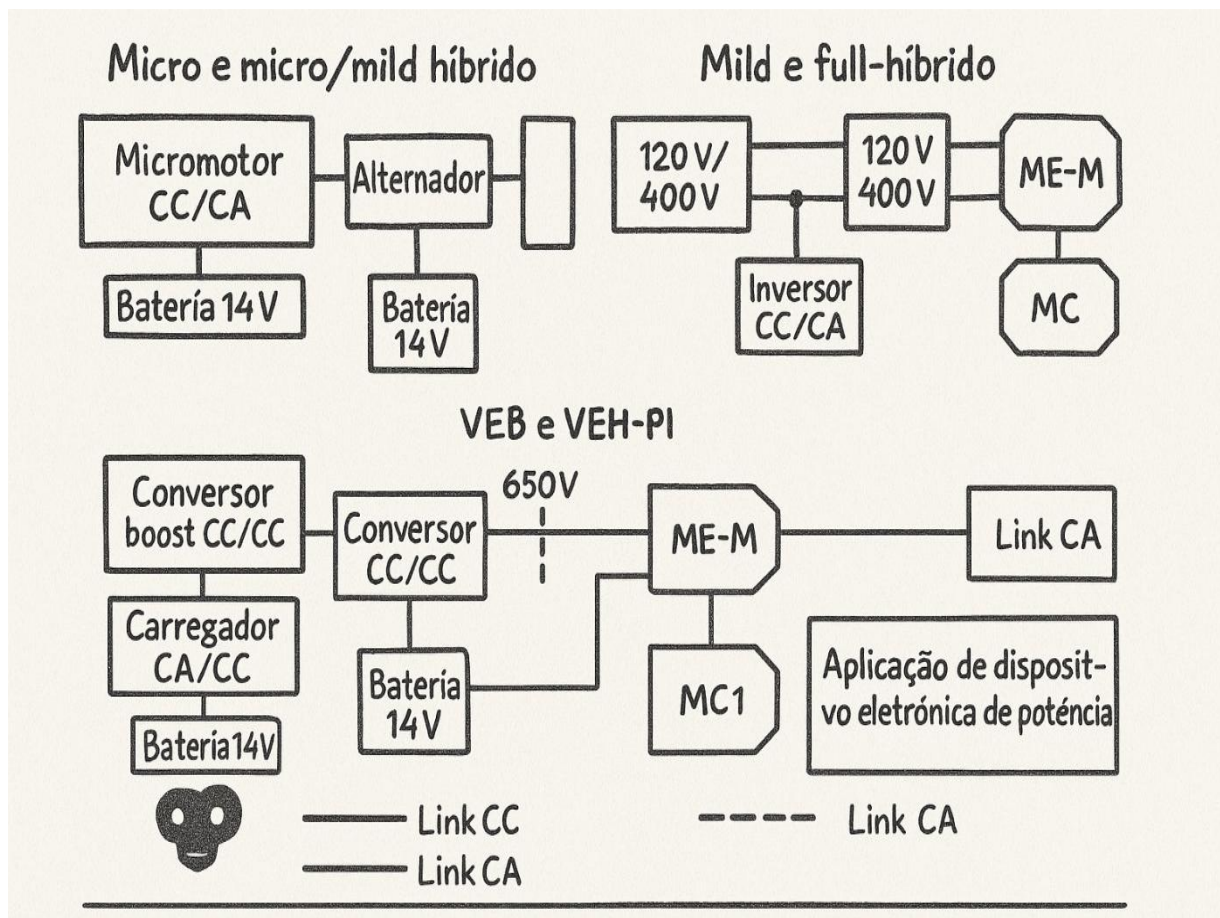
Essas arquiteturas de sistemas incluem estão presentes nos híbridos médios (Mild Hybrid), híbridos plug-in (PHEV), híbrido elétrico (HEV) e são classificados como; híbrido paralelo, híbrido em série ou série-paralelo, cada um com características e aplicações distintas. A escolha da arquitetura depende da necessidade de eficiência, autonomia elétrica e custo. (SANTOS, 2020)

### **2.2.1 Sistemas híbridos em série, paralelo e série-paralelo**

Um veículo híbrido de série é, basicamente, um veículo elétrico com um carregador de bateria *on-board*. Um MCI geralmente é executado em um ponto de eficiência ideal para acionar o gerador e carregar as baterias de propulsão a bordo do veículo. Quando o estado de carga da bateria está no mínimo predeterminado, o MCI está ligado para carregar a bateria e o MCI desliga quando a bateria alcança a carga máxima. O grupo gerador mantém a carga da bateria em torno de 65% a 75%. A vantagem com a configuração da série VEH é que o MCI está funcionando, principalmente, em sua combinação ideal de velocidade e torque, tendo, assim, baixo consumo de combustível e alta eficiência. (SANTOS, 2020)

Um veículo híbrido com a configuração paralela tem o MCI e o motor de tração mecanicamente conectados à transmissão. O veículo pode ser acionado com o MCI ou o motor elétrico, ou ambos ao mesmo tempo e é possível escolher livremente a combinação para alimentar a quantidade de torque a qualquer momento. A figura 2 ilustra a classificação das máquinas elétricas conforme a tensão do sistema.

Figura 2- Classificação de máquinas elétricas

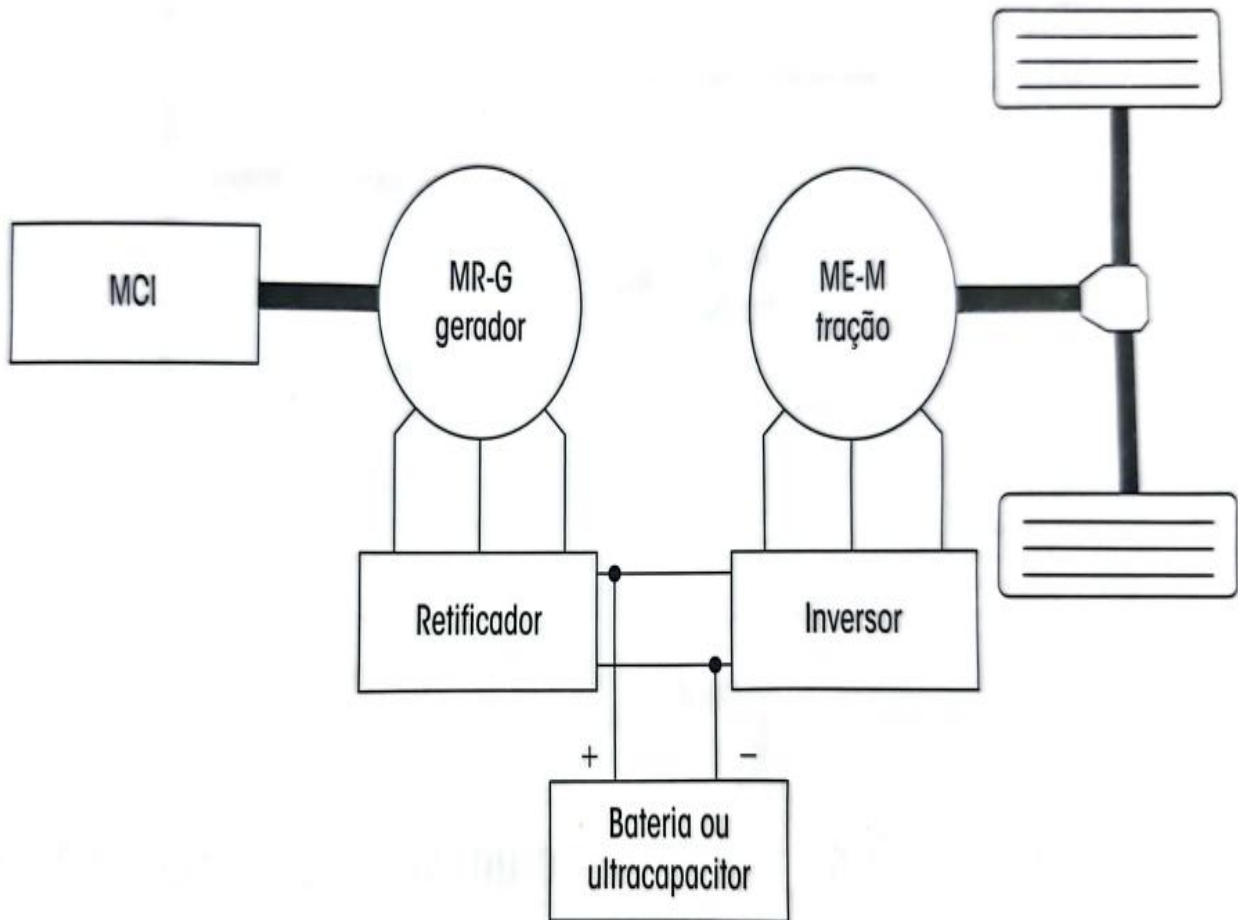


Fonte: Veículo elétricos e híbridos, 2020

As máquinas elétricas podem ser classificadas de acordo com a tensão de trabalho, critério fundamental para a arquitetura do sistema híbrido, o que auxilia na aplicação e segurança dos sistemas elétricos e eletromecânicos. Essa classificação está diretamente relacionada aos níveis de isolamento, eficiência energética, dimensões físicas e requisitos normativos. (SANTOS, 2020).

O VEH em série é uma combinação de todos os componentes elétricos e mecânicos em uma arquitetura em série. Existe uma ligação mecânica entre o gerador e o motor elétrico como mostra a figura 3. Com esse projeto é possível combinar as vantagens de ambas as configurações para uma melhor eficiência.

Figura 3- Arranjo topológico para um trem de acionamento de veículo elétrico híbrido série

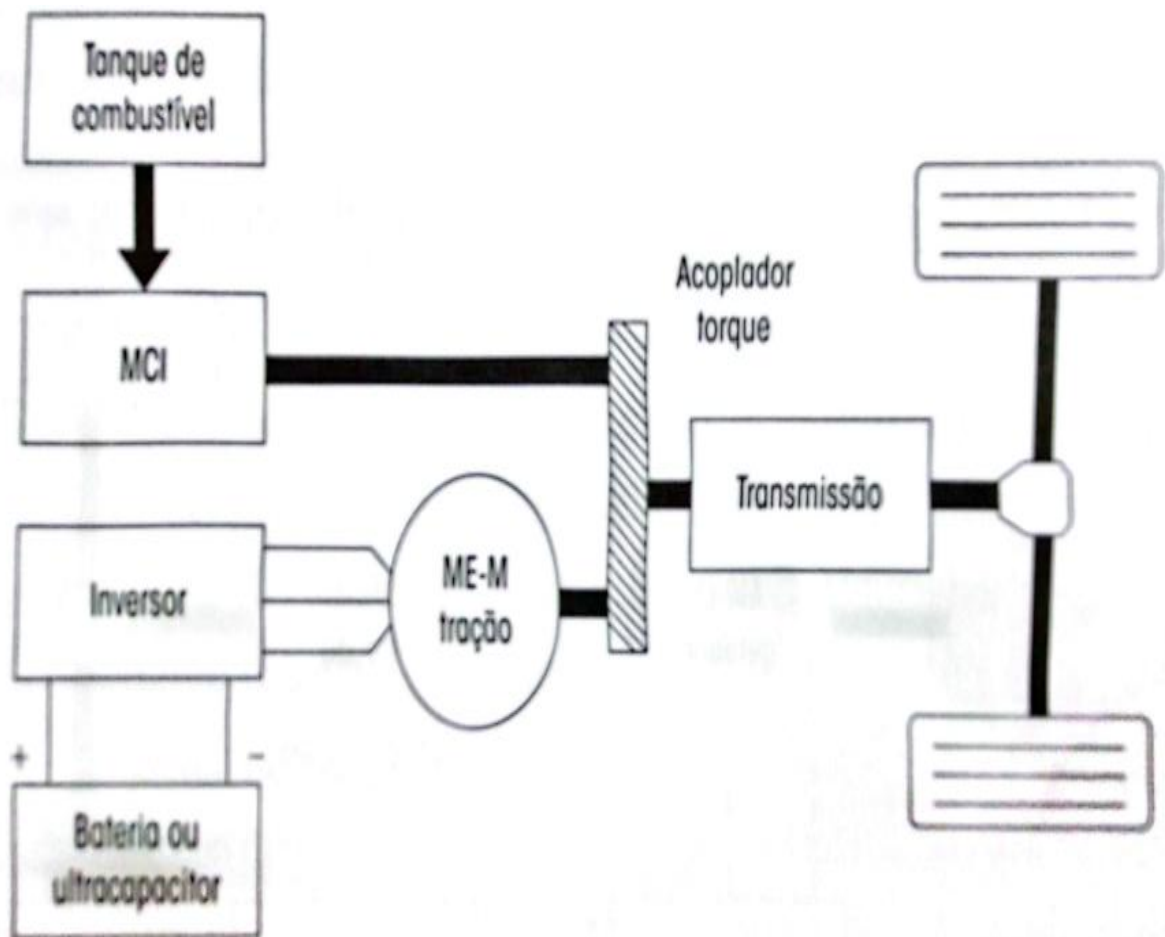


Fonte: Veículos elétricos e híbridos, 2020

Segundo Max (2020), a vantagem com a configuração da série VEH é que o MCI está funcionando, principalmente, em sua combinação ideal de velocidade e torque, tendo, assim, baixo consumo de combustível e alta eficiência. No entanto, existem dois estágios de conversão de energia durante a transformação de energia entre o MCI e as rodas (MCI/gerador e gerador/ME). Um pouco de energia é perdida por causa do processo de conversão de energia de dois estágios.

A configuração do VEH paralelo indica que o motor elétrico é mais ativo do que o MCI para propulsão, ao passo que, no caso do motor intensivo, o MCI é mais ativo, uma característica operacional é que o motor elétrico é utilizado sozinho na partida com o MCI desligado. Quando a aceleração é necessária, o motor de tração elétrica é usado em combinação com o MCI para fornecer potência extra, em desaceleração ou frenagem o motor de tração é usado como gerador para carregar a bateria e em repouso o MCI pode ser acionado em conjunto com o gerador para também carregar a bateria (SANTOS, 2020). Um esquema do híbrido paralelo é mostrado na figura 4.

Figura 4 - Arranjo topológico para um trem de acionamento de veículo elétrico híbrido paralelo



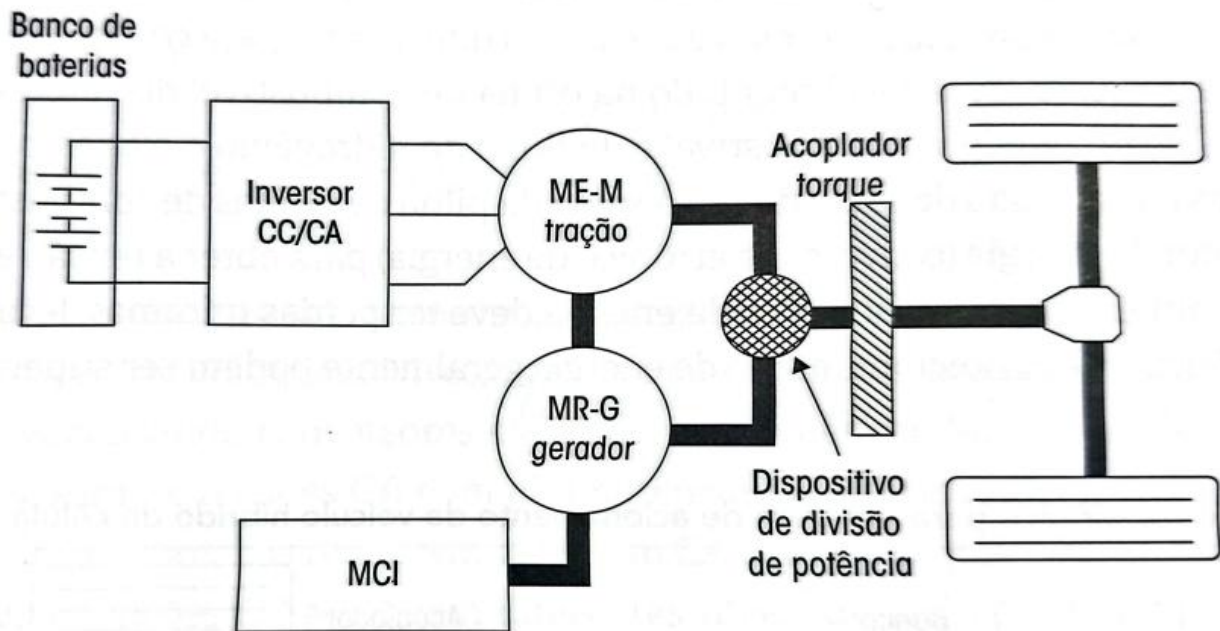
Fonte: Veículos elétricos e híbridos, 2020

Em paralelo, existem muitas maneiras de configurar o MCI e do motor de tração. A estratégia mais empregada é usar o motor sozinho em baixas velocidades, já que é mais eficiente do que o MCI e então deixar o MCI trabalhar sozinho em velocidades mais altas. Quando somente o motor a combustão está em uso o motor elétrico de tração pode funcionar como um gerador e carregar a bateria. (SANTOS, 2020)

O VEH série-paralelo é uma combinação de arquiteturas dos sistemas híbridos em série e paralelos, como mostrado na figura 5. Existe uma ligação mecânica adicional entre o gerador e o motor elétrico. Vale ressaltar que esse sistema é mais complexo e tem um custo mais elevado em relação as outras combinações.

Nesse sistema o motor elétrico é usado sozinho na partida com o MCI desligado. Durante a condução normal, o MCI sozinho impulsiona o veículo no caso de uso intensivo do motor. Por outro lado, o MCI e o ME impulsionam o veículo no caso elétrico-intensivo. Durante a frenagem ou desaceleração, o motor de tração é usado como gerador para carregar as baterias e em repouso o MCI pode continuar a funcionar para carregar as baterias.

Figura 5 - Arranjo topológico para um trem de acionamento de veículo elétrico híbrido série-paralelo



Fonte: Veículos elétricos e híbridos, 2020

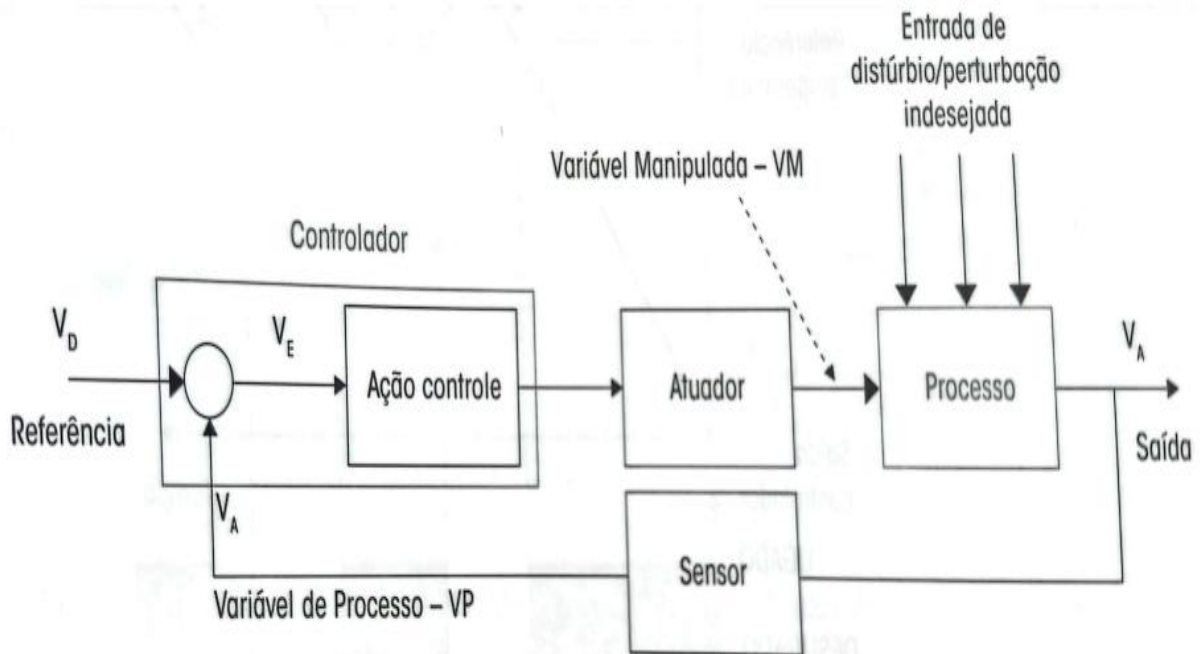
### 2.2.2 Estratégias de controle

Para melhorar a eficiência e o desempenho de sistema elétricos mecânicos e outros, utiliza-se de estratégia de controle para atender as especificações de desempenho estabelecidas previamente. Existem técnicas de sistema avançados de controle, adotando estratégias de controle complexas para aplicações críticas e não críticas. Um sistema de controle de processos consiste em quatro elementos básicos.

- Medida para saber o status de uma condição de um processo;
- Controlador para agir, considerando o valor definido e o valor medido;
- Sinal de saída para manipular o processo que resulta do controlador;
- Processo em si que reage ao sinal (entrada ou saída).

No veículo híbrido a estratégia de controle está presente nas tomadas de decisões como por exemplo, o momento em que o motor a combustão precisa ser acionado para entregar mais potência ou para que o gerador seja acionado para que as baterias sejam carregadas. Outra aplicação é no controle do fluxo de corrente das baterias de alta tensão onde ele controla o fluxo conforme exigido potência no pedal do acelerador. Um esquema de um sistema de controle é mostrado na figura 6.

Figura 6 - Diagrama de blocos de um sistema de controle com componentes e sinais



### 2.3. Motor elétrico

O motor elétrico é o principal componente responsável por converter energia elétrica em energia mecânica, sendo essencial em veículos elétricos e híbridos. Ele opera por meio da interação entre os campos magnéticos gerados no estator e no rotor, o que resulta em movimento rotacional. Os tipos mais comuns em aplicações automotivas são os motores de corrente alternada (CA), como os motores síncronos de ímãs permanentes (PMSM) e os motores de indução, por sua alta eficiência, confiabilidade e facilidade de controle. Segundo Chan (2007), “os motores elétricos utilizados em veículos híbridos e elétricos devem atender a requisitos rigorosos de densidade de potência, eficiência e desempenho em uma ampla faixa de velocidades e cargas”. Isso destaca a importância de uma seleção criteriosa do tipo de motor conforme a aplicação desejada.

#### 2.3.1 Integração entre motor elétrico e motor a combustão

A integração entre motores elétricos e motores a combustão é característica dos veículos híbridos, que combinam os dois sistemas para melhorar o desempenho e a eficiência energética. Existem três principais arquiteturas de integração: série, paralela e série-paralela. Cada uma apresenta vantagens específicas dependendo do perfil de uso e da proposta do veículo. De acordo com Mi. (2011), “o projeto de sistemas híbridos exige um balanceamento preciso entre os motores, sistemas de armazenamento de energia e estratégias de controle, a fim de maximizar a eficiência do sistema como um todo”.

#### 2.3.2 Baterias (tipos, características e gestão)

As baterias são os principais elementos de armazenamento de energia nos veículos elétricos. As tecnologias mais utilizadas incluem:

- **Chumbo-ácido:** Custo baixo, mas com densidade energética e vida útil limitadas.
- **Níquel-hidreto metálico (NiMH):** Mais duráveis que as de chumbo-ácido, porém apresentam efeito memória.
- **Íon-lítio:** Alta densidade energética, sem efeito memória, com melhor desempenho, mas custo elevado.

A gestão de baterias é feita por sistemas chamados BMS (Battery Management System), responsáveis por monitorar e equilibrar parâmetros críticos como carga, temperatura e voltagem das células, prevenindo falhas e maximizando a vida útil do conjunto. Segundo Linden e Reddy (2002), “o gerenciamento eficiente da bateria é essencial para garantir a segurança, desempenho e durabilidade dos veículos elétricos modernos”.

#### 2.3.3 Inversores e conversores

Inversores e conversores são dispositivos fundamentais na eletrônica de potência dos veículos elétricos. O inversor converte corrente contínua (CC) da bateria em corrente

alternada (CA) para alimentar motores CA, enquanto os conversores ajustam os níveis de tensão entre diferentes subsistemas. Segundo Rashid (2013), “a conversão eficiente de energia elétrica nos inversores e conversores é crítica para a operação de veículos elétricos, sendo altamente dependente das técnicas de modulação e controle implementadas”.

### **2.3.4 Sistema de frenagem regenerativa**

O sistema de frenagem regenerativa recupera parte da energia cinética do veículo durante a desaceleração, convertendo-a em energia elétrica e devolvendo-a à bateria. Isso melhora a eficiência energética e prolonga a autonomia do veículo. Segundo Ehsani (2010), “a regeneração de energia na frenagem é uma das maiores vantagens dos veículos elétricos e híbridos, permitindo um reaproveitamento significativo da energia que seria desperdiçada em sistemas de freio convencionais”.

### **2.3.5 Transmissão e acoplamento**

Nos veículos elétricos e híbridos, o sistema de transmissão tem a função de transferir a energia mecânica gerada pelo motor para as rodas, garantindo desempenho eficiente e dirigibilidade adequada. Em veículos 100% elétricos, é comum o uso de transmissões de velocidade única com engrenagens redutoras, devido à ampla faixa de torque dos motores elétricos, que dispensa múltiplas marchas.

Já em veículos híbridos, especialmente nos modelos com enfoque em desempenho ou que combinam dois motores de tração, a transmissão DCT (Dual Clutch Transmission) se destaca. Esse tipo de câmbio automatizado de dupla embreagem permite trocas de marchas rápidas e suaves, melhorando tanto a eficiência quanto a esportividade.

Os principais componentes associados ao sistema de transmissão e acoplamento em veículos híbridos e elétricos incluem:

- Redutores de engrenagem (planetários ou helicoidais) – adaptam a rotação do motor à faixa de rotação ideal das rodas.
- Transmissão DCT – câmbio automatizado com duas embreagens, permitindo trocas quase instantâneas entre as marchas ímpares e pares.
- Unidades de acoplamento eletromecânico ou embreagens multidisco – gerenciam a conexão entre motores elétrico e a combustão em configurações paralelas.
- Diferencial mecânico ou eletrônico – distribui o torque entre as rodas, inclusive em sistemas com tração integral (AWD).
- Eixos homocinéticos – transmitem torque para as rodas com flexibilidade angular.

- Controladores eletrônicos de transmissão (TCU) – atuam integrados ao sistema de controle veicular para determinar o melhor momento de mudança de marcha ou acoplamento de motores.

Segundo Husain (2011), “a arquitetura da transmissão em veículos híbridos requer um balanceamento cuidadoso entre desempenho, eficiência e integração dos motores, sendo a transmissão DCT uma solução eficaz em aplicações híbridas paralelas que priorizam dirigibilidade”.

## **2.4 Fundamentos de eletrônica aplicada**

Eletrônica aplicada envolve o estudo e uso de dispositivos e circuitos que manipulam sinais elétricos para realizar funções práticas, como controle, medição e comunicação. Os princípios fundamentais incluem grandezas elétricas como tensão e resistência, organizadas por meio da Lei de Ohm  $V = R \cdot I$ . Os instrumentos de medição são: multímetro, osciloscópio e fontes de tensão.

### **2.4.1 Corrente contínua (CC) e alternada (CA)**

A corrente contínua (CC) é definida como o regime de condução elétrica no qual o fluxo de cargas elétricas mantém sentido constante ao longo do tempo, não ocorrendo inversão de polaridade da tensão aplicada ao circuito. Em condições ideais, tanto a tensão quanto a corrente permanecem invariantes no tempo, caracterizando um sinal elétrico unidirecional.

A corrente alternada (CA) é o regime de condução elétrica no qual o sentido e o valor da corrente variam periodicamente ao longo do tempo, ocorrendo inversão cíclica de polaridade da tensão aplicada ao circuito. Diferentemente da CC, na CA tanto a magnitude quanto o sentido do fluxo de cargas são em funções do tempo.

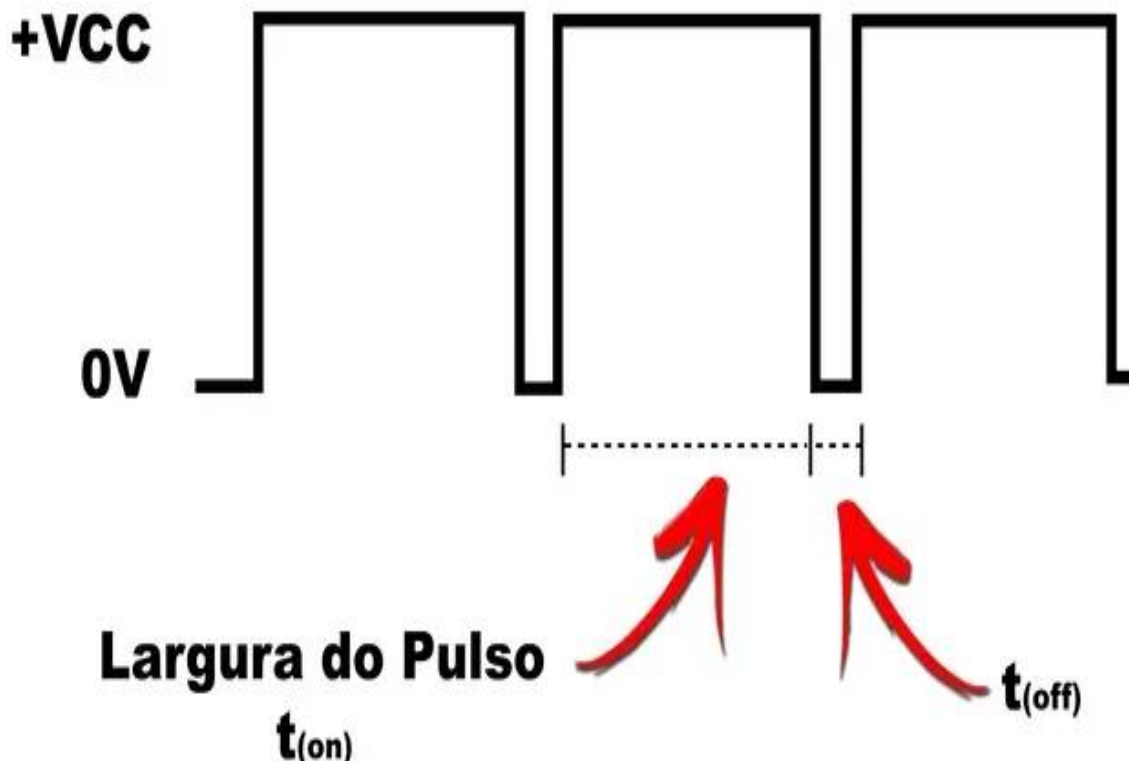
### **2.4.2 Comutação eletrônica e drivers**

A comutação eletrônica refere-se ao controle do fluxo de corrente em circuitos eletrônicos, essencial para o funcionamento de motores e outros dispositivos. Drivers são circuitos que controlam a comutação, garantindo o funcionamento adequado dos componentes. Segundo Santos (2020), o uso de drivers eficientes é crucial para o desempenho de sistemas eletrônicos e controle de motores elétricos como foi utilizado na bancada onde o driver faz o gerenciamento da partida do motor de combustão interna e controle da rotação durante a operação do motor elétrico por meio de acionamentos e comandos analógicos, o driver também tem a capacidade de controlar o sentido de motores e também a corrente e tensão dos circuitos conforme solicitado por sinais analógicos que comandam as funcionalidades dos mesmos.

### 2.4.3 Modulação por largura de pulso (PWM)

A modulação por largura de pulso (PWM) como mostra a figura 7, é uma técnica de controle que ajusta a largura dos pulsos em um sinal para controlar a potência entregue a uma carga. Essa técnica é amplamente utilizada no controle de motores e na regulação de tensão. Na bancada o sinal PWM seria utilizado para o acionamento eletrônico do motor elétrico e para a leitura de rotação do eixo de saída onde a análise do dado seria feita pela largura do pulso e convertido em tensão ou um dado filtrado por um microcontrolador que informaria a rotação e até o sentido de giro do eixo, o sinal seria gerado por um encoder rotativo que teria uma conexão mecânica entre seu eixo e o eixo de referência para a captura da rotação do sistema. De acordo com Gonzaga (2018), o PWM permite um controle eficiente da velocidade e torque de motores elétricos.

Figura 7- Ilustração do sinal PWM

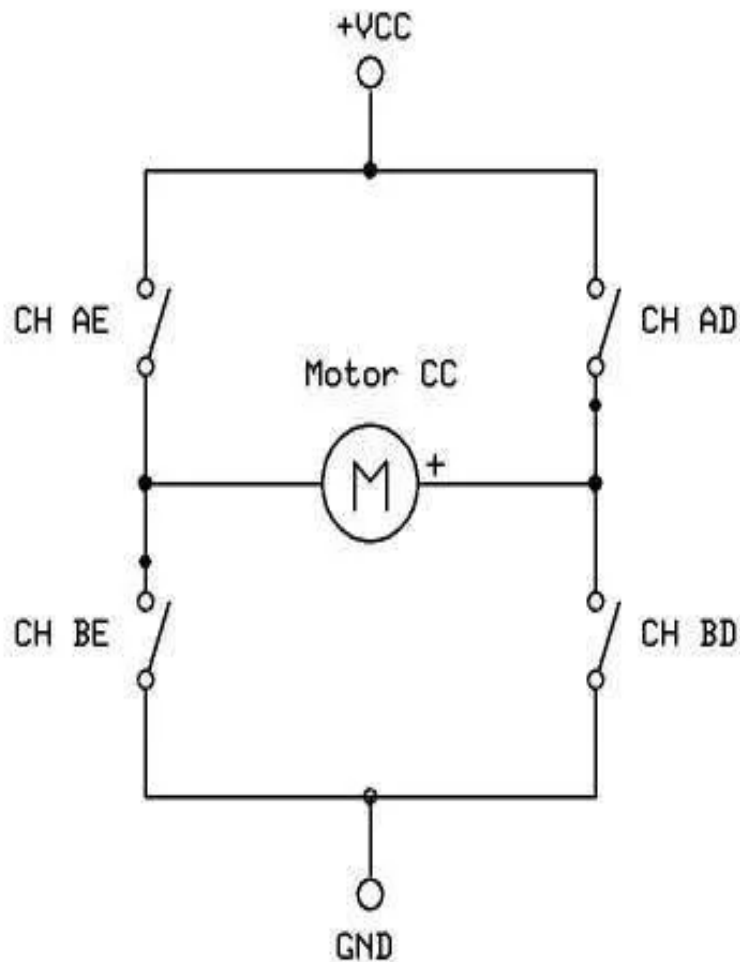


Fonte: Alves, 2021.

#### 2.4.4 Ponte H: funcionamento e aplicação no controle de motores DC

A ponte H é um circuito que permite controlar a direção e a velocidade de motores de corrente contínua (DC). Ela utiliza quatro interruptores (transistores ou relés) para direcionar a corrente através do motor, como mostra a figura 8. Segundo o Blog Eletrogate, a ponte H permite o controle bidirecional de motores DC, sendo amplamente utilizada em robótica e automação.

Figura 8 - Diagrama ponte H



Fonte: Eletrogate, 2022

## 2.5 Sistemas de controle embarcado

Com a evolução e desenvolvimento da tecnologia embarcada nos veículos atuais é indispensável não ter um sistema de controle compatível para atender todas as necessidades e analisar o comportamento do veículo em tempo real. Esse controle embarcado é responsável por fazer a integração física e funcional ao equipamento ou ao componente onde operam. Nos veículos híbridos é responsável por componentes e subsistema extremamente importantes controlando e tomando decisões através do software.

Algumas decisões que o controle embarcado assume em veículos híbridos, são:

- Quando usar o motor elétrico ou MCI.
- Como e quando recarregar a bateria.
- Gerenciar a frenagem regenerativa.
- Coordenar a transição de dados entre módulos.
- Resfriamento da bateria de alta tensão.
- Estratégias para economia de combustível.
- Selecionar a marcha ideal para a velocidade
- Gerenciar o sistema de climatização
- Ajuste da sensibilidade da direção conforme a velocidade
- Controle do nível de carga da bateria, SOC (*State of Charge*).
- Isolar eletricamente o sistema em caso de falha ou colisão.
- Monitorar falhas nos inversores, motores elétricos e cabos de alta tensão.
- Modos de condução; eco, normal, sport.
- Gerenciar o aquecimento do catalisador.
- Priorizar o uso de energia elétrica em baixas velocidades ou tráfego urbano.
- Ativação do ABS para evitar o travamento das rodas

### 2.5.1 Sensores

Sensores são essenciais em veículos híbridos, esses dispositivos convertem informações físicas, como pressão, temperatura ou rotação em sinais elétricos. É perceptível o quanto o sistema híbrido tem evoluído no mercado e de acordo com Gusmão (2023), a complexidade dos veículos modernos exige um número cada vez maior de sensores para garantir a segurança, eficiência e conforto dos ocupantes. Os principais sensores utilizados são:

- **Sensor de posição da borboleta:** Este sensor monitora a posição angular da válvula de aceleração, comumente instalado no eixo da borboleta do corpo de borboleta que controla a quantidade de ar que irá ser admitida para a câmara de combustão, a sua leitura é de zero a noventa graus que é o ângulo de abertura da borboleta, onde esse ângulo é convertido em tensão elétrica. Ele fornece informações cruciais para o controle da mistura ar-combustível. Sensores híbridos que combinam TPS, MAP e IAT são comuns em sistemas modernos. A figura 09 é meramente ilustrativa.

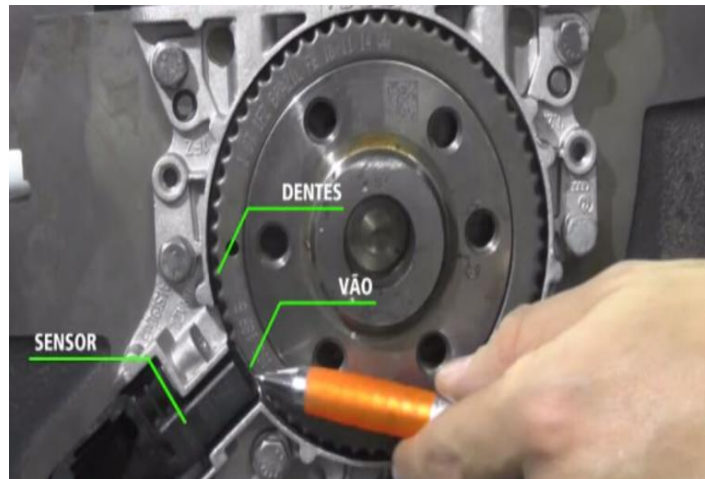
Figura 9 - Sensor de posição da borboleta (TPS)



Fonte: Thomson

- **Sensor de rotação do motor:** Responsável por determinar a velocidade de rotação do motor, este sensor fornece dados vitais para o controle do tempo de injeção e da injeção de combustível. A figura 10 é meramente ilustrativa.

Figura 10 - Sensor de Rotação do motor



Fonte: Doutor-IE

- **Sensor de temperatura:** O sensor de temperatura, utilizado para medir tanto a temperatura do motor quanto do ar de admissão, funciona por meio de um termistor do tipo NTC (Coeficiente de Temperatura Negativo). Segundo Gusmão (2023), esse componente possui a propriedade de reduzir sua resistência elétrica à medida que a temperatura aumenta, o que permite ao sistema interpretar variações térmicas com precisão. A figura 11 é meramente ilustrativa.

Figura 11 - Sensor de temperatura (NTC)



Fonte: Thomson

- **Sensor de pressão absoluta do coletor (MAP):** Segundo Gusmão (2023), o sensor MAP mede a pressão dentro do coletor de admissão, fornecendo dados essenciais para calcular a quantidade de ar que entra no motor. A figura 12 é meramente ilustrativa.

Figura 12 - Sensor de Pressão Absoluta do Coletor (MAP)



Fonte: Thomson

### 2.5.2 Atuadores

Atuadores são dispositivos responsáveis por executar comandos enviados pela unidade de controle eletrônico (ECU), transformando sinais elétricos em ações mecânicas, hidráulicas ou pneumáticas no sistema do veículo. (GUSMÃO, 2023).

Os principais atuadores dos sistemas híbridos:

- **Atuador do sistema de freio regenerativo:** Atua na transição entre o freio elétrico regenerativo e o freio hidráulico. Ele garante que, ao desacelerar, parte da energia cinética seja convertida em energia elétrica e armazenada na bateria.
- **Atuador do sistema de embreagem ou acoplamento:** Esse atuador é responsável por acoplar e desacoplar o motor a combustão do sistema de tração, permitindo que o veículo opere em modo totalmente elétrico, térmico ou combinado, conforme a demanda.
- **Atuador do sistema de comutação de modo:** Controla as válvulas e comandos que definem se o motor elétrico, o motor a combustão ou ambos serão utilizados em determinada condição de operação.
- **Válvula de controle térmico:** Controla as válvulas e comandos que definem se o motor elétrico, o motor a combustão ou ambos serão utilizados em determinada condição de operação.

### **2.5.3 Comunicação entre sistemas**

A integração eficiente entre os diversos sistemas eletrônicos de um veículo híbrido é fundamental para garantir desempenho, segurança e economia de combustível. Essa integração é viabilizada por meio de redes de comunicação veiculares, que permitem a troca de informações entre sensores, atuadores e unidades de controle eletrônico. Além de ser composta por diversas ECU's interligadas. Segundo Gusmão (2023), a arquitetura desta comunicação é projetada para atender exigências em tempo real, confiabilidade e tolerância a falhas.

### **2.5.4 Protocolos de comunicação**

Diversos protocolos são utilizados para a comunicação entre os sistemas eletrônicos veiculares. De acordo com o estudo de Hunold (2012), os principais protocolos incluem:

- **CAN** (Controller Area Network): Amplamente utilizado devido à sua robustez e eficiência na transmissão de dados entre ECUs.
- **LIN** (Local Interconnect Network): Empregado em sistemas menos críticos, como controle de vidros e espelhos.

### **2.5.5 Interface homem-máquina em plataformas didáticas**

A Interface Homem-Máquina (IHM) é um componente essencial da plataforma didática de simulação de veículo híbrido, pois possibilita a interação direta entre o usuário e o sistema simulado. Por meio da IHM, é possível visualizar informações do sistema, acionar comandos e acompanhar respostas em tempo real, facilitando o processo de aprendizagem. De acordo com Bastos (2021), a aplicação de normas como a IEC 63303 na construção de IHM's garante maior segurança, padronização e eficiência, atributos fundamentais em ambientes educacionais.

A usabilidade da IHM também impacta na autonomia do estudante, uma vez que o bom design da interface reduz a curva de aprendizado e amplia a acessibilidade, tornando a simulação mais didática e próxima da realidade industrial.

Assim, a IHM representa um elo fundamental entre o sistema de simulação e o operador, promovendo um ambiente de aprendizagem mais interativo, dinâmico e alinhado às tecnologias utilizadas no setor automotivo.

## **2.6 Impactos ambientais**

Segundo Santos (2020), os veículos com motores a combustão interna dominaram o setor automotivo por décadas, principalmente por sua autonomia, versatilidade e infraestrutura consolidada de abastecimento. No entanto, esse modelo tradicional é responsável por elevados níveis de emissão de gases poluentes, como CO<sub>2</sub>, NOx e CO,

contribuindo diretamente para a degradação ambiental. Diante desse cenário, a indústria automotiva tem direcionado seus esforços para soluções mais sustentáveis, como os veículos híbridos. Esses modelos integram motor elétrico e motor a combustão, o que permite a redução no consumo de combustível e na emissão de poluentes, especialmente em ambientes urbanos.

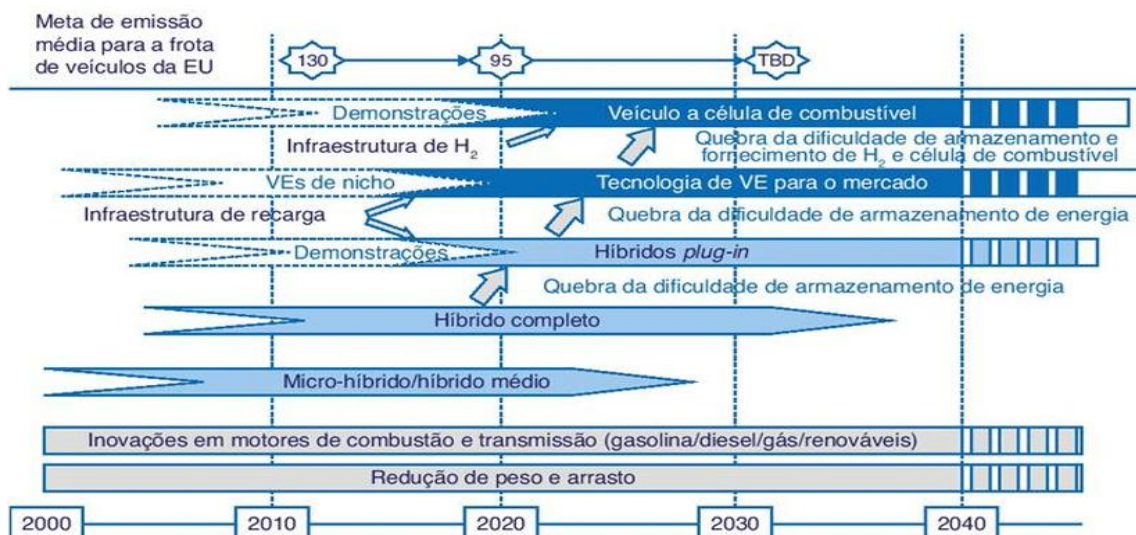
Embora mais eficientes em termos energéticos, os veículos híbridos ainda enfrentam barreiras como o custo inicial mais elevado. Assim, enquanto os veículos MCI oferecem benefícios tradicionais de desempenho e alcance, os híbridos representam uma alternativa intermediária mais sustentável, alinhada às exigências ambientais contemporâneas.

### 2.6.1 Tendências

Segundo Denton (2018), um grande pesquisador do setor automotivo, os desafios ambientais e energéticos atuais têm impulsionado a indústria automotiva a adotar soluções mais sustentáveis e socialmente responsáveis. Nesse contexto, a possível substituição progressiva dos motores a combustão interna surge como resposta à escassez dos combustíveis fósseis e às mudanças climáticas.

As projeções para o setor indicam que veículos elétricos e híbridos devem receber investimentos significativos nos próximos anos, acompanhados por avanços nas tecnologias de células de combustível. No entanto, para que essas alternativas se tornem viáveis em larga escala, é essencial que sua produção seja economicamente acessível, possibilitando sua difusão e evoluções para popularização no mercado global. A figura 13 ilustra as tendências e os veículos nos próximos anos.

Figura 13 - Tendência de desenvolvimento de veículos nos próximos anos



Fonte: Veículos elétricos e híbridos, 2018

## 2.6.2 Eficiência energética e autonomia

A matriz energética brasileira vem sofrendo uma transformação significativa nas últimas décadas, com crescente incorporação de fontes renováveis e mais limpas. Na década de 1970, o país dependia majoritariamente de fontes não renováveis, com a matriz energética composta em grande parte por petróleo e derivados. No entanto, a partir dos anos 2000, o Brasil iniciou um processo gradual de transição, especialmente no que diz respeito ao setor de transporte, com o aumento da demanda por veículos elétricos e híbridos. (DENTON, 2018)

O país vem acompanhando as tendências globais de transição para modelos de transporte mais sustentáveis. Os veículos híbridos, por exemplo, têm se destacado pela redução substancial nas emissões de CO<sub>2</sub>, especialmente em ambientes urbanos, devido à regeneração de energia durante as frenagens e ao uso do motor elétrico em baixas velocidades. Quando comparados aos tradicionais automóveis movidos a motores a combustão interna, os veículos híbridos apresentam maior eficiência no consumo de combustível, além de causarem menores impactos ambientais. (DENTON, 2018).

No entanto, a popularização desses veículos no Brasil enfrenta desafios significativos. O custo de aquisição, que tende a ser mais alto, ainda representa uma barreira para muitos consumidores. Além disso, a infraestrutura necessária para o suporte a VE ou propriamente PHEV, como pontos de recarga, ainda está em fase de desenvolvimento, o que limita a adoção em larga escala. (DENTON, 2018).

Para que o Brasil alcance uma mobilidade mais sustentável, é crucial não apenas aumentar a eficiência dos veículos, mas também investir na expansão da infraestrutura. Além disso, políticas públicas que incentivem a adoção desses novos modelos de transporte são essenciais para garantir que o setor automotivo contribua de forma significativa para as metas de sustentabilidade do país. (DENTON, 2018).

A autonomia dos veículos híbridos é um dos aspectos que mais atrai consumidores que buscam eficiência energética sem renunciar à praticidade dos motores convencionais. Por combinarem dois sistemas de propulsão — um motor a combustão interna e um motor elétrico — esses veículos conseguem otimizar o uso de combustível, oferecendo maior alcance por litro e, ao mesmo tempo, reduzindo as emissões de gases poluentes. (DENTON, 2018).

A autonomia de um veículo híbrido varia conforme o tipo:

- Híbridos convencionais (HEV): Utilizam o motor elétrico para auxiliar o motor a combustão, especialmente em baixas velocidades ou arrancadas. Sua autonomia total depende apenas do tanque de combustível, pois não precisam ser

recarregados externamente. Exemplo: Toyota Prius pode alcançar até 900 km com um tanque. (OLIVEIRA, 2018).

- Híbridos plug-in (PHEV): Possuem baterias maiores e podem ser recarregados em tomada. Oferecem autonomia elétrica entre 30 e 80 km (dependendo do modelo), e ao acabar a carga elétrica, funcionam como um híbrido convencional, estendendo a autonomia total para mais de 700 km em muitos casos. (OLIVEIRA, 2018).

Segundo Denton (2018), as variáveis que modificam a autonomia em um veículo híbrido são:

- Capacidade da bateria de alta tensão.
- Estado de carga da bateria (SOC).
- Eficiência do motor elétrico.
- Eficiência do motor a combustão.
- Capacidade do tanque de combustível.
- Tipo de combustível.
- Arquitetura híbrida (série, paralelo, série-paralelo, MHEV, HEV, PHEV).
- Estratégia de gerenciamento de energia.
- Potência e torque do motor elétrico.
- Integração entre motor térmico e elétrico.
- Frenagem regenerativa (nível de recuperação).
- Estilo de condução do motorista (agressivo ou econômico).
- Velocidade média.
- Tipo de trajeto (urbano, rodoviário, misto).
- Tráfego (paradas frequentes).
- Carga do veículo (passageiros e bagagem).

### 3. METODOLOGIA

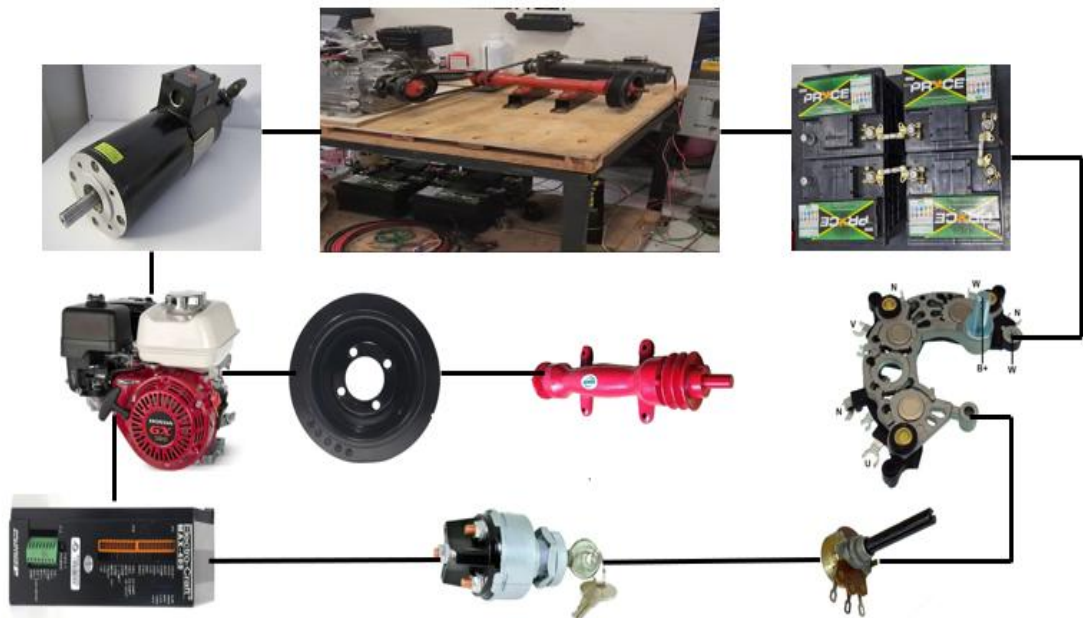
Este capítulo apresenta os procedimentos adotados para o desenvolvimento de uma plataforma didática voltada à simulação de um sistema de propulsão automotiva combinado, unindo fontes de energia distintas. A estrutura foi projetada para integrar um motor a combustão interna e um servo motor DC, instalados em uma bancada educacional com fins experimentais. A transmissão mecânica entre os componentes foi realizada por correia, conectando ao eixo de tração responsável pelo movimento do sistema.

A construção da bancada foi dividida em etapas contemplando o planejamento técnico, montagem dos elementos mecânicos e elétricos, além da integração dos subsistemas. A escolha da configuração paralela permitiu o funcionamento conjunto dos motores, possibilitando diferentes estratégias de controle e operação.

#### 3.1 Planejamento do projeto

O planejamento do projeto consistiu na estruturação de uma plataforma didática para simulação de um sistema de tração de veículo híbrido como mostra a figura 14, com o objetivo de oferecer um ambiente prático e acessível para estudo, testes e compreensão do funcionamento integrado entre motor a combustão interna e propulsor elétrico. A simulação busca representar, de forma simplificada, a operação de veículos de tecnologia híbrida, permitindo analisar o comportamento dos sistemas de tração, armazenamento e regeneração de energia.

Figura 14 - Diagrama de blocos do projeto



Fonte: Autor, 2025

### 3.2 Bancada didática

O desenvolvimento do projeto culminou na criação de uma bancada didática funcional, projetada para simular a arquitetura de um veículo elétrico híbrido (HEV) em paralelo com tensão 48 V como representa a figura 15. A escolha da arquitetura HEV Paralelo reflete a configuração na qual o motor de combustão Interna (MCI) e a máquina elétrica (ME) podem fornecer torque simultaneamente ao eixo de tração.

O barramento de 48 V foi selecionado por representar uma solução industrial de *mild-hybrid*, oferecendo um equilíbrio entre suporte significativo de torque e a simplificação dos requisitos de segurança elétrica. Na bancada, o servo drive e os demais componentes atuam de forma coordenada para replicar a lógica de comando e o fluxo de potência de um veículo real.

Esta bancada estabelece-se como uma ferramenta de valor institucional e didático, do ponto de vista institucional, ela eleva a capacidade do laboratório para realizar pesquisas avançadas em sistemas de tração elétrica e controle de potência, consumo de combustível e regime de carga, alinhando a instituição com as inovações tecnológicas do setor automotivo.

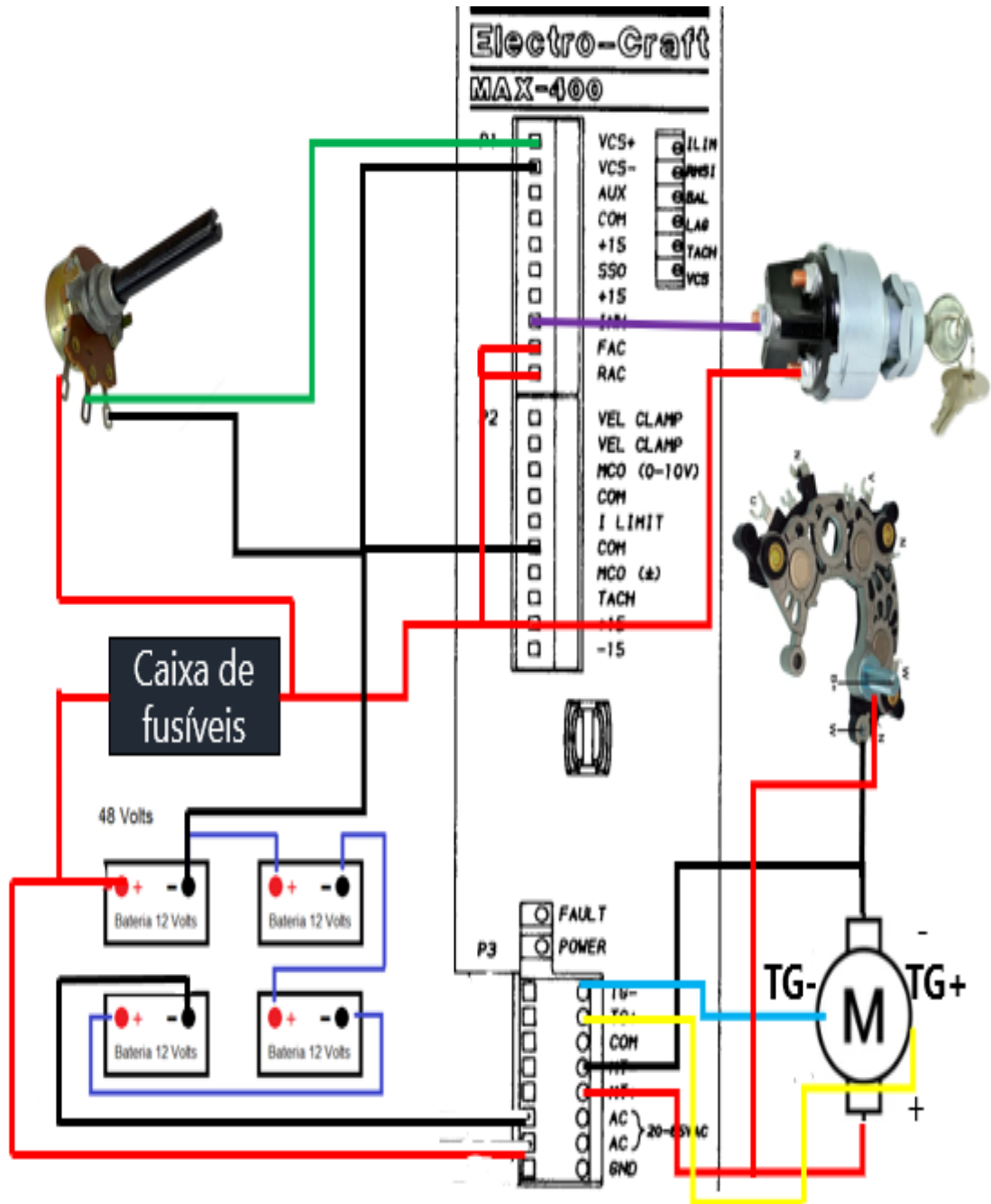
No aspecto didático, a bancada proporciona aos alunos de tecnologia em eletrônica automotiva uma experiência prática e tátil com um sistema complexo e realístico. O equipamento permite a visualização e a medição em tempo real de fenômenos como a conversão de tensão, o controle em malha fechada e o gerenciamento do fluxo de energia durante a aceleração e a frenagem regenerativa, atuando como um laboratório vivo para a compreensão dos princípios de eletrônica de potência aplicada a veículos híbridos HEV.

Figura 15 - Bancada didática



Ao longo do desenvolvimento da bancada foi necessário a confecção de um chicote elétrico para o funcionamento e comunicação dos componentes dela, ele foi elaborado através de testes e experimentos com equipamentos e por meio de datasheets. A figura 16 representa o diagrama geral da bancada didática.

Figura 16 – Diagrama elétrico geral da bancada didática



### 3.3 Servo motor DC SEM MT30M4-24

A máquina elétrica aplicada na bancada didática é um servo motor de corrente contínua como mostra a figura 17. Sua rotação máxima chega a 4.000 RPM com uma tensão máxima de 100 V e entrega 3 Nm de torque contínuo com um consumo de 13,6 Amperes. Sua função é transformar a energia elétrica em rotação para o eixo de transmissão trabalhando como um propulsor elétrico. O seu acionamento e controle é gerenciado pelo inversor de frequência em conjunto com um potenciômetro, onde controlamos a sua rotação e torque. A figura 18 representa o diagrama do conector do servo, levando em consideração que seu sentido de rotação é horário.

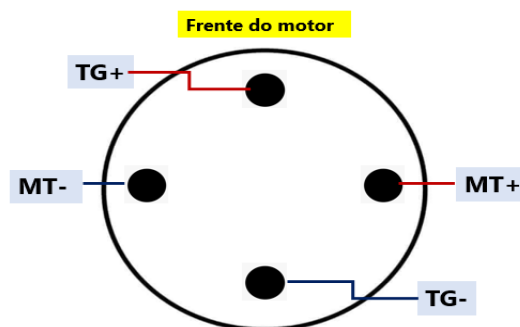
Figura 17 - Servo Motor DC SEM MT30M4



Fonte: Autor, 2025

O *datasheet* do motor MT30M4-24 encontra-se listado nas referências deste trabalho

Figura 18 – Diagrama do conector do servo motor



Fonte: Autor, 2025

### 3.4 Motor a combustão interna GX 120 Honda

Com cilindrada de 120 cm<sup>3</sup> e potência de aproximadamente 3,7 cv (2,8 kW), o GX 120 é um motor monocilíndrico, de quatro tempos, refrigerado a ar e movido exclusivamente a gasolina, como mostra a figura 19. Sua ampla aplicação em contextos industriais e agrícolas atesta sua robustez, confiabilidade e manutenção simplificada, características fundamentais para fins didáticos e experimentais.

A escolha por esse modelo se justifica por suas dimensões compactas e baixo peso, que facilitam sua integração à bancada didática. Adicionalmente, sua compatibilidade com sistemas de transmissão por correia permite o acoplamento direto ao eixo de tração e ao motor elétrico, sem necessidade de modificações estruturais significativas, assegurando maior eficiência no processo de montagem.

Figura 19 - Motor GX 120



Fonte: Autor, 2025

O *datasheet* do Motor GX 120 encontra-se listado nas referências deste trabalho.

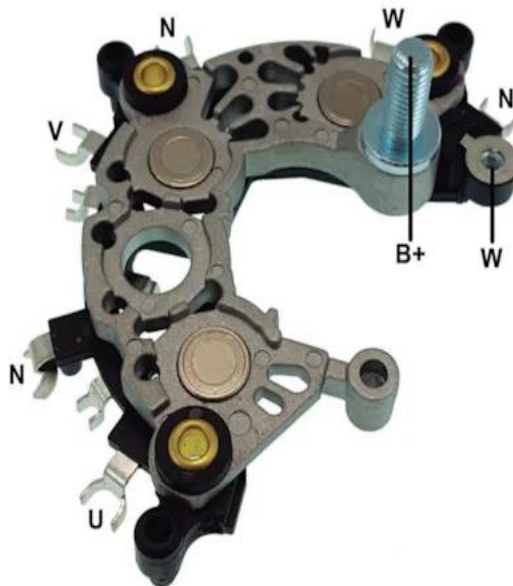
No escopo do projeto, o GX 120 desempenha a função de acionamento mecânico do servo motor, sendo responsável por gerar energia elétrica para o carregamento do banco de baterias de 48V. Essa configuração simula o princípio de funcionamento do sistema híbrido, nos quais o motor térmico opera tanto como gerador de energia elétrica de tração tanto quanto propulsor. Dessa forma, o conjunto proporciona uma vivência prática sobre a interação entre fontes de energia distintas e reforça os conceitos de eficiência energética e sustentabilidade no setor automotivo.

### 3.5 Sistema de retificação do recarregamento regenerativo

A capacidade de recuperação de energia é viabilizada pela operação reversa da máquina elétrica. Quando o sistema entra em desaceleração ou opera em marcha lenta, o motor elétrico, sob o controle do servo drive, transiciona para a função de gerador de energia elétrica, nesse estado, ele converte a energia cinética do sistema em eletricidade.

A corrente gerada pelo ME precisa ser compatível com o barramento de corrente contínua das baterias. Para isso, é utilizada uma ponte de diodos dedicada. Este componente eletromecânico recebe a energia gerada e realiza a retificação do sinal para produzir uma tensão linear e evita que a corrente flua no sentido inverso e afete o circuito interno do inversor, pois essa corrente contrária não é suportada pelo driver. Esta corrente retificada é então direcionada para as baterias, promovendo o recarregamento e recuperando parte da energia que seria dissipada em forma de calor, aumentando a autonomia do sistema. Uma ponte de diodos é mostrada na figura 20.

Figura 20 – Ponte retificadora de diodos do alternador Bosch F000BL2136 12V



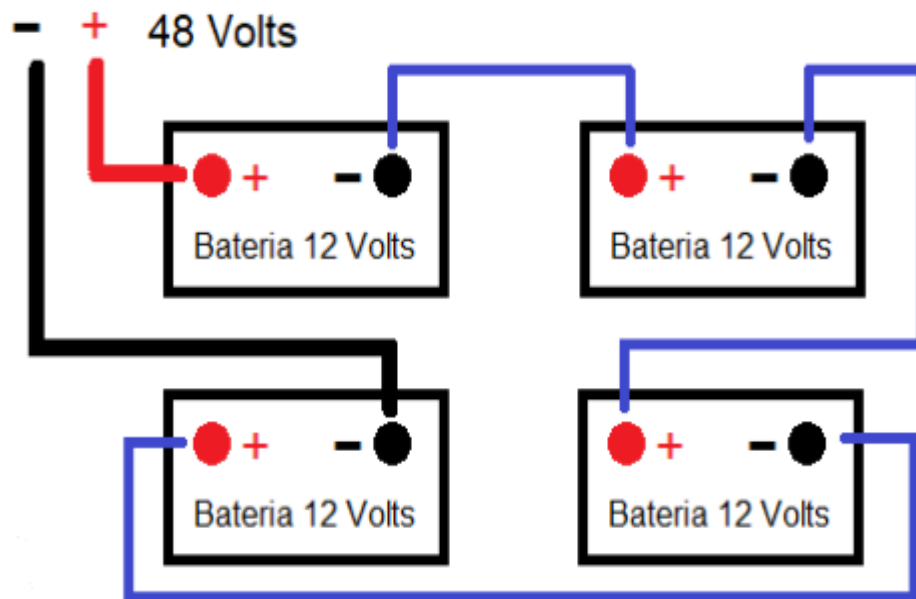
Fonte: Autor,2025

O *datasheet* da ponte de diodos encontra-se listado nas referências deste trabalho.

### 3.6 Baterias de chumbo-ácido

O sistema de armazenamento de energia elétrica está contemplado com quatro baterias de chumbo ácido da marca *Pryce*, com bornes superiores com uma diferença de potencial de 12V e uma capacidade de corrente de 40Ah e com CCA de 265, essas estão conectadas em série como representado na figura 21, para conseguirmos uma tensão final de 48V e uma grande capacidade energética para proporcionar um bom rendimento ao sistema híbrido. Esse conjunto não só fornece a corrente e tensão para o sistema híbrido como também serve como um armazenador de energia quando o sistema está regenerando a energia e mandando para elas, fazendo com que o sistema trabalhe com uma ampla quantidade de energia. Já quando o sistema híbrido estiver requisitando corrente do conjunto de baterias o sistema de carga estará recarregando as baterias para manter a tensão sempre no mesmo valor e faz com que a corrente fornecida se mantenha em seu valor de trabalho.

Figura 21 - Baterias ligadas em série 48 V



Fonte: Taves, 2019.

### 3.7 Polia amortecedora de vibrações (Polia Damper)

A utilização da Polia Damper no projeto desempenha papel essencial na melhoria do desempenho mecânico. Acoplada ao eixo de saída do conjunto, sua principal função é atuar como acumulador de energia cinética, aproveitando o efeito de inércia durante o funcionamento.

Do ponto de vista técnico, a polia contribui para o controle das vibrações, proporcionando um funcionamento mais estável e seguro, além de favorecer a observação prática da integração entre os modos elétrico e a combustão.

No contexto do projeto, sua presença garante equilíbrio energético ao sistema, liberando de forma contínua parte da energia acumulada no eixo, o que reduz picos de carga e aumenta a eficiência. Assim, o componente protege mecanicamente a bancada contra esforços indesejados e otimiza a dinâmica de operação da plataforma, tornando a simulação mais próxima da realidade dos veículos híbridos comerciais. Contudo, fica justificava de ter esse componente introduzido ao projeto. A figura 22 ilustra a polia Damper.

Figura 22- Polia Damper



Fonte: Autor, 2025

O *datasheet* da Polia Damper encontra-se listado nas referências deste trabalho

### 3.8 Sistema de transmissão por correia

O sistema de transmissão foi projetado para utilizarmos a correia como mecanismo de transmissão onde ela irá transferir a rotação do eixo de acoplamento entre a máquina elétrica e o motor de combustão interna para o eixo e oferece minimizar os ruídos e vibrações gerado pelo conjunto de força. O *link* entre a correia e os eixos é realizado por meio de polias e o eixo intermediário que também foram desenvolvidas para entregarem uma relação de rotação entre os eixos afim de proporcionar o melhor rendimento mecânico tendo como objetivo a rotação, distribuição de força e torque. A correia evita ruídos e desgastes mecânicos entre as polias que transferem o movimento de rotação entre os eixos, essa minimização proporciona um baixo índice de manutenção corretiva por desgaste. O baixo ruído proporciona conforto auditivo durante os ensaios dinâmicos quando o conjunto opera em altas rotações ou recebe um alto torque dos motores. A figura 23 mostra a correia utilizada na bancada didática.

Figura 23 - Correia de transmissão



Fonte: Autor, 2025

### 3.9 Integração do sistema

A montagem do sistema foi realizada com base em uma configuração paralela, em que tanto o motor a combustão interna quanto o motor elétrico atuam sobre o mesmo eixo de tração. O motor a combustão Honda GX 120 foi acoplado diretamente ao eixo de tração por meio de uma transmissão via correia, movimentando o conjunto de rodas de bicicleta utilizadas para simular a tração. Paralelamente, o servo motor DC SEM MT30M4-24 também foi conectado ao mesmo eixo, utilizando uma transmissão independente, porém sincronizada, garantindo que ambos os motores pudessem transferir torque ao sistema de forma controlada. A figura 24 mostra o *layout* dos componentes na bancada.

Para a geração de energia elétrica, o motor a combustão aciona simultaneamente sistema de carga acoplado, responsável por converter a energia mecânica em energia elétrica. Projetado especificamente para carregar um banco de quatro baterias de chumbo-ácido, dispostas de maneira a atingir o nível de tensão desejado. Essas baterias, por sua vez, alimentam diretamente o servo motor DC permitindo sua operação. Utilizando um Eixo Mancal para a saída de toda essa energia gerada pelos MCI e servomotor.

Figura 24 - *Layout* do Sistema Paralelo



Fonte: Autor, 2025

### 3.10 Eixo mancal

O eixo mancal utilizado no projeto foi fornecido pela própria instituição, o que viabilizou sua aplicação sem custos adicionais e possibilitou o aproveitamento de um componente robusto e adequado ao funcionamento da bancada. Esse eixo foi empregado como elemento central para a união das forças provenientes do motor a combustão interna e do motor elétrico, permitindo a transmissão conjunta do movimento por meio de correias. Dessa forma, desempenha papel estratégico na integração mecânica do sistema, garantindo que a energia gerada por ambos os propulsores seja devidamente transferida ao conjunto de tração.

Do ponto de vista construtivo, o eixo é fabricado em ferro nodular 42012, material reconhecido por sua elevada resistência e boa elasticidade, características que conferem durabilidade e segurança ao conjunto.

A aplicação desse eixo, tradicionalmente utilizada em operações de corte de chapas de médio e alto carbono com dureza de até 35 HRC (330 HB), demonstra sua robustez e versatilidade. No contexto do projeto, essas propriedades são aproveitadas para viabilizar a integração das forças (MCI e Servo Motor) por meio de correias, assim, contribuindo para o funcionamento híbrido da bancada didática. A figura 25 mostra o eixo mancal utilizado no projeto.

Figura 25 - Eixo Mancal



Fonte: Autor, 2025

O *datasheet* do Eixo Mancal encontra-se listado nas referências deste trabalho.

### 3.11 Potenciômetro linear

O potenciômetro aplicado no projeto foi cedido pela própria instituição reduzindo custos ao projeto e proporcionou a reutilização de um componente robusto e de alta qualidade para o funcionamento adequado do circuito elétrico da bancada. O potenciômetro será aplicado no circuito com a finalidade de controlar a velocidade do motor elétrico, o sistema de acionamento empregado utiliza um inversor de. A referência de velocidade para o inversor será fornecida por meio dele.

Este componente atua como um divisor de tensão resistivo e está conectado de forma a variar a tensão de comando analógica aplicada à entrada de sinal do inversor, tipicamente na faixa de tensão de saída para o inversor de 0V a 8V baseada no circuito elétrico da bancada. O esquema elétrico do potenciômetro encontra-se no diagrama geral da bancada.

A variação da resistência, obtida pelo movimento linear do cursor do potenciômetro, permite um controle manual, contínuo e preciso da tensão de controle, a qual, por sua vez, é diretamente proporcional à frequência de saída do inversor e, conseqüentemente, à velocidade de rotação do motor. A figura 26 mostra o potenciômetro utilizado do circuito elétrico da bancada.

Figura 26 - Potenciômetro linear



Fonte: Autor, 2025

O *datasheet* do potenciômetro linear encontra-se listado nas referências deste trabalho.

### 3.12 Comutador de ignição DNA 4402

A ativação do sistema elétrico global do projeto e o acionamento do motor elétrico são gerenciados por um comutador de Ignição. Este componente eletromecânico possui múltiplas posições que controlam o fluxo de corrente, garantindo a sequência de energização e a segurança operacional.

Posição IGN: Energiza todos os circuitos de controle e proteção do sistema, incluindo a alimentação da caixa de fusíveis, preparando-o para a operação.

Posição de partida: Ao ser acionada, esta posição realiza duas funções simultâneas e cruciais para o acionamento do motor, sendo elas a ativação do potenciômetro, onde o comutador fecha um contato dedicado para liberar a tensão de referência, proveniente do inversor, para o potenciômetro linear. Essa ação energiza o potenciômetro, permitindo que ele comece a fornecer o sinal de referência de velocidade analógica (tensão de comando) para a entrada do inversor e simultaneamente, outro contato é fechado para enviar um sinal para uma das entradas analógicas do Inversor de Frequência.

Desta forma, o Comutador de Ignição funciona como um intertravamento de segurança e acionamento principal, controlando a energização geral e, de forma coordenada, a habilitação do comando de velocidade e o sinal de partida para o Inversor de Frequência. A figura 27 representa o comutador utilizado na bancada.

Figura 27 - Comutador de ignição



Fonte: Autor, 2025

O datasheet do comutador encontra-se listado nas referências deste trabalho.

### 3.13 Servo drive reliance electro-craft MAX-400

O componente central para a gestão de energia, controle de acionamento é um servo drive, também conhecido como Inversor de frequência. Este equipamento foi cedido pelo professor coordenador Edson Kitani, o que proporcionou uma economia significativa de recursos ao projeto e garantiu um melhor desempenho devido às suas capacidades avançadas de controle.

Em sua arquitetura interna está presente o controle de malha fechada responsável por gerenciar a ativação, controle e monitoramento contínuo da rotação real do motor e comparando-a com o valor de entrada para realizar ajustes dinâmicos e precisos, conforme requerido pela variação de tensão do potenciômetro.

O Drive também gerencia os comandos, ele recebe o sinal de partida do comutador de Ignição e a referência de velocidade do potenciômetro, processando a lógica de acionamento do motor.

Figura 28 - Servo Drive Reliance Electro-Craft MAX-400

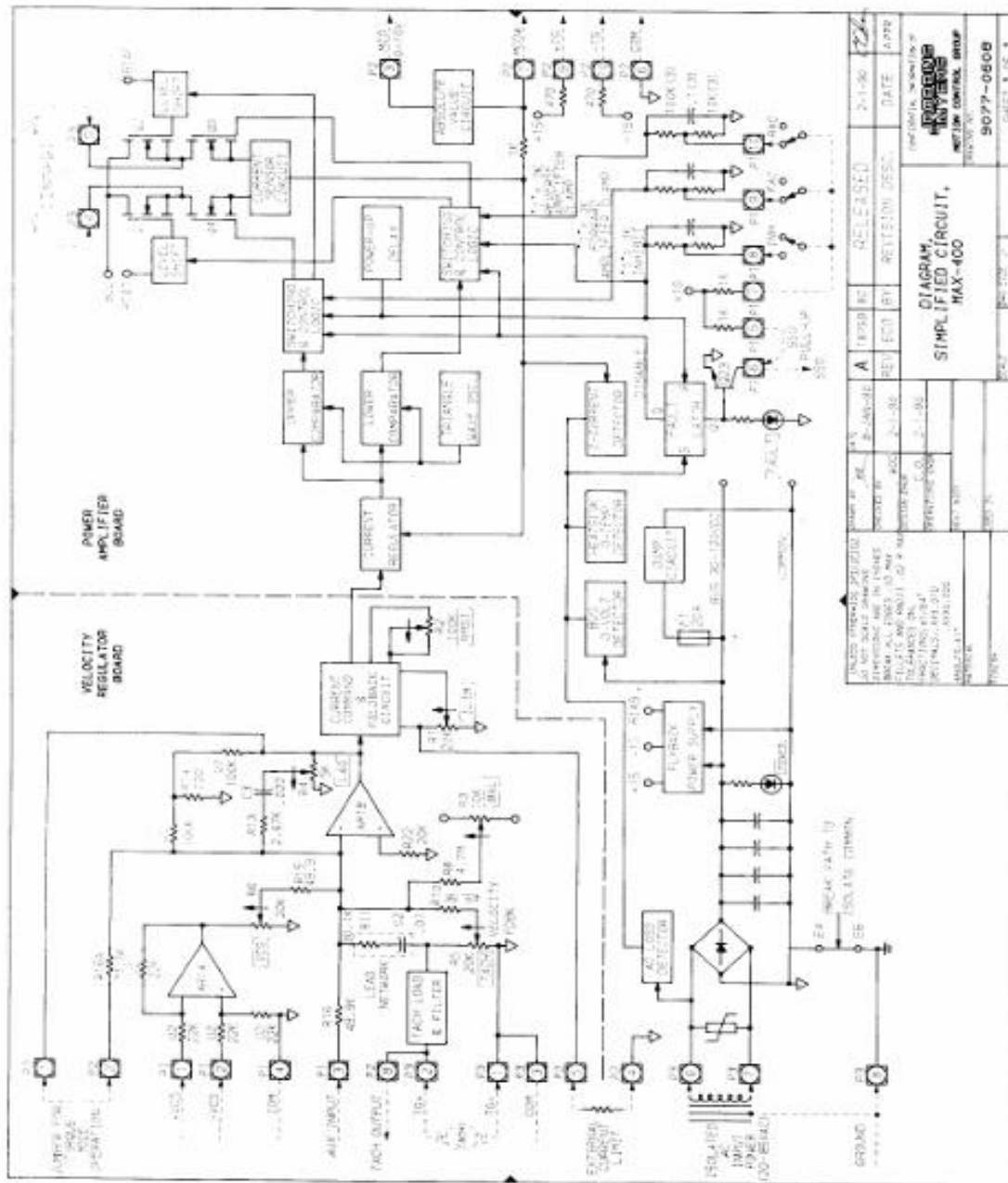


Fonte: Autor, 2025

O *datasheet* do Servo Drive encontra-se listado nas referências deste trabalho.

O Servo Drive foi aplicado de forma adaptada para operar como uma unidade de gerenciamento de energia e controle em corrente contínua (CC). Uma das suas funções é converter a tensão de entrada de 48V para 15V e distribuí-la para o circuito de controle de rotação e partida do motor elétrico, garantindo a estabilidade operacional dos comandos de baixa tensão. A figura 29 representa o diagrama geral do driver.

Figura 29 – Diagrama geral do Servo Drive Reliance Electro-Craft MAX-400



## **4. TESTES E VALIDAÇÕES EXPERIMENTAIS**

Neste capítulo são apresentados os testes e validações realizados na bancada didática de simulação de veículo híbrido, desenvolvida com o objetivo de proporcionar um ambiente seguro e controlado para experimentação e aprendizado sobre sistemas veiculares híbridos. Os testes e validações finais foram estruturados com base em diretrizes para veículos elétricos e híbridos, seguindo a metodologia de tópicos proposta por Santos (2020), a fim de verificar a funcionalidade e o desempenho.

### **4.1 Sistema de partida**

A validação do sistema de partida concentra-se na verificação do funcionamento sincronizado entre o comutador de ignição e o servo drive. O procedimento de teste envolveu o acionamento do comutador da posição IGN para a posição START, monitorando a saída dos sinais no lado de controle do servo drive por meio de um multímetro. Espera-se que, ao se acionar a partida, o sinal analógico de partida e a habilitação da tensão de 15V para o potenciômetro linear sejam estabelecidos de maneira simultânea. Adicionalmente, será medido o tempo total de resposta e a rotação do eixo de saída do motor elétrico, desde o comando de partida até o motor atingir uma rotação mínima estável, garantindo que a resposta do sistema seja adequada à aplicação. O resultado obtido após a partida foi positivo, conseguimos atingir a rotação ideal para o MCI entrar em funcionamento, onde ele entrou em funcionamento.

### **4.2 Desempenho do motor elétrico**

O desempenho do motor elétrico sob controle do Servo Drive foi avaliado em condições de rotação e torque. Inicialmente, foi realizado o teste de rotação, variando o potenciômetro linear de 0V a 8V de sua amplitude, onde atingimos as rotações ideais conforme exigido pelo potenciômetro. Os resultados devem validar a linearidade e proporcionalidade da velocidade do motor em relação a tensão do potenciômetro, confirmando a capacidade do motor de atingir sua velocidade máxima nominal perante as limitações do sistema. Em seguida, por meio de aplicação de carga através do motor a combustão, verificou-se o comportamento do motor sob estresse. O sistema foi capaz de alcançar a rotação desejada de forma exponencial e depois se manter de forma linear até que o MCI entrou em marcha lenta, demonstrando a eficácia do controle em malha fechada implementado no servo drive.

### **4.3 Consumo de energia**

A análise do consumo de energia visa quantificar a demanda energética do sistema em diferentes estados operacionais. As medições de tensão e corrente serão realizadas no ponto de entrada de alimentação e saída do servo drive, abrangendo regimes de operação em vazio, carga de partida e carga regenerativa. O objetivo primário é registrar o consumo de corrente no regime estacionário e verificar se a potência

consumida está em conformidade com a potência mecânica de saída, considerando as perdas do sistema.

Uma atenção especial será dada à medição da corrente de pico durante a aceleração e o teste de partida, assegurando que o consumo máximo esteja dentro dos limites de segurança estabelecidos. Após o funcionamento do MCI fizemos a medição da tensão de saída no ME quando ele estava operando como gerador, a tensão de pico com o MCI acelerado foi de 150V. Não foi possível medir a corrente do sistema por falta de recursos.

#### **4.4 Análise de eficiência da máquina elétrica**

A eficiência do motor é um fator crucial para a validação do projeto. A análise será realizada considerando a máquina operando tanto como motor de tração no momento da partida quanto em modo de geração (fase regenerativa)

Para a eficiência como motor de tração, será calculada a eficiência pela razão entre a potência mecânica de saída (medida no eixo) e a potência elétrica de entrada medida no servo drive.

O teste buscará identificar o ponto de operação onde a eficiência é maximizada, idealmente próximo à condição nominal. Em relação ao modo gerador, será simulada a condição de regeneração de energia para medir a potência regenerativa e a eficiência de conversão do servo drive neste ciclo, confirmando o potencial de recuperação de energia. Devido ao não funcionamento correto do MCI e por falta de tempo não conseguimos realizar as medições e coleta de dados para realizar os cálculos de eficiência da máquina elétrica.

#### **4.5 Gerenciamento de energia**

O gerenciamento de energia é validado por meio de testes de estabilidade da tensão de alimentação do banco de baterias e saída do inversor. A conversão DC/DC e regulação da tensão de alimentação para a tensão de controle de 15V realizada pelo servo drive será monitorada para garantir que a tensão de alimentação do potenciômetro e dos demais circuitos de controle se mantenha estável, mesmo sob oscilações de carga do motor. A tensão de saída do driver foi de aproximadamente 12V devido a tensão de entrada ser em CC e de baixa tensão, porém se manteve estável durante todo o procedimento, a tensão das baterias se manteve estável durante as partidas e a tensão de saída (48V) durante as partidas com o ME também se manteve dentro dos limites.

Por fim, serão simuladas condições de falha crítica como sobrecorrente e subtensão para validar a eficácia dos protocolos de proteção do inversor, garantindo que o motor seja desativado de forma segura para garantir a integridade do circuito elétrico. O driver entra em modo de proteção quando a sua temperatura aumenta e em caso de correntes altas o transistor interno apresenta falhas, sendo necessário substituí-lo.

## **5. CONSIDERAÇÕES FINAIS.**

A realização das etapas de montagem e testes da plataforma didática de simulação de veículo híbrido permitiu comprovar a integração entre os sistemas elétrico e a combustão, evidenciando o funcionamento conjunto e a transferência de energia entre ambos. O sistema elétrico, composto pelo motor de corrente contínua, amplificador de frequência, chave de ignição, potenciômetro de controle e conjunto de quatro baterias de chumbo-ácido em série (48 V), mostrou-se eficiente na função de partida do motor a combustão.

Durante o acionamento, o motor elétrico forneceu torque inicial suficiente para o giro do eixo de mancal e do motor Honda GX 120, possibilitando o início da combustão. Após a partida, o motor a combustão assumiu a rotação do conjunto mecânico, passando a movimentar o eixo e a máquina elétrica acoplada. Nesse modo de operação, o sistema atuou como gerador, convertendo a energia mecânica em energia elétrica destinada ao recarregamento das baterias, fechando o ciclo de funcionamento híbrido proposto.

Os resultados observados demonstram que a bancada cumpre seu papel didático, permitindo a visualização e compreensão prática de conceitos fundamentais de sistemas híbridos, como partida elétrica, transmissão de potência, conversão eletromecânica e recuperação de energia. O funcionamento coordenado entre os dois tipos de propulsão confirma a viabilidade do projeto e sua aplicabilidade como ferramenta educacional voltada ao ensino de tecnologias automotivas e energéticas.

## **PROPOSTAS FUTURAS**

A plataforma desenvolvida alcançou plenamente os objetivos iniciais de simulação e integração entre os sistemas elétrico e a combustão, demonstrando a viabilidade técnica do conceito proposto. Entretanto, durante o processo de montagem e testes, foram identificadas oportunidades de aperfeiçoamento capazes de ampliar o desempenho, a confiabilidade operacional e o potencial didático do conjunto. Diante disso, este capítulo apresenta um conjunto de propostas de melhorias futuras, estruturadas de acordo com aspectos técnicos, construtivos e educacionais, com o intuito de orientar a evolução da plataforma em versões posteriores do projeto.

### **Implementação de um microcontrolador para recarga em desaceleração e frenagem**

Uma das principais melhorias sugeridas consiste na implementação de um microcontrolador com algoritmo dedicado à recuperação de energia durante a desaceleração e frenagem do sistema. Esse dispositivo seria responsável por identificar momentos em que o conjunto perde velocidade e, automaticamente, acionar o modo de

geração do motor elétrico, convertendo energia mecânica em elétrica para o recarregamento das baterias de 48 V.

O princípio aplicado é o mesmo presente nos veículos híbridos e elétricos atuais, conhecido como frenagem regenerativa, no qual parte da energia cinética é reaproveitada para aumentar a autonomia do sistema. Sensores de rotação (como encoder's ópticos ou sensores Hall) poderiam ser utilizados para detectar variações de velocidade, enquanto o microcontrolador processaria os sinais e controlaria o fluxo de corrente de regeneração via modulação PWM.

Além de aumentar a eficiência energética da plataforma, essa melhoria teria grande valor educacional, pois permitiria aos estudantes visualizarem e quantificar o processo de conversão de energia mecânica em elétrica, reforçando conceitos de conservação de energia e controle automatizado.

### **Controle do regime de carga através da rotação do motor elétrico**

Outra proposta relevante é o desenvolvimento de um sistema de controle automático do regime de carga, ajustado conforme a rotação do motor elétrico. Essa funcionalidade permitiria gerenciar, de maneira mais precisa, a quantidade de energia enviada às baterias, evitando sobrecargas e otimizando o processo de recarga.

Por meio de sensores de velocidade instalados no eixo do motor elétrico, o microcontrolador seria capaz de interpretar o regime de rotação e definir, em tempo real, o ponto mais eficiente para a geração de energia. Dessa forma, o sistema operaria dentro de uma faixa ideal de desempenho, semelhante aos mapas de eficiência empregados em calibrações automotivas.

Esse controle tornaria o sistema mais estável e seguro, além de oferecer uma excelente oportunidade de aprendizado sobre curvas de torque, potência e rendimento energético, conceitos fundamentais no estudo de propulsão híbrida.

### **Controle da rotação do motor elétrico em função do regime de carga**

Para aprimorar a integração entre os dois sistemas de propulsão, propõe-se o controle da rotação do motor elétrico com base no regime de carga do motor de combustão interna (MCI). Essa melhoria possibilitaria a sincronização dinâmica entre ambos, permitindo que o motor elétrico atue de forma assistida, conforme a demanda de torque do MCI.

O sistema funcionaria através da leitura de sensores de rotação e torque acoplados ao MCI, cujos sinais seriam interpretados pelo microcontrolador. A partir dessas

informações, seria ajustada a resposta do motor elétrico, mantendo o equilíbrio energético e mecânico do conjunto

### **Comunicação entre o MCI e o sistema elétrico**

Para consolidar as melhorias anteriores, torna-se essencial a implementação de um sistema de comunicação entre o motor de combustão e o sistema elétrico, possibilitando a troca contínua de informações como rotação, temperatura, tensão e corrente. Essa integração garantiria a coordenação entre os modos de partida, geração e recarga, aumentando a confiabilidade e a segurança operacional da plataforma.

Do ponto de vista didático, a implementação dessa comunicação agregaria grande valor à plataforma, permitindo que os alunos estudem conceitos modernos de eletrônica embarcada e gerenciamento energético integrado, temas altamente relevantes.

### **Implementação do sistema de gerenciamento de baterias (BMS)**

Outro ponto fundamental para o aprimoramento da plataforma é a inclusão de um Sistema de Gerenciamento de Baterias (**BMS**), responsável por monitorar, proteger e equilibrar as células do conjunto de baterias de chumbo-ácido de 48 V. O BMS atua como uma unidade de controle dedicada à manutenção das condições ideais de operação das baterias, evitando sobrecarga, descarga profunda e superaquecimento.

A integração do BMS ao sistema elétrico possibilitaria o acompanhamento em tempo real de parâmetros como tensão individual de cada célula, corrente total do banco de baterias e temperatura. Essas informações poderiam ser transmitidas ao microcontrolador principal, permitindo o gerenciamento inteligente da energia, especialmente durante os processos de carga regenerativa e descarga em alta demanda.

Além de aumentar significativamente a segurança e a durabilidade das baterias, a adoção de um BMS acrescentaria valor didático ao projeto, possibilitando o estudo prático de um sistema essencial nos veículos híbridos e elétricos modernos. Dessa forma, a bancada passaria a representar com maior fidelidade o comportamento real de um sistema de armazenamento de energia automotivo.

### **Análise do modo de regeneração**

Este tópico é dedicado à validação da capacidade do sistema de recuperação de energia, um aspecto crucial para a autonomia e eficiência de veículos híbridos e elétricos. O teste visa confirmar a correta transição da máquina elétrica de um estado motor para um estado gerador e a efetividade da ponte retificadora na canalização da energia de volta para as baterias.

O procedimento envolve a simulação de uma desaceleração forçada (frenagem) a partir da velocidade máxima ou nominal do motor, sem interrupção do sistema de potência. Durante este ciclo, o servo drive deve aplicar um torque resistivo que force o motor a operar como gerador, convertendo a energia cinética de volta em energia elétrica.

A validação deste teste confirma a funcionalidade de recarregamento das baterias e confirma um dos principais recursos de otimização energética do projeto.

### **Redução do consumo de combustível (Modo de assistência)**

Este tópico de validação é fundamental para quantificar o benefício da integração da máquina elétrica (motor/gerador) ao motor de combustão interna (MCI) no sistema de tração. A premissa é que o motor elétrico, ao injetar torque e aumentar sua rotação, conforme comandado do potenciômetro, diminui a carga mecânica exigida do MCI. Essa redução de carga permite que o motor de combustão interna opere em um ponto de maior eficiência termodinâmica, resultando na diminuição do consumo de combustível.

A validação consistirá no cálculo da diferença percentual entre o consumo de combustível registrado nos dois cenários. O resultado esperado é uma redução significativa do consumo quando o motor elétrico está ativo, confirmando que a estratégia de alívio de carga do MCI, mediada pelo controle de rotação elétrica, é eficaz na otimização da eficiência energética do sistema híbrido/assistido.

A leitura dos dados de consumo instantâneo e do regime de carga do motor de combustão interna em tempo real será monitorado e calculado através do equipamento de diagnóstico que está acoplado no sistema de gerenciamento eletrônico do MCI. Este scanner informará os valores finais de consumo instantâneo e regime de carga onde realizaremos a análise comparativa quando o motor elétrico estiver atuando para diminuir estes valores e quando ele exigirá torque do motor na sua fase de recarga (gerador).

A estratégia de redução do regime de carga será controlada pelo potenciômetro onde iremos aumentar de forma gradativa a rotação do ME até o ponto de melhor assistência ao MCI onde a redução do consumo será significativa, mostrando a eficiência energética e a contribuição do sistema híbrido para a contribuição ambiental com a redução de poluentes liberados durante o funcionamento do MCI com e sem a atuação da máquina elétrica.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

**ALVES, Pedro.** Manual da eletrônica: funcionamento do PWM, 2021. Disponível em: <https://www.manualdaeletronica.com.br/o-que-e-pwm-funcionamento-e-aplicacoes/>. Acesso em: 18/05/2025.

**ARTISAN TG.** Manual técnico servo drive Reliance MAX-400. Disponível em: <https://www.artisanTG.com/PLC/81650-2/ABB-Baldor-Electro-Craft-Max-400-Servo-Drive>. Acesso em: 23/11/2025.

**BASTOS, Rômulo da Costa Brasil.** Interfaces homem-máquina de alta performance: análise de aplicação junto à norma IEC 63303, 2021. Disponível em: <https://www.monografias.ufop.br/handle/35400000/3220>. Acesso em: 10/05/2025.

**Blogue Eletrogate.** Guia Definitivo de uso da Ponte H L298N, 2022. Disponível em: <https://blog.eletrogate.com/guia-definitivo-de-uso-da-ponte-h-l298n/>. Acesso em: 18/05/2025.

**CARMO, Gustavo.** De geração a geração – Toyota Prius. Guscar, 2023. Disponível em: <https://novoguscar.blogspot.com/2023/05/de-geracao-geracao-toyota-prius.html> Acesso em: 24/05/2025.

**CALLAN TECHNOLOGY.** *M4-295X DC Servomotors – Direct Replacement of SEM MT30 motors.* Groneman, 2020. Disponível em: <https://groneman.nl/wp-content/uploads/2020/10/Callan-MT30-SEM-MT.pdf>. Acesso em: 10/05/2025

**CHAN, C. C.** O estado da arte dos veículos elétricos, híbridos e a célula a combustível. *Proceedings of the IEEE*, Nova York, 2007. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/document/4168013>. Acesso em: 15/06/2025

**BOSCH, Robert.** Manual de Tecnologia Automotiva. 25ª ed. São Paulo: Editora Edgard Blücher, 2005.

**DENTON, Tom.** Veículos Elétricos e Híbridos. São Paulo: Edgard Blücher, 2018.

**DNA, Automotivos.** Comutador de ignição DNA 4402 4 terminais. Disponível em: <https://dnaautomotivos.com.br/produtos/chave-geral/DNA4402>. Acesso em 17/11/2025

**DOUTOR-IE.** Sensor de rotação. Disponível em: <https://blog.doutorie.com.br>. Acesso em: 30/08/2025.

**ECOTRON, Componentes Eletrônicos.** Potenciômetro linear. Disponível em: <https://www.ecotroncomponentes.com.br/componentes.eletronicos/potenciometros/potenciometro-330k>. Acesso em 17/11/2025.

**EHSANI, M.; GAO, Y.; GAY, S. E.; EMADI, A.** Veículos elétricos, híbridos e com célula a combustível: fundamentos, teoria e projeto. Boca Raton: CRC Press, 2010. Disponível em: <https://archive.org/details/B-001-026-858-ALL>. Acesso em: 02/06/2025

**FERREIRA, José Paulo; DIAS, Márcio José.** Veículos Elétricos e Híbridos: História e Perspectivas para o Brasil, 2022. Disponível em: <https://revistas2.unievangelica.edu.br/index.php/etis/article/view/3861>. Acesso em: 28/05/2025

**GUSMÃO, Gustavo Canedo.** Sensores e Atuadores. Projeto de um sistema de monitoramento para veículo híbrido. Universidade de Brasília, 2023. Disponível em: [https://bdm.unb.br/bitstream/10483/35406/1/2023\\_GustavoCanedoGusmao\\_tcc.pdf](https://bdm.unb.br/bitstream/10483/35406/1/2023_GustavoCanedoGusmao_tcc.pdf). Acesso em: 10/05/2025.

**HONDA.** Motor GX120 – Especificações técnicas. Honda *Engines*, 2025. Disponível em: <https://engines.honda.com/models/model-detail/mid-gx>. Acesso em: 12/09/2025

**HUNOLD, Marcos Costa** (professor orientador) e **JUNIOR, Helio Taliani** (autor). Estudo dos protocolos de comunicação das arquiteturas eletroeletrônicas automotivas. Instituto Mauá de Tecnologia, 2012. Disponível em: <https://maua.br/files/monografias/estudo-dos-protocolos-de-comunicacao-das-arquiteturas-eletroeletronicas.pdf>.

**HUSAIN, I.** Veículos elétricos e híbridos: fundamentos de projeto (*Electric and Hybrid Vehicles: Design Fundamentals*). Boca Raton: CRC Press, 2011. Disponível em: [https://books.google.com/books/about/Electric\\_and\\_Hybrid\\_Vehicles.html?id=7AAWH\\_63HuAC](https://books.google.com/books/about/Electric_and_Hybrid_Vehicles.html?id=7AAWH_63HuAC). Acesso em: 11/05/2025

**LINDEN, D.; REDDY, T. B.** Manual de baterias. (*Handbook of Batteries*). Nova York: McGraw-Hill, 2002. Disponível em: <https://books.google.com/books?id=XquySsZp5jsC>. Acesso em: 18/08/2025

**MI, C. C.; MASRUR, M. A.; GAO, D. W.** Veículos elétricos e híbridos: projeto, fundamentos e controle. Hoboken: John Wiley & Sons, 2011. Disponível em: <https://www.perlego.com/book/5235209/hybrid-electric-vehicles-principles-and-applications>. Acesso em: 25/07/2025

**MTE- Thomson.** Sensores. Disponível em: <https://loja.mte-thomson.com.br>. Acesso em: 30/08/2025.

**OLIVEIRA, Túlio Costa de.** Estudo da tecnologia empregada em veículos elétricos com autonomia estendida. Universidade de Brasília, 2018. Disponível em: <https://bdm.unb.br/handle/10483/22120>. Acesso em: 25/05/2025

**RASHID, M. H.** Eletrônica de potência: dispositivos, circuitos e aplicações. São Paulo: Prentice Hall Brasil, 2014. Disponível em:  
[https://books.google.com/books/about/Eletr%C3%B4nica\\_De\\_Pot%C3%Aancia.html?hl=pt-BR&id=reg0vgAACAAJ](https://books.google.com/books/about/Eletr%C3%B4nica_De_Pot%C3%Aancia.html?hl=pt-BR&id=reg0vgAACAAJ). Acesso em: 22/07/2025

**SOMAR.** Catálogo geral somar. Somar, 2024. Disponível em:  
<https://www.somar.com.br/wp-content/uploads/2024/07/Catalogo-Geral-Somar-Jun24-MI.pdf>. Acesso em: 13/09/2025

**STARK.** Polia Balanceadora, Chevrolet Vectra motor 2.0 8v disponível em:  
<https://www.autodoc.pt/stark/17073417> . Acesso em: 25/08/2025

**SANTOS, M. M. D.** Veículos elétricos e híbridos: fundamentos, características e aplicações. São Paulo: Érica, 2020.

**WS, Parts.** Placa retificadora de alternador. Disponível em:  
<https://www.wsparts.com.br/produto/placa-retificadora>. Acesso: 23/11/2025.

## GLOSSÁRIO

## APÊNDICE

### **Relatório de inspeção e revisão dos componentes internos do servo motor e desmontagem para substituição de componentes**

Data: 16 de abril de 2025

Local: Praça técnica – Fatec Santo André

Participantes: Arthur Ferreira Rodrigues (Autor), Rafael Daniel Nascimento de Oliveira (Autor) e Marco Aurélio Fróes (Orientador)

#### **Objetivo**

Realizar a inspeção do servo motor para analisar de forma preventiva e substituir componentes que apresentaram falhas em seu funcionamento, a fim de deixar o componente operando conforme os padrões estabelecidos pelo fabricante.

#### **Etapas do Procedimento**

##### **1. Desmontagem**

Utilizamos as ferramentas de uso geral para a desmontagem da capa frontal e identificamos durante a análise visual que a vida útil das escovas estava comprometida, após isto, testamos o rolamento do eixo de saída onde ele apresentou um grande ruído caracterizando uma falha.

##### **2. Aquisição dos componentes**

- Rolamento do eixo de saída
- Escovas de carvão

##### **3. Montagem**

Com o auxílio das ferramentas de uso geral aplicamos os novos componentes no servo motor e fechamos a capa que garantimos a correta montagem.

#### **Conclusão**

Ligamos a máquina elétrica a uma fonte de tensão chaveada onde obtivemos um resultado positivo do desempenho e ruído dele.

## **Relatório da visita técnica ao Instituto MAUÁ de Tecnologia para análise do projeto Fapinha com o sistema híbrido de 48V**

Data: 13 de março de 2025

Local: Laboratório da linha de produção – Instituto MAUÁ de tecnologia

Participantes: Arthur Ferreira Rodrigues (Autor), Rafael Daniel Nascimento de Oliveira (Autor) e Marco Aurélio Fróes (Orientador)

### **Objetivo**

Buscar informações técnicas do sistema híbrido 48V que está aplicado na plataforma do Fapinha, tais como; posicionamento, sistema eletrônico de gerenciamento e controle de acionamento, sistema de carga e partida e fonte de energia.

### **Etapas do Procedimento**

Efetuamos a análise técnica dos componentes e sistemas eletrônicos presente no projeto juntamente com o aluno líder da equipe, onde coletamos dados do funcionamento e instalação do mecanismo.

### **Conclusão**

Concluímos que se faz necessária algumas alterações no nosso atual projeto para a implementação do sistema de gerenciamento e arquitetura do híbrido 48V e principalmente que teríamos que projetar um hardware robusto com um software aprimorado para gerenciar e controlar todo o sistema eletrônico instalado na bancada didática.

Figura 30 - Baterias ligadas em série 48 V



Fonte: Autor, 2025

## **Relatório de arquitetura e layout dos componentes na bancada. Verificação e acréscimo de componentes**

Data: 06 de setembro de 2025

Local: Praça técnica – Fatec Santo André

Participantes: Arthur Ferreira Rodrigues (Autor), Rafael Daniel Nascimento de Oliveira (Autor) e Marco Aurélio Fróes (Orientador)

### **Objetivo**

Definir a arquitetura e posicionamento de cada componente sobre a bancada e determinar novos componentes para serem introduzidos no projeto, além disso, efetuamos a desmontagem do Eixo Mancal, no qual estava acoplado a outro projeto.

### **Etapas do Procedimento**

Iniciamos a desmontagem do projeto antigo para podermos utilizar somente o eixo mancal. Eixo Mancal retirado, começamos a posicionar os componentes (MCI, Servo Motor e Eixo mancal) sobre a bancada para definir a melhor arquitetura possível. posição definida e analisamos os possíveis acréscimos de componentes para a arquitetura do sistema híbrido.

### **Conclusão**

Observamos que será necessário a aquisição de correias para a transmissão de energia entre os geradores, também, novas polias e buchas para centralizar as polias.

## **Relatório de montagem dos componentes na bancada.**

Data: 04 de outubro de 2025

Local: Praça técnica – Fatec Santo André

Participantes: Arthur Ferreira Rodrigues (Autor), Rafael Daniel Nascimento de Oliveira (Autor) e Marco Aurélio Fróes (Orientador)

### **Objetivo**

Realizar a montagem dos componentes na bancada (Motor elétrico e Eixo mancal) e a correia.

### **Etapas do Procedimento**

Após a definição do posicionamento dos componentes na bancada, foi realizada a separação dos parafusos e demais elementos de fixação correspondentes a cada componente. Em seguida, os dispositivos foram posicionados em seus respectivos locais para marcação dos pontos de fixação.

Com o auxílio de instrumentos de medição, efetuaram-se as marcações necessárias, e posteriormente os componentes foram removidos para a execução dos furos na base de madeira, utilizando uma furadeira elétrica. Concluídos os furos, procedeu-se à fixação definitiva dos componentes na estrutura da bancada.

Na sequência, foi medida a distância entre as polias, a fim de determinar com precisão o comprimento adequado da correia de transmissão. Após a aquisição da correia com as dimensões corretas, realizou-se sua instalação e o respectivo tensionamento, garantindo o alinhamento e funcionamento adequado do sistema.

### **Conclusão**

Com a finalização dessas etapas, obteve-se a correta fixação e alinhamento dos componentes na bancada didática, assegurando estabilidade mecânica e precisão na transmissão de movimento

## **Relatório de posicionamento das baterias e ligação em série.**

Data: 16 de outubro de 2025

Local: Praça técnica – Fatec Santo André

Participantes: Arthur Ferreira Rodrigues (Autor), Rafael Daniel Nascimento de Oliveira (Autor) e Marco Aurélio Fróes (Orientador)

### **Objetivo**

Posicionamento das baterias e ligação em série para obtenção dos 48v.

### **Etapas do Procedimento**

Inicialmente, foi realizada a separação e organização dos componentes necessários para a montagem do sistema de alimentação elétrica. Em seguida, procedeu-se à crimpagem dos terminais e chicotes elétricos, assegurando conexões firmes e seguras para a posterior ligação das baterias.

As quatro baterias de chumbo-ácido foram posicionadas de forma alinhada e estrategicamente distribuídas na bancada, garantindo estabilidade física e facilidade de acesso para manutenção e medições. Após o posicionamento, realizou-se a ligação em série das baterias, a fim de obter a tensão total de 48 V, necessária para o funcionamento do motor elétrico de corrente contínua.

### **Conclusão**

Com a finalização desta etapa, obteve-se a configuração elétrica necessária para o funcionamento do sistema de tração elétrica da bancada didática. A correta ligação em série das baterias garantiu a obtenção da tensão nominal de 48 V.

### **Teste**

Colocamos um chicote provisório para testar o motor e a transmissão de força para o eixo mancal onde obtivemos resultado positivo.