



UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO
ESCOLA DE MINAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA



CARLOS EDUARDO HILARIO SILVA

**ESTUDO DE HIBRIDIZAÇÃO DE VEÍCULOS MISTOS E DE CARGA
LEVE POR MEIO DA INTEGRAÇÃO DE MOTOR ELÉTRICO
ACOPLADO AO EIXO DIFERENCIAL TRASEIRO**

OURO PRETO - MG
2026

CARLOS EDUARDO HILARIO SILVA

carlosehilario1@gmail.com

**ESTUDO DE HIBRIDIZAÇÃO DE VEÍCULOS MISTOS E DE CARGA
LEVE POR MEIO DA INTEGRAÇÃO DE MOTOR ELÉTRICO ACOPLADO
AO EIXO DIFERENCIAL TRASEIRO**

Trabalho de conclusão de curso
apresentado ao curso de Graduação em
Engenharia Mecânica da Universidade
Federal de Ouro Preto como requisito
para a obtenção do título de
Engenheiro Mecânico.

Orientador: Dr. Edson Alves F. Junior.

**OURO PRETO – MG
2026**

SISBIN - SISTEMA DE BIBLIOTECAS E INFORMAÇÃO

S586e Silva, Carlos Eduardo Hilario.

Estudo de hibridização de veículos mistos e de carga leve por meio da integração de motor elétrico acoplado ao eixo diferencial traseiro.

[manuscrito] / Carlos Eduardo Hilario Silva. - 2026.

76 f.: il.: color., tab..

Orientador: Prof. Dr. Edson Alves Figueira Júnior.

Monografia (Bacharelado). Universidade Federal de Ouro Preto. Escola de Minas. Graduação em Engenharia Mecânica .

1. Hibridação. 2. Veículos - Hibridação. 3. Veículos - Diferencial traseiro. 4. Estudos de viabilidade. I. Figueira Júnior, Edson Alves. II. Universidade Federal de Ouro Preto. III. Título.

CDU 621

Bibliotecário(a) Responsável: Maristela Sanches Lima Mesquita - CRB-1716



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO
REITORIA
ESCOLA DE MINAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECANICA



FOLHA DE APROVAÇÃO

Carlos Eduardo Hilario Silva

**Estudo de hibridização de veículos mistos e de carga leve por meio da integração de motor elétrico
acoplado ao eixo diferencial traseiro**

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia Mecânica da Universidade Federal
de Ouro Preto como requisito parcial para obtenção do título de Engenheiro Mecânico.

Aprovada em 10 de Fevereiro de 2026

Membros da banca

[Dsc] - Edson Alves Figueira Júnior - Orientador - Universidade Federal de Ouro Preto

[Dsc] - Claudio Marcio Santana - Universidade Federal de Ouro Preto

[Dsc] - Diogo Antonio de Sousa - Universidade Federal de Ouro Preto

Edson Alves Figueira Júnior, orientador do trabalho, aprovou a versão final e autorizou seu depósito na Biblioteca Digital de Trabalhos de Conclusão de Curso da UFOP em 26/02/2026



Documento assinado eletronicamente por **Edson Alves Figueira Junior, PROFESSOR DE MAGISTERIO SUPERIOR**, em 26/02/2026, às 22:07, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site

http://sei.ufop.br/sei/controlador_externo.php?

[acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0](#), informando o código verificador **1066262** e o código CRC **7BD6FC0A**.

A Deus dedico mais esta etapa vencida, aos meus pais, por todo o apoio.

A minha companheira, pelo carinho e parceria nesta jornada.

AGRADECIMENTO

Agradeço a Deus, aos meus pais, meu irmão, minha namorada e meus familiares por estarem sempre presentes em minha vida e sendo minha rede de apoio.

Ao meu orientador Edson pelo incentivo e orientação ao longo do curso e nos projetos, sempre me instruindo nas escolhas e trazendo clareza ao caminho a ser percorrido.

Aos amigos que estiveram presentes na jornada acadêmica.

A Universidade e aos Professores do curso de Engenharia Mecânica pelas contribuições.

“Talvez não tenhamos conseguido fazer o melhor. Mas lutamos para que o melhor fosse feito. Não somos o que deveríamos ser, não somos o que iremos ser, mas graças a Deus não somos o que éramos”.

Martin Luther King

RESUMO

Este trabalho estuda a hibridização de veículos mistos e de carga leve por meio da integração de um motor elétrico ao eixo diferencial traseiro, desenvolvido como estudo exploratório e bibliográfico com elaboração de projeto conceitual. A pesquisa é motivada pela busca por alternativas que possam contribuir para o setor automobilístico visando a possível redução do consumo de combustíveis fósseis e emissões de poluentes. O objetivo é propor um sistema de acoplamento mecânico do motor elétrico ao diferencial traseiro, a partir do estudo das diferentes tecnologias empregadas em veículos híbridos e elétricos, bem como os motores elétricos, eixo diferencial traseiro e sistemas de acoplamento mecânico. O método envolve revisão bibliográfica, análise de estudos e soluções existentes, definição de requisitos e modelagem tridimensional em ambiente CAD. Como resultado, apresenta-se uma proposta conceitual de integração mecânica. O estudo estabelece uma base para investigações futuras voltadas à análise de desempenho e simulações numéricas, bem como a validação de desempenho, eficiência e impactos estruturais da arquitetura proposta.

Palavras-chave: Hibridização; Veículos híbridos; Diferencial traseiro; Projeto conceitual.

ABSTRACT

This work studies the hybridization of mixed and light-duty vehicles through the integration of an electric motor into the rear differential axle, developed as an exploratory and bibliographic study with the elaboration of a conceptual design. The research is motivated by the search for alternatives that can contribute to the automotive sector, aiming at the possible reduction of fossil fuel consumption and pollutant emissions. The objective is to propose a mechanical coupling system for the electric motor to the rear differential, based on the study of different technologies employed in hybrid and electric vehicles, as well as electric motors, rear differential axles, and mechanical coupling systems. The method involves bibliographic review, analysis of existing studies and solutions, definition of requirements, and three-dimensional modeling in a CAD environment. As a result, a conceptual proposal for mechanical integration is presented. The study establishes a basis for future investigations focused on performance analysis and numerical simulations, as well as the validation of performance, efficiency, and structural impacts of the proposed architecture.

Key-words: Hybridization; Hybrid vehicles; Rear differential; Conceptual design.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Motor elétrico em vista explodida.....	7
Figura 2: Diagrama dos motores elétricos.....	8
Figura 3: Motor <i>Brushless</i> DC.....	11
Figura 4: <i>IPMSynRM</i>	12
Figura 5: Galeria de arrefecimento dos motores elétricos aplicados no Audi e-Tron.....	16
Figura 6: Tração unicamente pelo motor elétrico.....	17
Figura 7: Motor elétrico 01 fornece propulsão para as rodas e motor a combustão utiliza o motor elétrico 02 para geração de energia.....	18
Figura 8: Os dois motores elétricos e motor a combustão fornecem propulsão para as rodas.....	19
Figura 9: Topologia em série dos veículos híbridos.....	21
Figura 10: Topologia em paralelo dos veículos híbridos.....	22
Figura 11: Arquitetura do <i>MASTER Electricway 4WD PHEV</i>	23
Figura 12: Eixo diferencial traseiro com motor elétrico.....	24
Figura 13: Motor WTE300 e Inversor CVW300.....	26
Figura 14: Motor WTE500 e Inversor CVW500.....	27
Figura 15: Powertrain FTE WEG 23.....	29
Figura 16: UTV Híbrido <i>Giaffone Racing</i>	30
Figura 17: Taxa de Crescimento dos tipos de baterias.....	32
Figura 18: Fluxograma do passo a passo.....	34
Figura 19: Motor elétrico acoplado ao eixo diferencial em interface ao eixo cardã.....	38
Figura 20: Motor elétrico acoplado pela carcaça traseira do eixo diferencial.....	38
Figura 21: Motor de fluxo axial acoplado pela carcaça do eixo diferencial (carcaça).....	39
Figura 22: Vista isométrica do diferencial traseiro no ambiente do Solidworks.....	41
Figura 23: Vistas isométrica e laterais do motor elétrico WEG W22 IR3 no ambiente do Solidworks.....	41
Figura 24: Vista explodida do motor elétrico de fluxo axial.....	42

Figura 25: Vista explodida do conjunto de engrenagens e elemento de acoplamento do motor elétrico.....	44
Figura 26: Vista explodida da engrenagem do motor elétrico acoplada a coroa do diferencial.....	45
Figura 27: Vista do diferencial com motor elétrico acoplado em ambiente do Solidworks.....	49
Figura 28: Vista do diferencial com motor elétrico acoplado à carcaça no Solidworks.....	50
Figura 29: Vista isométrica do motor elétrico de fluxo axial acoplado à carcaça do diferencial traseiro.....	51

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Parâmetros do Inversor Veicular CVW300.....	26
Tabela 2 – Parâmetros do Inversor Veicular CVW500.....	28
Tabela 3 – Variáveis e Indicadores.....	35

LISTA DE SIMBOLOS

EV – Electric Vehicle – Veículo Elétrico

HEV – Hybrid Electric Vehicle – Veículo Elétrico Híbrido

BEV – Battery Electric Vehicle – Veículo Elétrico a Bateria

MHEV – Mild Hybrid Electric Vehicle – Veículo Elétrico Híbrido Leve

PHEV – Plug-in Hybrid Electric Vehicle – Veículo Elétrico Híbrido Plugável

CAD – Computer Aided Design – Desenho Assistido por Computador

BLDC – Brushless Direct Current – Corrente Contínua Sem Escova

PMSM – Permanent Magnet Synchronous Motor – Motor Síncrono de Imã Permanente

RWD – Rear Wheel Drive – Tração Traseira

DC – Direct Current – Corrente Contínua (CC)

AC – Alternating Current - Corrente Alternada (CA)

IPVA – Imposto sobre a Propriedade de Veículos Automotores

IPMSynRM – Motor Síncrono de Relutância Assistido por Imã Interior Permanente

IPM – Imã Permanente Interior

VUC – Veículo Utilitário de Carga

e-CVT – Transmissão Continuamente Variável Eletrônica

e-4WD – Electrified Four-Wheel Drive – Tração Eletrificada nas Quatro Rodas

BMS – Battery Management System – Sistema de Gerenciamento de Bateria

RPM – Rotação Por Minuto

GNV – Gás Natural Veicular

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	1
1.1	Formulação do Problema.....	1
1.2	Justificativa.....	1
1.3	Objetivos.....	2
1.3.1	Geral	2
1.3.2	Específicos.....	3
1.4	Estrutura do Trabalho	3
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	4
2.1	Veículos Híbridos e Elétricos	4
2.2	Motores Elétricos.....	6
2.2.1	Corrente Contínua x Corrente Alternada	8
2.2.2	Motores Síncronos de Imã Permanente	11
2.2.3	Motores de Indução e de Fluxo Axial.....	13
2.3	Eixo Diferencial Traseiro.....	15
2.4	Baterias de Tração	30
3	METODOLOGIA	33
3.1	Tipos de Pesquisa	33
3.2	Materiais e Métodos	33
3.3	Variáveis e Indicadores	34
3.4	Instrumentos e Coleta de Dados	36
3.5	Tabulação de Dados.....	36
3.6	Considerações Finais	36
4	RESULTADOS	37
4.1	Definição do Projeto	37
4.2	Seleção dos Componentes	39
4.2.1	Proposta 1 – Diferencial Traseiro	40
4.2.2	Proposta 2 – Motor Industrial WEG W22 IR3 Premium	41
4.2.3	Proposta 3 – Motor de Fluxo Axial	42
4.3	Acoplamento Mecânico	42
4.3.1	Elementos de Fixação e Materiais	46
4.4	CrITÉrios de Desempenho e Avaliação do Sistema	46

4.4.1	Gerenciamento Eletrônico do Sistema	47
4.5	Projeto Conceitual de Montagem	48
5	CONCLUSÃO E RECOMENDAÇÕES	53
5.1	Conclusão	53
5.2	Recomendações	54
	REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA.....	56

1 INTRODUÇÃO

1.1 Formulação do Problema

O setor automotivo tem intensificado o desenvolvimento de soluções de eletrificação como alternativa à dependência exclusiva de motores a combustão interna. Historicamente, a integração de sistemas elétricos à propulsão veicular não é recente, como evidenciado pelos projetos de Ferdinand Porsche no final do século XIX (GOMBERT, 2010). Contudo, a consolidação dessas tecnologias na indústria contemporânea está associada à busca por maior eficiência energética e redução do consumo de combustíveis fósseis (SABET; FAROOQ, 2023).

No cenário atual, o crescimento das vendas de veículos elétricos no Brasil apresentou aumento de 68% em 2024 em relação a 2023 (BARROS, 2024), indicando ampliação da adoção de arquiteturas eletrificadas no mercado. Entretanto, a substituição integral da frota por veículos totalmente elétricos ainda enfrenta limitações relacionadas a custo, infraestrutura e adaptação industrial.

Nesse contexto, arquiteturas híbridas configuram-se como soluções intermediárias, permitindo a incorporação de propulsão elétrica sem descaracterizar completamente o sistema convencional. Contudo, a integração de um motor elétrico adicional em veículos originalmente projetados com tração exclusivamente pelo motor à combustão impõe desafios técnicos relacionados a interface, compatibilidade estrutural, transmissão de torque e acoplamento mecânico ao sistema existente.

Dessa forma, delimita-se como problema de pesquisa:

Como realizar a integração mecânica de um motor elétrico ao eixo diferencial traseiro de um veículo misto e de carga leve por meio de acoplamento das engrenagens, preservando a arquitetura original do sistema de transmissão?

1.2 Justificativa

Para Hobsbawm (1962), a Revolução Industrial impulsionou grandes transformações na economia mundial, que trouxe com o Fordismo a produção em massa de bens de consumo e redução de custos. Na mesma temática, Chandler (1993) aborda que, no mercado automobilístico, a produção em série introduzida por Henry Ford teve um aumento considerável dos indicadores de produtividade.

Desde então a indústria automobilística consolidou-se como um dos pilares da economia, passando por transformações tecnológicas significativas nas últimas décadas, especialmente na busca por soluções mais sustentáveis (DAUDT; WILLCOX, 2018). Segundo os autores, o setor é crucial para a economia, gerando empregos e incentivando inovações, e está em processo de mudanças contínuas impulsionadas por tendências globais como a eletrificação, conectividade e condução autônoma.

A transição para os veículos elétricos e híbridos tem contribuído para uma mobilidade mais eficiente. Como complemento, as projeções de crescimento para esses modelos indicam destaque para os modelos híbridos e utilização de biocombustíveis, integrando flexibilidade frente aos desafios econômicos (FAPESP, 2024).

Apesar do avanço das arquiteturas híbridas comerciais, a maioria das soluções consolidadas no mercado envolve integração do motor elétrico diretamente ao conjunto da transmissão, ao volante do motor ou a sistemas planetários dedicados, exigindo reengenharia estrutural significativa do powertrain original.

Em contrapartida, a integração mecânica de um motor elétrico diretamente ao eixo diferencial traseiro, por meio de acoplamento de engrenagens à coroa principal, ainda é pouco explorada como solução intermediária para veículos originalmente projetados com tração convencional. Tal abordagem apresenta desafios técnicos específicos relacionados à transmissão de torque adicional, compatibilidade geométrica, alinhamento de engrenagens e limitações dimensionais do alojamento do diferencial.

Dessa forma, identifica-se uma lacuna técnica na literatura e nas aplicações industriais no que se refere à proposição conceitual de um sistema de acoplamento que permita adicionar propulsão elétrica sem a substituição completa da arquitetura original de transmissão.

1.3 Objetivos

1.3.1 Geral

Integrar um motor elétrico ao eixo diferencial traseiro através de acoplamento mecânico das engrenagens no eixo de transmissão de potência.

1.3.2 Específicos

- Desenvolver o estudo teórico sobre os veículos elétricos, híbridos, seus componentes e tecnologias existentes;
- Utilizar conhecimentos metodológicos para o planejamento e elaboração de uma arquitetura híbrida;
- Elaborar a modelagem e posicionamento dos componentes utilizando ferramenta CAD 3D;

1.4 Estrutura do Trabalho

Este trabalho está organizado em cinco capítulos, de forma a apresentar de maneira progressiva o desenvolvimento do estudo. O Capítulo 1 introduz o tema da hibridização de veículos mistos e de carga leve, contextualizando o problema, justificativa, objetivos geral e específicos, bem como a metodologia adotada. O Capítulo 2 apresenta a revisão bibliográfica, abordando os conceitos relacionados aos veículos híbridos e elétricos, motores elétricos, sistemas de transmissão, baterias de tração e gerenciamento eletrônico, com ênfase nas soluções aplicáveis ao eixo diferencial traseiro. O Capítulo 3 descreve os procedimentos metodológicos empregados ao desenvolvimento do trabalho, incluindo a seleção de componentes, as premissas de projeto e as ferramentas computacionais utilizadas. O Capítulo 4 é dedicado ao desenvolvimento do projeto conceitual, no qual são apresentadas as propostas de *layout* do sistema híbrido, os aspectos do acoplamento, a modelagem em ambiente CAD e a análise do conceito. Por fim, o Capítulo 5 reúne as conclusões do estudo, destacando as principais contribuições do trabalho, suas limitações e as recomendações para pesquisas futuras.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste presente capítulo são abordadas questões acerca dos veículos híbridos e elétricos, suas tecnologias, seus propulsores, baterias e gestão, além de aspectos relacionados ao eixo diferencial traseiro e acoplamentos mecânicos para melhor compreensão do trabalho proposto. Para tal se faz necessário um breve contexto desse tipo de automóvel, bem como uma descrição do seu funcionamento e de suas características principais.

2.1 Veículos Híbridos e Elétricos

O mercado de veículos elétricos, que inclui os HEV - Veículos Elétricos Híbridos e BEV - Veículos Elétricos a Bateria, enfrenta desafios desde sua concepção, especialmente na competição com os modelos tradicionais a combustão. De acordo com Larminie e Lowry (2012), os HEVs combinam motores de combustão interna e elétricos, oferecendo flexibilidade e eficiência, enquanto os BEVs, que são totalmente movidos a eletricidade, são mais suscetíveis a limitações de autonomia e infraestrutura de recarga. Ambos os tipos de veículos apresentam vantagens em termos de redução de emissões e eficiência energética, mas ainda enfrentam barreiras relacionadas a custos, aceitação do consumidor e adoção em larga escala (LARMINIE; LOWRY, 2012).

Segundo relatório da Agência Internacional de Energia (IEA, 2023), o setor de veículos elétricos tem apresentado um crescimento expressivo na última década. Os relatórios destacam que o aumento de vendas de HEVs e BEVs está diretamente relacionado aos avanços tecnológicos nas baterias, às políticas governamentais favoráveis e a crescente demanda por soluções mais sustentáveis, refletindo uma mudança significativa no cenário global de transporte.

A abordagem de Murray (2025) expõe que, no âmbito global, países como China, Estados Unidos e Noruega lideram o ranking no que tange a adoção dos veículos elétricos, aliados a incentivos fiscais, subsídios e uma infraestrutura de recarga robusta. A Noruega tem liderado o mercado com uma representatividade de 9 a cada 10 veículos vendidos no país, e além disso, o país nórdico está prestes a tornar-se o primeiro a eliminar a venda de carros movidos a combustão interna (MURRAY, 2025).

No Brasil, o Programa Rota 2030 surge como uma iniciativa para impulsionar a eficiência energética e a redução de emissões na indústria automobilística, tornando o cenário desafiador, porém promissor. Segundo o Anuário da Mobilidade Elétrica (Simões, 2023), a

adoção de veículos híbridos e elétricos ainda representa uma parcela limitada do mercado, porém os incentivos fiscais e regulamentações previstas no Rota 2030 têm o potencial de acelerar essa transição, promovendo maior competitividade e sustentabilidade no setor.

Além disso, montadoras como Stellantis e BYD têm investido no setor de pesquisa e desenvolvimento de tecnologias de propulsão eletrificada, com lançamentos recentes desses veículos no país, contribuindo para uma integração eficiente dessas tecnologias no mercado brasileiro (VILLAÇA, 2024). De acordo com a publicação de Villaça (2024), a Stellantis trará ao Brasil a Leapmotor, *startup* chinesa que chega ao mercado para disputar com as concorrentes BYD e GWM, dando passos substanciais para a escalada dos híbridos e elétricos no país.

Todavia, a infraestrutura de recarga é considerada um dos principais obstáculos para a expansão dos veículos elétricos (IEA, 2024). Pelos dados apresentados no artigo, a instalação de pontos de recarga, tanto em áreas urbanas quanto em rodovias, é fundamental para aumentar a confiança dos consumidores, permitindo o uso contínuo e viagens mais longas. Nesse sentido, iniciativas como a parceria entre a EDP e a BMW, que visa a instalação de estações de recarga rápida ao longo das principais rodovias brasileiras, representam passos importantes para enfrentar esse desafio (ABRADEE, 2018).

A parceria entre as duas empresas tem como objetivo criar o maior corredor elétrico da América Latina, beneficiando não apenas os proprietários de veículos da marca, mas também de outras fabricantes (ABRADEE, 2018). A iniciativa permite que motoristas de veículos híbridos possam aproveitar o trajeto utilizando os modos puramente elétricos, ampliando a acessibilidade e a viabilidade do uso de veículos elétricos e híbridos nas principais rodovias brasileiras.

A evolução das tecnologias de baterias também tem sido um dos principais fatores que impulsionam o avanço dos veículos elétricos no cenário global (KOTHARI, 2024). Conforme o autor aborda em seu artigo, pesquisadores desenvolveram uma bateria de sódio que pode operar a temperaturas extremas de até -40 °C, apresentando um avanço notável em relação às baterias convencionais de íons de lítio. Essa inovação, que pretende aumentar a durabilidade e a eficiência das baterias, representa uma alternativa para tornar os veículos elétricos mais acessíveis e adaptáveis a diferentes condições climáticas.

De acordo com Morelli (2024), a redução dos custos das baterias desempenha um papel crucial na aceleração do mercado de carros elétricos. Segundo o autor, a pesquisa e o desenvolvimento de baterias mais baratas têm o potencial de reduzir o valor final dos veículos,

tornando-os mais acessíveis para os consumidores. A contínua inovação nas tecnologias de baterias, como também a reutilização e reciclagem, se destacam como estratégias para minimizar o impacto ambiental e os custos ao longo do ciclo de vida das baterias (MORELLI, 2024).

A participação dos governos estaduais na promoção da mobilidade sustentável tem se manifestado por meio de políticas tributárias voltadas à eletrificação da frota. Em São Paulo, por exemplo, a Assembleia Legislativa aprovou o Projeto de Lei nº 1510/2023, posteriormente sancionado como Lei nº 18.065/2024, que concede isenção de IPVA para veículos híbridos abastecidos com etanol ou tecnologia *flex*, além de modelos movidos exclusivamente a hidrogênio. A medida, válida entre 2025 e 2026 para veículos de até R\$ 250 mil, não contempla os modelos 100% elétricos, o que reflete uma escolha técnica e econômica específica para o estado (PANARO, 2025).

O Governo do Estado de Minas Gerais, por sua vez, adotou uma abordagem voltada à valorização da produção local. Por meio do Decreto nº 48.973/2024, foram estabelecidos critérios para isenção de IPVA a veículos híbridos fabricados no estado, desde que possuam mais de um motor de propulsão, sendo pelo menos um movido a energia elétrica ou gás natural. Segundo Panaro (2025), essa medida beneficia diretamente os modelos Fiat Pulse e Fiat Fastback, que utilizam a tecnologia MHEV – *Mild Hybrid Electric Vehicle*, fabricados em Betim - MG.

Estudos do Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA, 2025) indicam que diversas capitais brasileiras ainda enfrentam desafios na implementação de políticas de mobilidade sustentável, como a predominância do transporte individual motorizado, a fragmentação das iniciativas locais e a ausência de coordenação nacional (CARVALHO, 2016). Essa falta de uniformidade limita a efetividade das ações regionais e dificulta a consolidação de uma estratégia integrada. Nesse contexto, tecnologias híbridas, como os modelos MHEV fabricados em Minas Gerais, podem representar alternativas viáveis em determinadas regiões, especialmente quando associadas a incentivos locais.

2.2 Motores Elétricos

A construção dos motores elétricos é fundamental para aplicações industriais e automotivas, destacando-se pela simplicidade de componentes em comparação aos motores de combustão interna.

Segundo Marochi *et al* (2021), os principais elementos de um motor elétrico incluem a carcaça, tampas, estator e rotor. A carcaça e suas tampas formam a estrutura que abriga os componentes internos do motor. Os autores expõem que, pela necessidade de variação de campo magnético rotativo (giro), tem-se o estator, sendo a parte fixa, responsável por gerar as forças magnéticas necessárias para o funcionamento do motor. Já o rotor, a parte móvel, reage ao magnetismo do estator, produzindo movimento rotacional (MAROCHI *et al*, 2021).

A Figura 1 apresenta o motor elétrico desmontado, evidenciando seus componentes internos. A imagem ilustra a disposição dos elementos descritos.



Figura 1: Motor elétrico em vista explodida.
Fonte: Wonderful Engineering, 2014.

A Figura 1 apresenta a estrutura interna do motor, destacando componentes como o rotor, estator, bobinas e sua estrutura externa.

Como Marochi *et al* (2021) expõem em sua publicação, as forças magnéticas geradas pelas bobinas do estator, por meio da corrente elétrica, criam um campo magnético rotativo que induz o movimento do rotor. Conforme os autores, a frequência e intensidade dos impulsos magnéticos determinam o comportamento dinâmico do motor.

Em algumas aplicações industriais de menor complexidade, onde não há necessidade de controle preciso de torque ou variação da velocidade, o acionamento dos motores elétricos pode ser realizado por meio de dispositivos simples, como interruptores manuais e contadores (SOUZA, 2010). Como evidenciado pelo autor, esse tipo de acionamento é comum em máquinas operadas manualmente, nas quais o controle é feito localmente e sem necessidade de automação sofisticada.

Por outro lado, em sistemas mais avançados, como os utilizados em veículos elétricos ou em processos industriais automatizados, é essencial realizar o controle refinado da

velocidade e do torque do motor (SOUZA, 2010). Para isso, são empregados dispositivos eletrônicos como os inversores de frequência, que permitem ajustar a rotação do motor conforme a demanda do processo. Conforme o autor, os inversores possibilitam não apenas o controle da velocidade, mas também a otimização do desempenho energético e a proteção dos equipamentos, sendo indispensáveis em aplicações que exigem precisão e eficiência operacional.

2.2.1 Corrente Contínua x Corrente Alternada

Os motores elétricos seguem diferentes classificações de acordo com suas tecnologias, arranjo e componentes utilizados, tendo como classificação mais comum baseada no tipo de corrente utilizada, como corrente contínua (CC) e corrente alternada (CA) (LIMA *et al*, 2022).

A Figura 2 apresenta as principais classificações dos motores elétricos.

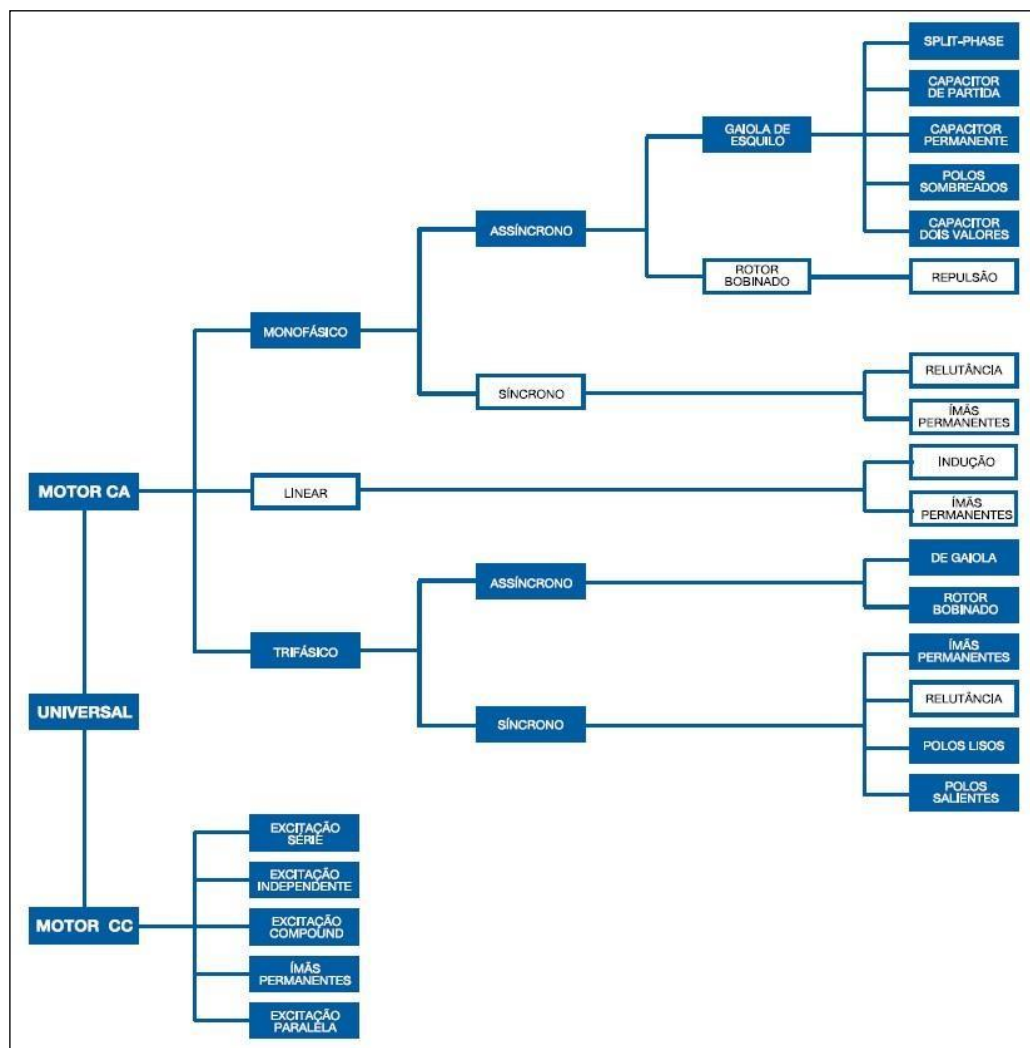


Figura 2: Diagrama dos motores elétricos.

Fonte: Adaptado de WEG, 2024.

O diagrama, adaptado do material técnico da WEG, apresenta uma classificação estruturada dos motores elétricos a partir do tipo de alimentação e do princípio construtivo eletromagnético. O diagrama organiza os motores em três grandes grupos: motores de corrente alternada (CA), motores universais e motores de corrente contínua (CC), detalhando suas subdivisões técnicas e evidenciando as relações entre arquitetura elétrica, construção mecânica e aplicação.

No grupo dos motores CA, há divisão entre monofásicos, trifásicos e lineares. Os monofásicos, utilizados em aplicações residenciais e comerciais leves, subdividem-se em assíncronos (principalmente do tipo gaiola de esquilo, com variantes como *split-phase*, capacitor de partida, capacitor permanente e polos sombreados) e síncronos (relutância ou ímãs permanentes). Conforme catálogo técnico da WEG, esses motores são indicados para ventiladores, bombas de pequeno porte, compressores e equipamentos domésticos, onde simplicidade construtiva e custo reduzido são fatores determinantes.

Os motores trifásicos, por sua vez, representam o núcleo das aplicações industriais. Dividem-se em assíncronos (de indução) — nas versões gaiola de esquilo e rotor bobinado — e síncronos, que podem ser de polos lisos, polos salientes, relutância ou ímãs permanentes (WEG, 2024). Segundo a WEG, os motores de indução trifásicos são empregados em bombas, compressores, correias transportadoras, máquinas-ferramenta e sistemas de ventilação industrial, devido à robustez, baixo custo de manutenção e elevado rendimento. Já os síncronos trifásicos são indicados para aplicações de alta eficiência, controle preciso de velocidade e grandes potências, incluindo sistemas de tração elétrica, compressores industriais e acionamentos com inversores de frequência.

O diagrama também contempla os motores lineares, que convertem energia elétrica diretamente em movimento linear, sendo aplicáveis em sistemas automatizados, transportadores especiais e soluções industriais específicas.

Na categoria dos motores universais, observa-se a capacidade de operação tanto em CA quanto em CC. Conforme literatura técnica da WEG, são empregados principalmente em ferramentas elétricas portáteis e eletrodomésticos, onde se requer alta rotação e elevada relação potência-peso.

Por fim, os motores CC são classificados segundo o tipo de excitação: série, paralela, independente, *compound* e ímãs permanentes. Embora tenham perdido espaço em ambientes

industriais convencionais devido ao avanço dos inversores aplicados aos motores CA, ainda são utilizados em aplicações que demandam elevado torque em baixas rotações ou controle simplificado de velocidade, como sistemas específicos de tração e equipamentos industriais dedicados.

De forma sintética, o diagrama evidencia a lógica de seleção técnica defendida pela WEG: o tipo de alimentação define a arquitetura eletromagnética, que por sua vez determina características de torque, velocidade, eficiência e manutenção, condicionando a aplicação final. Assim, a figura funciona como um mapa tecnológico que relaciona princípios construtivos aos campos de utilização industrial, comercial e automotivo, servindo como referência estruturada para a especificação de motores elétricos.

No grupo dos motores de corrente contínua, os BLDC - *Brushless Direct Current*, normalmente utilizam ímãs permanentes no rotor e são conhecidos pela simplicidade e eficiência em aplicações de micromobilidade, como *bikes* e *scooters* elétricas (TAPPA *et al*, 2024). Por outro lado, os motores de corrente alternada, especialmente os trifásicos, são amplamente utilizados em veículos elétricos de maior porte devido à sua capacidade de operar em altas potências e torques (MAROCHI *et al*, 2021).

Os BLDCs diferem dos motores CC convencionais por dispensarem escovas e utilizarem ímãs permanentes, resultando em maior eficiência, durabilidade e menor necessidade de manutenção (KALATEC, 2025). Segundo o catálogo da Kalatec (2025), a comutação eletrônica controla a energização das bobinas, onde o estator permanece fixo e o rotor, composto pelos ímãs, gira ao redor dele. Esse design reduz perdas energéticas e garante resposta dinâmica rápida.

Com dimensões compactas e menor peso, esses motores oferecem operação silenciosa e baixa interferência eletromagnética, sendo ideais para aplicações eletrônicas e automação (BASTOS e SILVA, 2016). Além disso, de acordo com o catálogo da Kalatec (2025), a estrutura dos BLDCs elimina desgastes mecânicos, proporcionando maior vida útil e eficiência energética. A utilização de sensores *Hall* no controle eletrônico pode melhorar a precisão, tornando esses motores uma escolha versátil para diversas aplicações exigentes.

A Figura 3 apresenta o motor elétrico *Brushless* DC, evidenciando seu rotor e os ímãs permanentes.

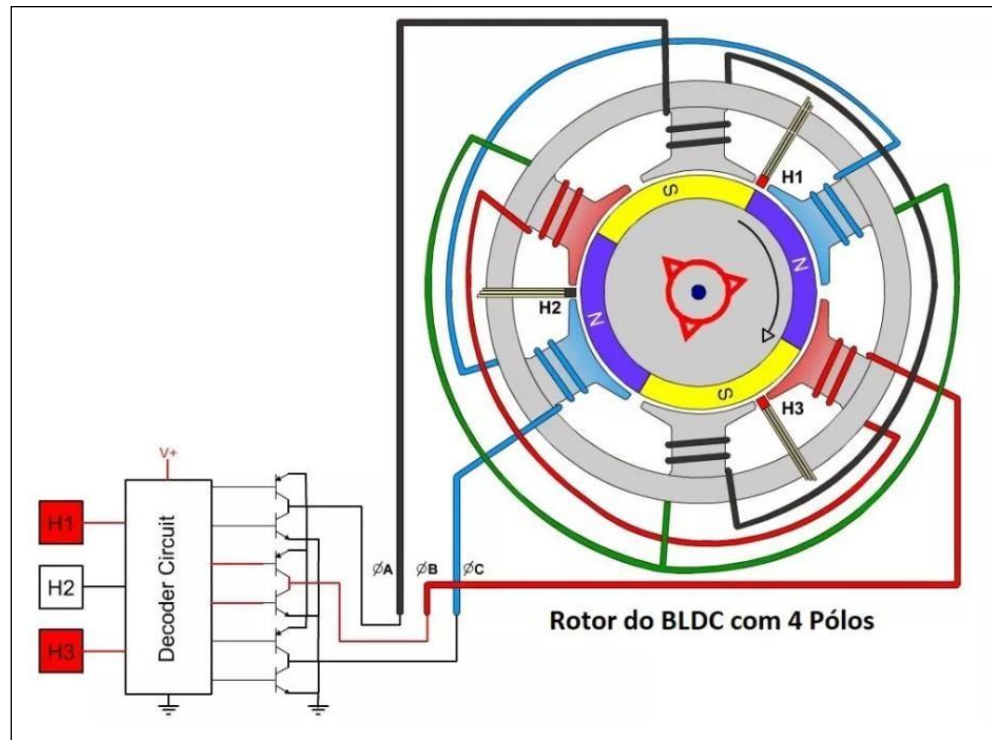


Figura 3: Motor Brushless DC.
Fonte: Kalatec, 2025.

A Figura 3 permite visualizar a estrutura interna do motor elétrico de corrente contínua sem escovas, destacando também a comutação das bobinas feita eletronicamente.

2.2.2 Motores Síncronos de Imã Permanente

A *Microchip Technology Inc* (2025) destaca que os motores síncronos de imã permanente (PMSM – *Permanent Magnet Synchronous Motor*) são uma categoria de motores sem escovas, caracterizada pela alta confiabilidade e eficiência. Diferentemente dos motores de indução eletromagnética, os PMSMs possuem imãs permanentes no rotor, eliminando a necessidade de corrente retórica e resultando numa maior densidade de torque em um tamanho reduzido (ROMAO *et al*, 2023).

Os PMSMs são utilizados por diversas montadoras, como a Tesla, que utiliza os motores síncronos de imã permanente em diferentes configurações: no eixo traseiro - Tesla Model 3 e Tesla Model Y – e Model S e Model X Plaid, que utilizam PMSM também no eixo dianteiro (TESLA, 2024).

A Figura 4 ilustra este conjunto aplicado pela Tesla, sendo oficialmente denominado “motor síncrono de relutância assistido por imã interior permanente” pela empresa, abreviado por *IPMSynRM*.

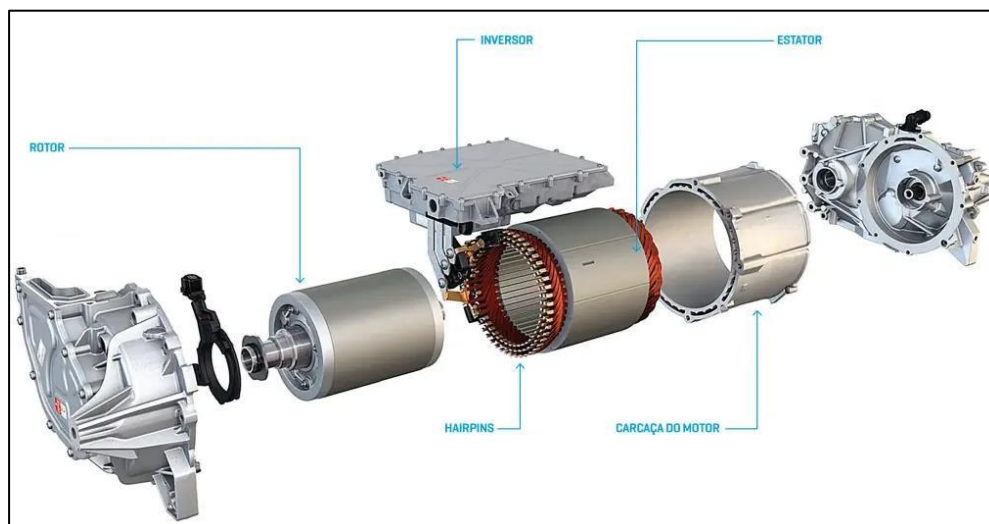


Figura 4: IPMSynRM.

Fonte: Adaptado de Lammotor, 2024.

Como pôde-se observar na Figura 4, o sistema é composto pelo rotor, estator, carcaça da caixa de velocidades, carcaça do motor e carcaça intermediária, compondo o conjunto de estruturas externas e internas do motor.

O Tesla Model 3, prioriza eficiência aliada a autonomia, tendo como aplicação o motor *IPMSynRM* (TESLA, 2024). Em paralelo, os Model S e X adotam motores de indução, permitindo acelerações rápidas e operação em altas temperaturas sem risco de desmagnetização. Conforme especificado no catálogo técnico da Tesla (2024), os modelos citados podem ter ou não versões que utilizam tanto os motores de ímãs permanentes quando por indução, dispostos comumente no eixo dianteiro (indução) ou eixo traseiro (ímã permanente).

Para a Lammotor (2024), embora compactos e eficientes, os motores de ímã permanente enfrentam desafios relacionados à desmagnetização, que pode ocorrer devido a temperaturas elevadas, vibrações ou campos eletromagnéticos intensos do estator. Diante do exposto, para mitigar esse problema os ímãs são embutidos no núcleo do rotor, em vez de montados na superfície, reduzindo a influência do campo magnético do estator (LAMMOTOR, 2024).

Como também abordado no artigo da Lammotor (2024), o rotor do Model 3 possui seis ranhuras axiais em forma de V, onde ímãs de neodímio-ferro-boro $\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$ são embutidos. Essa configuração, conhecida como "ímã permanente interior" (IPM), minimiza perdas por correntes parasitas e potencializa a eficiência térmica. Diferentes montadoras ajustam o tamanho, posição e número dos ímãs, sendo esse um diferencial tecnológico crucial para o projeto (LAMMOTOR, 2024).

Pelas especificações técnicas da Tesla (2024), o motor 3D6, introduzido no Model 3 de 2022, utiliza enrolamentos de fio plano em vez de fio redondo, aumentando a densidade de potência e torque. Esse design promove o preenchimento das ranhuras do estator em 20%, reduzindo a resistência e o aquecimento.

A Tesla aplicou essa tecnologia ao Model Y, cujos avanços levaram o motor 3D6 para 220 kW em comparação aos 202 kW do 3D1 (TESLA, 2024). Essas melhorias foram alcançadas por meio de otimizações no design do motor, incluindo o uso de PMSM com arrefecimento a líquido e variador de frequência.

Segundo a Lammotor (2024), a Tesla utiliza um sistema de resfriamento que combina o resfriamento do estator e do rotor, empregando canais de óleo para dissipação de calor. Especificamente, o estator possui 162 canais de óleo que formam um circuito de resfriamento integrado ao invólucro. O rotor é projetado com orifícios que permitem o resfriamento interno, e anéis plásticos com 16 orifícios distribuem o óleo uniformemente para resfriar as extremidades do enrolamento. Esse design avançado pode melhorar significativamente a dissipação de calor e aumenta a densidade de potência do motor (LAMMOTOR, 2024).

2.2.3 Motores de Indução e de Fluxo Axial

Os motores assíncronos, também denominados motores de indução, caracterizam-se pela ausência de ímãs permanentes no rotor, sendo este geralmente constituído por barras condutoras em configuração tipo gaiola de esquilo. Segundo Marochi (2010), essa construção resulta em elevada robustez mecânica, simplicidade construtiva e menor dependência de materiais magnéticos de alto custo, o que pode reduzir a exposição a variações no preço de terras raras. Em termos comparativos, o custo do motor de indução tende a ser competitivo em aplicações de média e alta potência, embora o sistema completo (incluindo inversor e controle) influencie significativamente o custo final do conjunto motriz (MAROCHI, 2010).

No contexto automotivo, a Tesla empregou motores de indução nos modelos Model S e Model X em diferentes gerações de powertrain. De acordo com informações da Tesla (2024), essa escolha está associada à elevada capacidade de entrega de potência, robustez e bom desempenho em regimes de alta carga. O motor de indução apresenta boa capacidade de sobrecarga e ausência de risco de desmagnetização, característica inexistente por não utilizar ímãs permanentes. Entretanto, quando comparado a motores síncronos de ímãs permanentes, pode apresentar densidade de potência e eficiência ligeiramente inferiores em determinadas faixas de operação, especialmente em cargas parciais, devido às perdas associadas à corrente

(MAROCHI, 2010). Assim, não se trata de limitação estrutural, mas de diferença de compromisso entre custo dos materiais, eficiência e estratégia de controle.

Quanto à densidade de potência (potência por unidade de massa ou volume), motores de indução apresentam valores elevados e adequados a aplicações de alto desempenho, porém, em geral, inferiores aos motores síncronos de ímãs permanentes equivalentes. O fato de serem empregados em veículos de alta performance não implica necessariamente maior densidade específica, mas sim capacidade de fornecer alta potência absoluta com confiabilidade térmica e estrutural, especialmente quando associados a sistemas avançados de arrefecimento e controle eletrônico (TESLA, 2024).

Em termos de eficiência, motores de indução modernos podem alcançar elevados rendimentos, particularmente em regime nominal. Contudo, conforme discutido por Marochi (2010), a presença de perdas no rotor tende a impactar levemente o desempenho em comparação com motores síncronos de ímãs permanentes, que não apresentam perdas por escorregamento. Ainda assim, a diferença de eficiência depende do ponto de operação e da calibração do sistema de controle.

No que se refere aos motores de fluxo axial, estes diferenciam-se pela geometria construtiva em que o fluxo magnético se desenvolve paralelamente ao eixo de rotação, permitindo arquitetura mais compacta e redução do comprimento axial. Segundo catálogo técnico da YASA (2025), motores de fluxo axial podem apresentar elevada densidade de potência e torque específico, devido à maior área efetiva de interação eletromagnética e ao melhor aproveitamento volumétrico. Essa configuração é particularmente atrativa para aplicações automotivas de alto desempenho e sistemas híbridos, nos quais restrições de espaço e massa são determinantes. A maior densidade de potência decorre da topologia construtiva e não apenas do tipo de excitação, podendo ser combinada com arquiteturas síncronas de ímãs permanentes (YASA, 2025).

Portanto, motores assíncronos apresentam vantagens relacionadas à robustez e boa capacidade de sobrecarga, enquanto motores síncronos de ímãs permanentes tendem a oferecer maior eficiência e densidade de potência em determinadas condições. No caso dos de motores de fluxo axial, representam uma solução construtiva alternativa voltada à maximização da densidade de potência e à compactação do conjunto motriz, sendo atualmente explorados por fabricantes especializados como a YASA.

2.3 Eixo Diferencial Traseiro

No contexto da hibridização de veículos mistos e de carga leve, a integração dos sistemas de propulsão elétrica tem se mostrado essencial para aprimorar o desempenho e a eficiência energética dos veículos a combustão, além de mitigar os efeitos dos gases poluentes e aumento da autonomia dos veículos (MACHADO, 2013).

Entre os diversos componentes que compõem os sistemas de propulsão, o eixo diferencial traseiro, disponível nos veículos de tração traseira, como os Veículos Utilitários de Carga (VUC) e os Veículos Mistos, destinados ao transporte de passageiros e de carga, desempenham papel fundamental ao distribuir o torque proveniente do motor para os semieixos de transmissão e posteriormente às rodas, garantindo estabilidade do veículo e resposta precisa durante a condução (COSTA, 2019).

De acordo com a publicação de Marochi *et al* (2021), na maioria das aplicações dos motores elétricos de tração, estes não são acoplados diretamente à roda, como eram nas primeiras concepções deste tipo de propulsão, ou ao eixo motriz do veículo. Para os autores, normalmente, são intermediados por um conjunto de engrenagens e transmissão de uma ou mais velocidades, além do diferencial, compactando a construção em um único conjunto e, em alguns casos, com o motor elétrico dentro da própria carcaça da transmissão.

Os motores são classificados por níveis de proteção que variam de IP55 a IP68, indicando a sua capacidade de resistir à penetração de sólidos e líquidos (MAROCHI *et al*, 2021). Consoante à publicação, um motor com classificação IP68 é totalmente impermeável a partículas e pode ser submerso em água até 1,5 m sem que haja infiltração. Essa estanqueidade é crucial, pois a presença de contaminantes entre o rotor e o estator pode acelerar o desgaste e ocasionar falhas mecânicas ou elétricas.

Em sistemas integrados à transmissão, as vedações e retentores especiais no eixo garantem que o lubrificante não invada o compartimento do motor (MAROCHI *et al*, 2021). Além disso, segundo os autores, o funcionamento dos motores elétricos gera calor proporcional à potência produzida, o que torna o controle térmico um aspecto fundamental para manter a eficiência e prevenir problemas como curtos-circuitos.

Sensores e termistores, posicionados na carcaça e entre as bobinas, monitoram a temperatura e comunicam à unidade de controle, que gerencia um sistema de arrefecimento similar ao dos motores a combustão — radiador, eletroventilador, bomba elétrica, reservatório de expansão, mangueiras e tubulações (RIBEIRO e NETO, 2022). Além disso, a ventilação

forçada ou o próprio movimento do veículo ajudam a dissipar o calor, prolongando a vida útil dos componentes (MAROCHI *et al*, 2021).

A Figura 5 apresenta as galerias de arrefecimento do motor elétrico utilizado pela Audi, evidenciando o circuito térmico de alta e baixa temperatura.

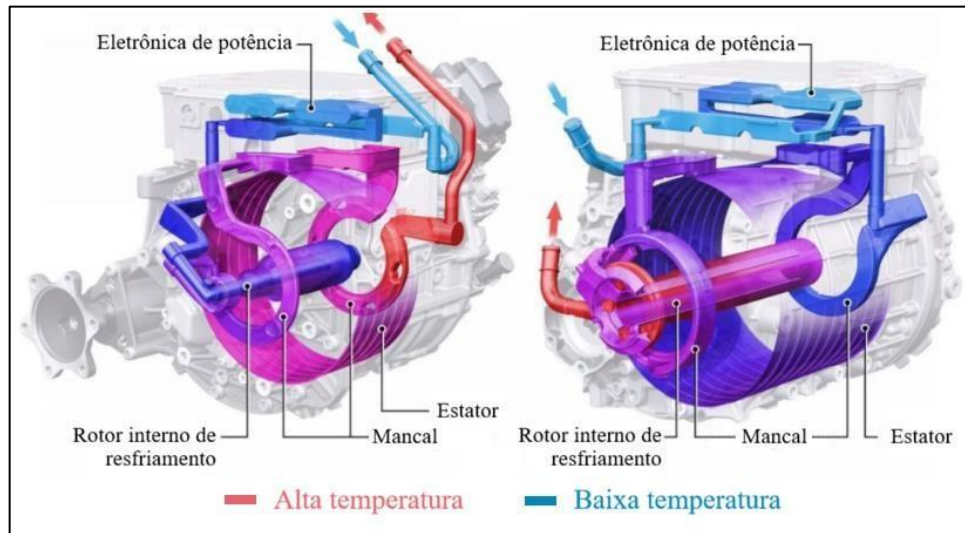


Figura 5: Galerias de arrefecimento dos motores elétricos aplicados no Audi e-Tron.
Fonte: Adaptado de Audi Media Center, 2019.

A Figura 5, referente ao conjunto motriz do e-Tron divulgado pela Audi, observa-se em corte as galerias internas de arrefecimento dos motores elétricos, evidenciando separação funcional entre circuitos térmicos de diferentes níveis de temperatura e fluido.

Na figura, observa-se um sistema de gerenciamento térmico integrado em que o circuito de baixa temperatura opera em série entre a eletrônica e o motor elétrico, enquanto o óleo atua internamente no conjunto. A região azul representa o fluido refrigerante de baixa temperatura, que ingressa pelo módulo antes de seguir para o motor; essa etapa prioriza a estabilidade térmica dos semicondutores, de alta criticidade. À medida que absorve energia térmica, o fluido percorre as galerias periféricas da carcaça e do estator, região ilustrada em laranja, onde ocorre a dissipação das perdas das bobinas e magnéticas do núcleo, caracterizando a troca térmica por condução através da estrutura do estator. Em seguida, destacado em rosa, a troca térmica que pode controlar as perdas do rotor e preservar a integridade dos ímãs permanentes, evitando degradação magnética. As áreas em roxo indicam as zonas de maior densidade de fluxo térmico, abrangendo tanto o rotor quanto pontos estruturais próximos aos mancais e à placa de apoio, onde há concentração de calor e necessidade de dissipação intensificada.

Como se observa, o controle térmico do conjunto motriz não atua de forma isolada, mas integra-se diretamente à arquitetura do powertrain, garantindo que o motor elétrico, eletrônica e elementos mecânicos operem dentro de limites térmicos compatíveis com regimes variáveis de carga e rotação. Essa gestão térmica torna-se particularmente relevante quando o sistema de tração está associado a arranjos híbridos, nos quais a interação entre motor elétrico, motor a combustão e sistema de transmissão impõe variações dinâmicas de torque e potência.

Nos HEVs, a transmissão tradicional tem sido substituída por um sistema avançado conhecido como e-CVT (Transmissão Continuamente Variável Eletrônica) que se difere das transmissões CVT convencionais utilizando um conjunto de engrenagens planetária e satélites aliadas aos motores elétricos para proporcionar uma variação contínua e suave das relações de transmissão (BORINI, 2023).

Segundo Borini (2023) esse sistema auxilia constantemente a relação de transmissão com base na velocidade do veículo, condições da estrada e demanda de potência, otimizando a eficiência e o desempenho. Além disso, de acordo com o autor, em casos em que apenas a demanda do motor elétrico é suficiente, o motor a combustão pode operar com menor carga (ou até desligado) utilizando o conjunto de geradores para recarga da bateria.

A Figura 6 apresenta o conjunto de *powertrain* e-CVT com motor elétrico e motor a combustão com corte em seção, evidenciando o tipo e configuração do conjunto.

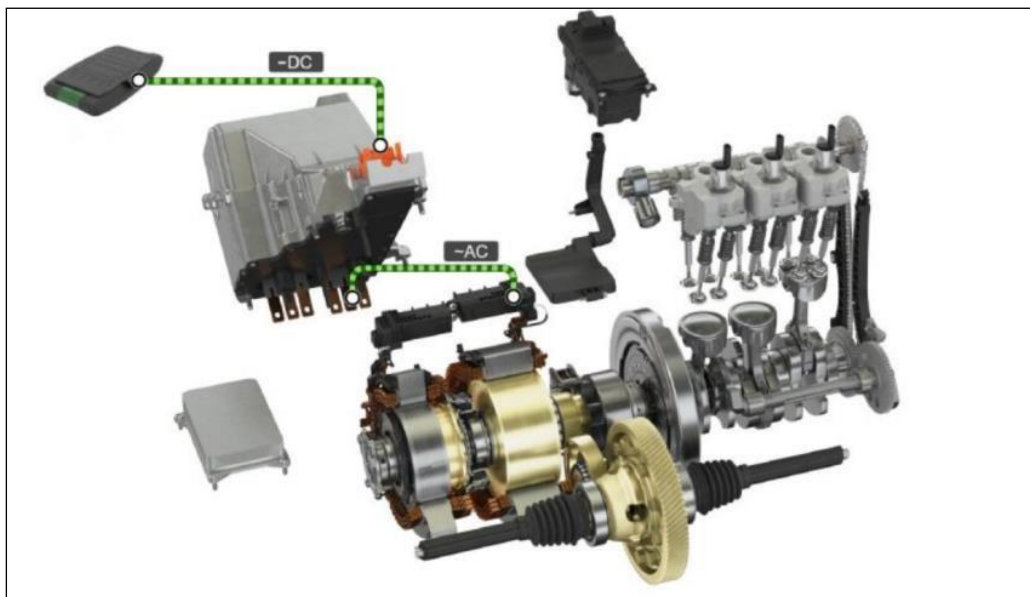


Figura 6: Tração unicamente pelo motor elétrico.
Fonte: Borini, 2023.

Nesta configuração apresentada na Figura 6, a tração do veículo é impulsionada somente pelo motor elétrico, recebendo energia para mover as rodas, enquanto o motor a combustão permanece inoperante para propulsão. O papel do motor térmico neste caso não é mover diretamente as rodas, mas atuar de forma complementar como gerador de energia para carregar as baterias. Esse sistema é comum nas arquiteturas híbridas e-CVT, onde a gestão eletrônica decide dinamicamente se o motor a combustão deve operar para gerar eletricidade às baterias, ou promover recarga durante regimes de alta carga (RENAULT, 2023).

A Figura 7 apresenta o conjunto de *powertrain* e-CVT com motor elétrico e motor a combustão evidenciando a configuração onde o motor a combustão utiliza um dos motores elétricos para geração de energia.

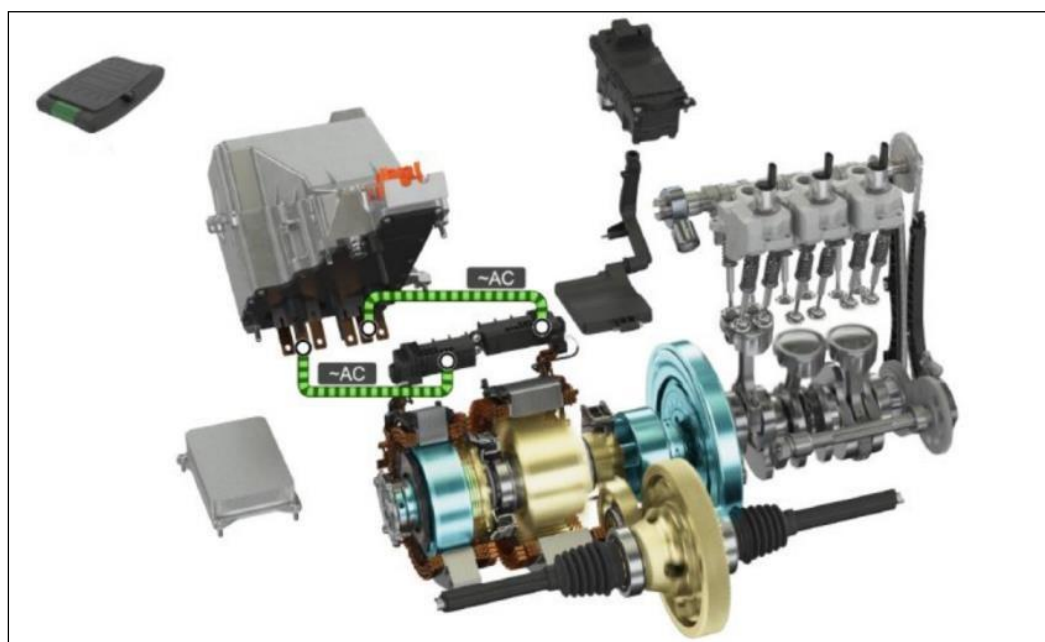


Figura 7: Motor elétrico 01 fornece propulsão para as rodas e motor a combustão utiliza o motor elétrico 02 para geração de energia.
Fonte: Borini, 2023.

Nesta segunda configuração, ilustrada na Figura 7, observa-se uma arquitetura híbrida do tipo série ou série-paralela com divisão de potência, na qual o motor elétrico 1 é responsável pela tração das rodas, enquanto o motor elétrico 2 atua como gerador acoplado mecanicamente ao motor a combustão interna (MCI). Nessa disposição, o MCI não transmite torque diretamente ao eixo motriz, tendo como função principal converter energia mecânica em energia elétrica para suprir o motor de tração e/ou recarregar a bateria de alta tensão, característica descrita na literatura técnica como típica de sistemas híbridos série.

Essa arquitetura possibilita que o motor a combustão opere em faixas de rotação e carga mais próximas de regiões de melhor eficiência térmica específica, uma vez que sua velocidade pode ser parcialmente desacoplada da velocidade das rodas. Tal desacoplamento pode contribuir para maior flexibilidade operacional do sistema, permitindo estratégias de controle orientadas à otimização energética. A gestão eletrônica do fluxo de potência entre gerador, bateria e motor de tração pode favorecer condições de operação mais eficientes, especialmente em ciclos urbanos caracterizados por variações frequentes de carga.

Assim, essa configuração tende a oferecer maior flexibilidade de controle e potencial otimização do consumo de combustível e da eficiência global do powertrain, mantendo a tração predominantemente elétrica, embora os ganhos efetivos dependam da calibração do sistema e do perfil de uso do veículo.

A Figura 8 apresenta o conjunto de *powertrain* e-CVT onde os dois motores elétricos e motor a combustão fornecem propulsão para as rodas.

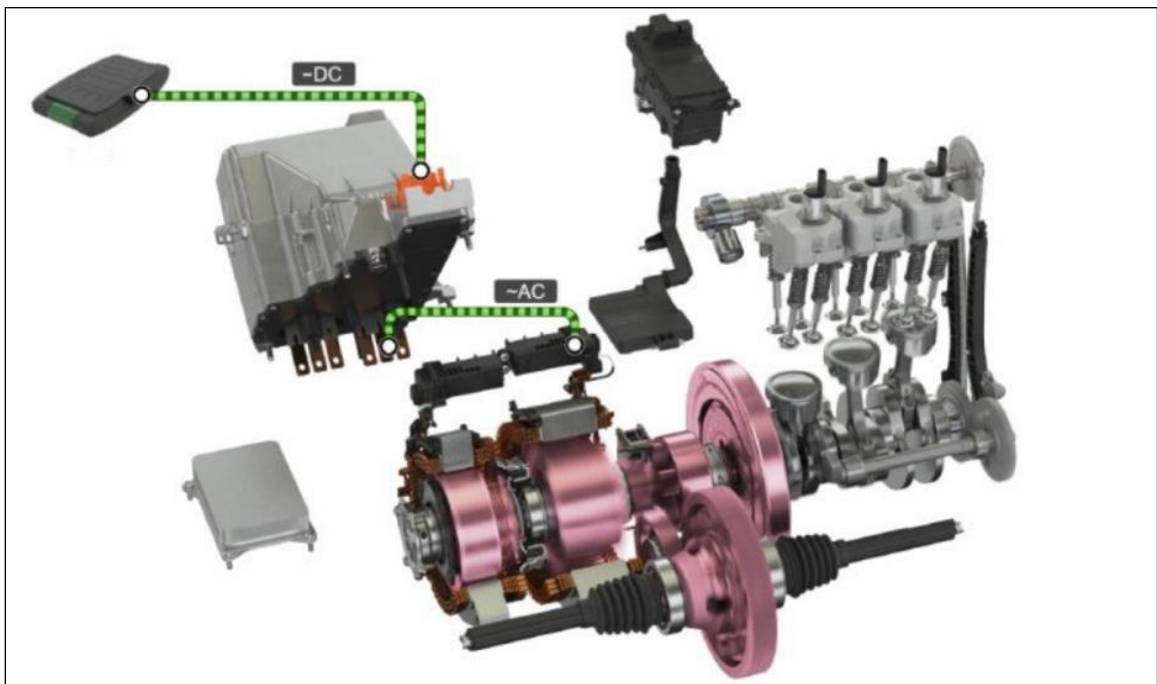


Figura 8: Os dois motores elétricos e motor a combustão fornecem propulsão para as rodas.
Fonte: Borini, 2023.

Na terceira configuração ilustrada na Figura 8, observa-se uma arquitetura híbrida do tipo série-paralela com divisão de potência, na qual o MCI e os motores elétricos atuam simultaneamente na propulsão do veículo. Diferentemente da configuração anterior, nesta disposição o MCI pode transmitir torque mecanicamente ao conjunto de engrenagens —

geralmente por meio de um sistema planetário integrado ao e-CVT — ao mesmo tempo em que os motores elétricos contribuem com torque adicional ou realizam funções de geração. A imagem evidencia o fluxo de energia elétrica proveniente da bateria em corrente contínua (DC), convertido pelo inversor em corrente alternada (AC) para alimentação dos motores elétricos, enquanto o motor térmico se conecta mecanicamente ao mesmo conjunto de transmissão.

Nesse arranjo, o e-CVT atua como elemento central de gerenciamento de potência, coordenando a divisão do torque entre as fontes térmica e elétrica. O sistema permite diferentes modos operacionais: tração elétrica pura em baixas demandas, assistência elétrica ao MCI em situações de alta carga (como aceleração intensa ou aclives) e recuperação de energia em desacelerações, quando os motores elétricos operam como geradores. Essa interação possibilita que o motor térmico opere em regimes mais favoráveis de eficiência sempre que possível, enquanto o motor elétrico compensa variações instantâneas de carga, promovendo suavidade na entrega de torque.

Do ponto de vista funcional, a Figura 8 representa um estágio mais integrado do powertrain híbrido, no qual há acoplamento mecânico direto entre o motor a combustão e o eixo de transmissão, diferentemente do modo puramente série. Essa configuração amplia a flexibilidade operacional do sistema, pois combina as vantagens da tração elétrica — resposta imediata de torque e recuperação energética — com a autonomia e a densidade energética do combustível líquido, resultando em uma arquitetura adaptativa capaz de alternar ou combinar fontes de potência conforme a demanda dinâmica do veículo.

Diante das configurações apresentadas nas Figuras 6, 7 e 8, observa-se que o sistema eCVT assume papel central na coordenação do fluxo de potência entre motor a combustão e máquinas elétricas, adaptando-se a diferentes estratégias de operação. Na Figura 6, tem-se a configuração com tração predominantemente elétrica, na qual o motor a combustão atua essencialmente como fonte auxiliar de energia, priorizando eficiência em regimes urbanos e redução do uso direto do MCI. Já na Figura 7, caracteriza-se a arquitetura do tipo série (ou série com divisão controlada de potência), em que o motor térmico aciona um gerador elétrico, desacoplando-se mecanicamente das rodas e permitindo operação em faixas mais estáveis de eficiência. Por fim, na Figura 8, observa-se a configuração série-paralela com divisão de potência, na qual tanto o motor a combustão quanto os motores elétricos podem contribuir diretamente para a tração, oferecendo maior disponibilidade de potência em situações de alta demanda, como acelerações intensas ou aclives.

Comparativamente, a configuração predominantemente elétrica (Fig. 6) tende a favorecer eficiência em baixas cargas e condução urbana; a arquitetura série (Fig. 7) oferece maior controle do regime de operação do motor térmico; e a configuração série-paralela (Fig. 8) amplia a flexibilidade operacional ao combinar torque mecânico direto e assistência elétrica.

Nesse contexto, o e-CVT não atua apenas como um elemento de variação contínua de relação, mas como um sistema de gerenciamento energético que coordena a interação entre as fontes de potência, ajustando automaticamente a contribuição de cada uma conforme a demanda de torque, velocidade e estado de carga da bateria. Dessa forma, o conjunto proporciona operação adaptativa, transições suaves entre modos de condução e potencial otimização do desempenho e da eficiência energética global do powertrain híbrido.

A topologia em série, de acordo com Moraes (2007), é o caso em que se converte toda potência do motor térmico em energia elétrica direcionada ao motor elétrico, conforme Figura 9. Tal como indicado pelo autor, essa opção é aplicada para sistemas cuja velocidade é constante, conseguindo operar o motor a combustão em seu regime de maior eficiência.

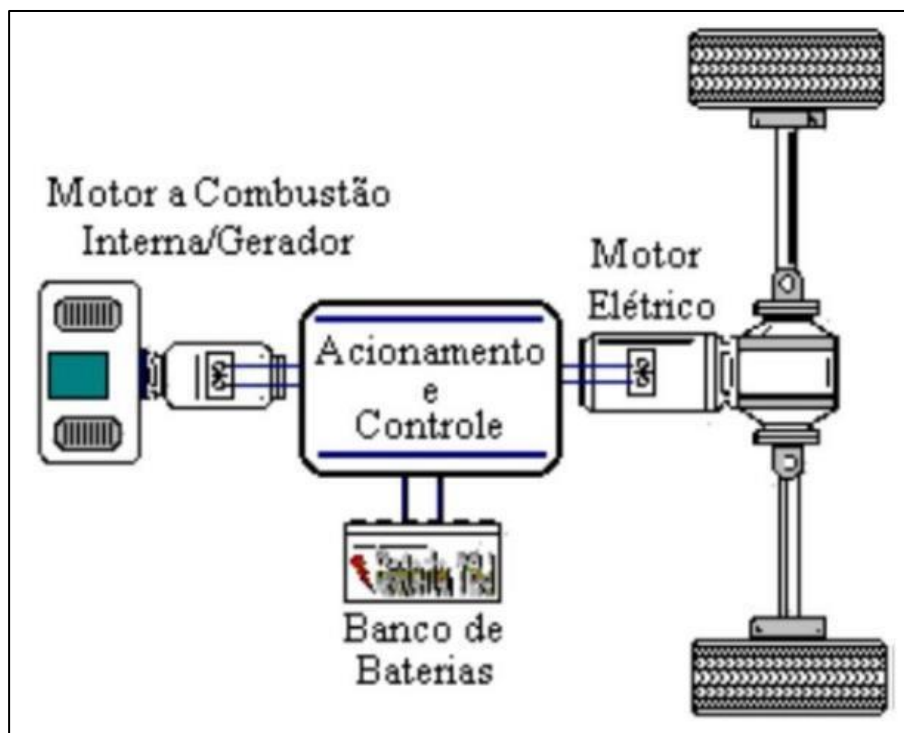


Figura 9: Topologia em série dos veículos híbridos.
Fonte: Moraes, 2007.

A Figura 9 ilustra o sistema em série onde o motor a combustão não está diretamente ligado às rodas. Em vez disso, ele aciona um gerador que converte a energia mecânica em

elétrica, armazenando-a em baterias ou fornecendo energia diretamente ao motor elétrico, responsável por movimentar o veículo.

Abaixo, pode-se observar na Figura 10 a topologia em paralelo dos motores a combustão e gerador elétrico sob a transmissão.

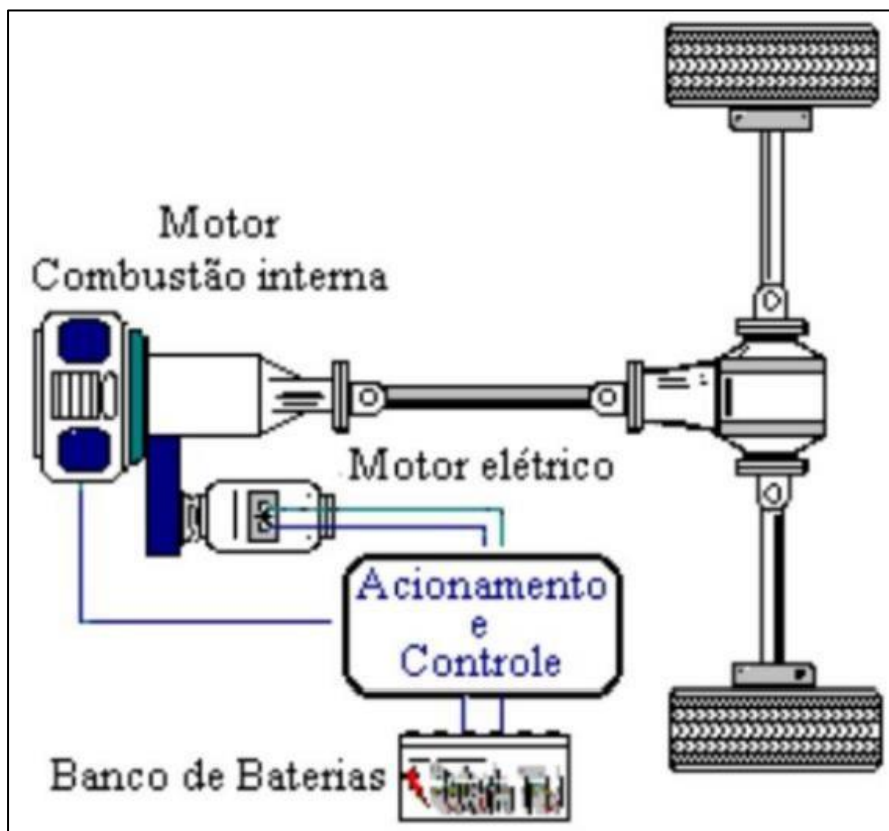


Figura 10: Topologia paralela dos veículos híbridos.
Fonte: Moraes, 2007.

Na topologia paralela (Figura 10), tanto o motor a combustão quanto o motor elétrico podem impulsionar as rodas de forma independente ou conjunta, de acordo com a demanda de potência e as estratégias de controle do sistema, resultando em maior flexibilidade operacional.

De forma análoga, o conceito *MASTER Electricway 4WD PHEV*, projeto desenvolvido com componentes inovadores para tração, representa uma solução híbrida plug-in aprimorada, alinhada com os requisitos de emissões da norma Euro 6 (MARINESCU *et al*, 2024).

Essa arquitetura, ilustrada na Figura 11, configura-se como um sistema paralelo, caracterizado pela soma de torque e pela presença de dois eixos de tração. Conforme Marinescu *et al* (2024), a organização desse conjunto de propulsão híbrida do tipo *Plug-in E-4WD* é estruturada em duas partes: o powertrain a combustão, localizado na dianteira do veículo, e o powertrain elétrico, posicionado no eixo traseiro.

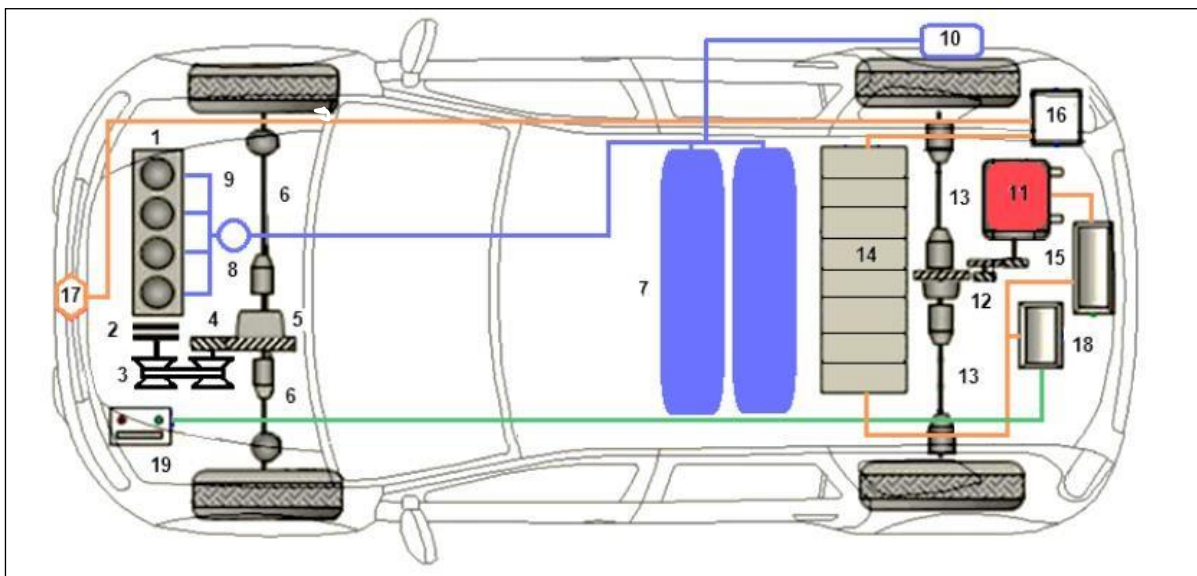


Figura 11: Arquitetura do *GASTER Electricway 4WD PHEV*.

Fonte: D. G. Marinescu *et al*, 2024.

De acordo com Marinescu *et al* (2024), pode-se observar na figura o powertrain térmico, composto por um motor a combustão (1) abastecido por GNV, acoplado a uma transmissão CVT (2, 3, 4, 5), instalado na parte dianteira do veículo, transmitindo para os semieixos (6). Na traseira, encontra-se o powertrain elétrico, equipado com um motor elétrico (11), tanque de combustível, com dois cilindros, localizado sob a região dos bancos traseiros (7), e bocais de recarga de combustível na lateral direita traseira (10) (MARINESCU *et al*, 2024).

Por Marinescu *et al* (2024), acima do eixo traseiro (13) a bateria de íon-lítio (14) fornece energia ao conjunto, e na mesma região estão montados o módulo inversor de tração do motor elétrico (15), o carregador da bateria de tração (16) e o carregador de 12V (18). Além disso, segundo os autores, o conector de recarga da bateria de tração (17) e a bateria auxiliar de 12V (19) são posicionadas na parte dianteira do veículo.

O sistema de gerenciamento térmico do veículo integra quatro circuitos hidráulicos complexos: um circuito de resfriamento de alta temperatura para o motor térmico, um circuito de resfriamento de baixa temperatura para os componentes elétricos, um circuito de aquecimento para o redutor de GNV e um circuito climático para o interior da cabine (MARINESCU *et al*, 2024).

O powertrain elétrico do *GASTER Electricway 4WD PHEV* integra o motor de indução acoplado a um redutor de transmissão diferencial, montado na parte traseira do veículo em uma solução inovadora (MARINESCU *et al*, 2024). Essa configuração utiliza um eixo do tipo H, combinado a uma travessia torcida (conforme ilustrado na Figura 12), sendo o eixo traseiro uma

solução adaptada do *GRAND HAMSTER Electricway 4WD*. Para ajustar o eixo à nova distribuição de peso, a suspensão traseira foi revisada e possui duas suspensões pneumáticas suplementares.

A Figura 12 apresenta a configuração do eixo traseiro com motor elétrico acoplado.

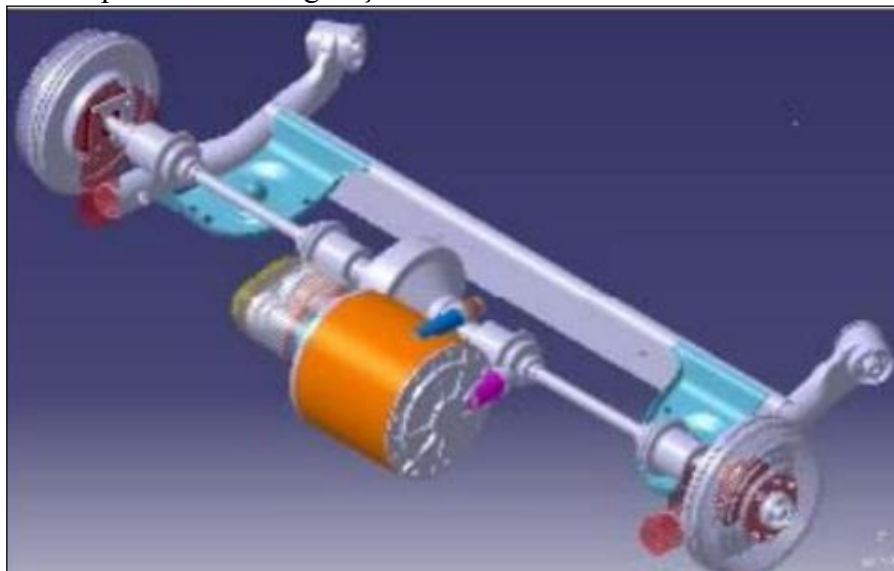


Figura 12: Eixo diferencial traseiro com motor elétrico.

Fonte: D. G. Marinescu *et al*, 2024.

A Figura 12 ilustra o eixo traseiro do tipo H, inspirado no sistema do *GRAND HAMSTER Electricway 4WD*, ao qual se acopla o motor elétrico no diferencial. Nessa configuração, a estrutura do eixo — que conta com braços laterais conectados a uma travessa central — é adaptada para acomodar o motor elétrico, resultando em um conjunto compacto e eficiente. Essa abordagem permite a distribuição de torque diretamente às rodas traseiras, tornando o sistema híbrido mais versátil e contribuindo para o desempenho e a tração em diferentes condições de rodagem (MARINESCU *et al*, 2024).

Diante disso, conforme dissertado por Costa (2019), o eixo diferencial traseiro é apresentado como um componente crítico na transmissão de torque, cuja versatilidade se manifesta por meio de diversos arranjos de engrenagens — como configurações do pinhão, coroa e sistemas planetários — que permitem uma distribuição precisa de potência conforme as exigências dinâmicas do veículo.

As abordagens anteriores expõem como essa flexibilidade não só otimiza a tração convencional, mas também possibilita a integração com motores elétricos, viabilizando soluções híbridas ou totalmente elétricas. Nesse contexto, *powertrain* disponíveis no mercado brasileiro demonstram que a união do diferencial traseiro com sistemas de propulsão elétrica

pode oferecer desempenho aprimorado e alta eficiência, impulsionando a evolução da mobilidade sustentável no país (FUELTECH, 2025).

A WEG (2024) vem expandindo sua atuação em mobilidade urbana através de soluções voltadas para os EVs, destacando-se com os motores *WTE300* e *WTE500*, e os inversores veiculares *CVW300* e *CVW500*. Esses motores foram desenvolvidos para aplicações de tração leve, veículos utilitários de carga, vans, micro-ônibus e caminhões leves que circulam predominantemente em áreas urbanas (WEG, 2024).

De acordo com o catálogo da WEG (2024), o *WTE300* trata-se de um motor elétrico compacto, capaz de fornecer alta densidade de potência e torque, o que garante boa capacidade de aceleração e desempenho em situações de tráfego intenso. Além disso, apresenta boa eficiência energética, contribuindo para a redução de emissões e para o menor consumo de energia por quilômetro rodado.

No caso do inversor *CVW300*, de acordo com a fabricante, foi projetado para atuar em conjunto com o motor de tração, controlando a corrente e a tensão de forma precisa e dinâmica (WEG, 2024). De acordo com a WEG (2024), através de algoritmos avançados de modulação, o dispositivo gerencia o fluxo de energia entre a bateria e o motor, ajustando a frequência e a fase de acordo com as demandas de torque e velocidade. Esse controle refinado otimiza o rendimento do sistema, permitindo um funcionamento suave, com menor dissipação de calor e maior confiabilidade.

Quando utilizados em conjunto, formam um *powertrain* elétrico robusto, oferecendo respostas ágeis em aceleração e retomadas, além de reduzir o custo total de operação (WEG, 2024). A arquitetura modular também facilita a integração em diferentes plataformas veiculares, permitindo que fabricantes de ônibus, caminhões e vans personalizem seus projetos de acordo com a capacidade de carga, autonomia desejada e exigências de desempenho (WEG, 2024).

A Figura 13 apresenta o conjunto de motor elétrico de mobilidade *WTE300* e o inversor veicular *CVW300*, ambos produzidos pela WEG, para sua atuação na mobilidade urbana direcionada a veículos leves.



Figura 13: Motor WTE300 e Inversor CVW300.
Fonte: Adaptado de WEG, 2024.

O projeto e interface dedicada às principais transmissões aplicadas no seguimento, ilustrados na Figura 13, podem operar também com freio eletromagnético, garantindo uma maior segurança na operação dos veículos.

A Tabela 1 apresenta os parâmetros do Inversor de Frequência CVW300 de 1ª e 2ª geração, com suas características principais de tensão, corrente, temperatura e proteção, sendo o componente específico para controle de motores de indução trifásicos de baixa tensão.

Tabela 1 – Parâmetros do Inversor Veicular *CVW300*

Parâmetros Elétricos	CVW300 – G1	CVW300 – G2
Tensão Nominal	24 – 72 V CC	24 – 48 V CC
Corrente Nominal	60 A 120 A 200 A	160 A 200 A
Corrente Máxima de Saída (2 min)	100 A 200 A 400 A	320 A 400 A
Refrigeração e Características Ambientais		
Faixa de Temperatura	-25 °C a 50 °C	

Base de fixação do tipo <i>coldplate</i> , com opções de montagem em sistemas com refrigeração a ar (ventilação forçada), a água ou chapa condutiva (fluxo de ar mínimo de 1,6 m/s)	
Parâmetros Mecânicos	
Grau de Proteção	IP66

Fonte: Adaptado de WEG, 2024.

Os dados abordados na Tabela 1 trazem as variações dentro do mesmo dispositivo, em sua nova geração, expondo as faixas de tensão se manteram similares, com diferença de 72 V para 48 V no CVW300 G2, além da Corrente Máxima de Saída que sofreu uma alteração em seu *range*, indo para 320 A a 400 A (WEG, 2024).

A Figura 14 apresenta o conjunto de motor elétrico de mobilidade *WTE500* e o inversor veicular *CVW500*, ambos também produzidos pela WEG, para sua atuação na mobilidade urbana direcionada a veículos utilitários.



Figura 14: Motor WTE500 e Inversor CVW500.
Fonte: Adaptado de WEG, 2024.

A solução, apresentada na Figura 14, é dedicada para transporte de carga e transporte público, como micro-ônibus. Possui alta densidade de potência, elevada eficiência, reduzido nível de ruído e mecânica projetada para fácil instalação no veículo (WEG, 2024).

Tabela 2 - Parâmetros do Inversor Veicular *CVW500*

Parâmetros Elétricos	
Tensão Nominal	130 – 400 V CC
Corrente Nominal	275 Arms
Corrente Sobrecarga (1 min)	550 Arms
Refrigeração e Características Ambientais	
Fluido de Refrigeração	20% glicol + 80% água
Faixa de Temperatura	-25 a 65 °C
Parâmetros Mecânicos	
Grau de Proteção	IP00 e IP66

Fonte: Adaptado de WEG, 2024.

Segundo o catálogo da *FuelTech* (2025), os sistemas *Powertrain FTE*, como o *WEG 23* e o *WEG 43*, se apresentam como inovações relevantes no acoplamento entre o motor elétrico e o eixo diferencial traseiro. Esses componentes foram desenvolvidos para suportar altas densidades de torque e proporcionar uma transferência de potência eficiente, contribuindo para a robustez e confiabilidade dos sistemas de propulsão em veículos híbridos e elétricos (FUELTECH, 2025).

Ainda de acordo ao material técnico da *FuelTech* (2025), as soluções integradas para acoplamentos no eixo diferencial traseiro promovem um controle preciso das demandas do veículo, aliado ao gerenciamento aprimorado. Essa sinergia contribui para o desempenho dos veículos, elevando sua performance e eficiência

A Figura 15 apresenta os conjuntos de *powertrain* disponíveis no catálogo da *FuelTech*, onde tem-se o *WEG 23* com motor de indução capaz de gerar 23 kW de potência de pico e o inversor *CVW300* de 72 V, sendo esta, a solução para a mobilidade urbana voltada a veículos leves. Além deste, outros 2 conjuntos também disponíveis – *WEG 43* e *WEG 130*.



Figura 15: Powertrain FTE WEG 23.

Fonte: Adaptado de FUELTECH, 2025.

Conforme apresentado na Figura 15, o *Powertrain FTE WEG 23* fornece um sistema para tração de veículos leves, composto pelo motor elétrico de indução *WTE300* e pelo inversor de frequência *CVW300*, operando em 72 V e permitindo o uso de baterias de lítio (maior desempenho e autonomia) ou de chumbo (menor custo e sem necessidade de BMS – *Battery Management System*).

Em conjunto aos dados apresentados na Tabela 1, o motor *WTE300* possui também um rotor de gaiola, carcaça 132 e grau de proteção IP55. Sua potência de pico é de 23 kW (31 CV) a 1760 RPM, com torque máximo de 130 Nm e rotação máxima de 6000 RPM. É refrigerado a ar, pesa 65 kg e tem ponta de eixo estriada interna (*Spline* 22 mm, 19 dentes).

O UTV Híbrido, que será apresentado na Figura 16, é um exemplo da viabilidade da hibridização dos veículos com motores elétricos integrados ao eixo. Desenvolvido pela *Giaffone Racing* em parceria com a *FuelTech* e a WEG, combina um motor a combustão *Suzuki Hayabusa* 1.3 L de 197 cv com um motor elétrico de 50 kW proporcionando potência total superior a 260 cv e torque aprimorado (FUELTECH, 2024).

Além da eficiência energética, a integração desses sistemas também amplia a tração, convertendo o UTV em um modelo 4x4 com eixo traseiro bloqueado. Ademais, a eletrificação permite otimizações estratégicas, como o uso independente dos motores para maximizar o desempenho em diferentes terrenos, reforçando o potencial da tecnologia híbrida e abrindo caminho para aplicações futuras no meio automotivo (FUELTECH, 2024).

A Figura 16 apresenta um mosaico de imagens do UTV Híbrido feito pela *Giaffone Racing* com powertrain da *FuelTech* em parceria com a WEG.



Figura 16: UTV Híbrido *Giaffone Racing*.
Fonte: Adaptado de FUELTECH, 2025.

Considerando os aspectos apresentados, observa-se que a integração de motores elétricos ao eixo diferencial traseiro pode ser explorada como uma possibilidade no contexto da hibridização e/ou eletrificação veicular. Essas configurações permitem a interação com diferentes componentes do sistema e pode ser implementada em conjunto com estruturas projetadas para suportar condições diversas de operação.

2.4 Baterias de Tração

Com a crescente eletrificação, mesmo para veículos movidos a combustão, as baterias tornaram-se pilar fundamental para a indústria, onde destaca-se a busca por inovações tecnológicas, eficiência energética e recuperação de energia que são aspectos essenciais para o desempenho dos novos sistemas (CASTRO *et al*, 2013).

Castro *et al* (2013) expõem que a indústria brasileira de baterias automotivas concentrasse em chumbo-ácido, não havendo produção de baterias de níquel-metal (NiMH) ou de íonlítio, por exemplo. Além disso, conforme exposto no artigo, esse mercado é dominado por empresas nacionais como a Moura, enquanto a Johnson Controls também possui grande participação. Entretanto, conforme abordado, no exterior esse comércio é superavitário pois correlaciona-se

com o tamanho da frota circulante e com a produção de veículos em maior escala (CASTRO *et al*, 2013).

A empresa chinesa BYD, destaque no mercado nacional de veículos elétricos, adquiriu 852 hectares em Minas Gerais para direitos minerais no Vale do Lítio (CESAR, 2025). Esse setor tem atraído grande interesse internacional e o Brasil destaca-se pelos depósitos de lítio mais adequados para mineração tradicional. Além disso, conforme abordado pelo autor, os terrenos adquiridos possuem proximidade com a nova fábrica na Bahia, cuja produção será estimada em 150 mil veículos elétricos por ano.

Nos veículos elétricos, as baterias de tração utilizadas são compostas por células eletroquímicas interligadas – em série, paralelo ou numa junção de ambas – que armazenam energia elétrica sob a forma de energia química (NETO, 2023). Segundo o autor, seu funcionamento baseia-se na interação entre ânodo, cátodo, eletrólito e separador.

Para Neto (2023), as baterias, formadas por células interligadas, são monitoradas por um circuito eletrônico. Para o autor, o número, tamanho e disposição dessas células determinam sua tensão e capacidade de armazenamento, e as variações em suas características podem causar desequilíbrios, resultando em desperdício de energia e envelhecimento acelerado. Por isso, o uso de um Sistema de Gerenciamento de Bateria (BMS) é essencial para monitorar e equilibrar esses parâmetros, garantindo maior segurança e durabilidade (NETO, 2023).

Existem no mercado, de acordo com Neto (2023), as baterias primárias, que não são recarregáveis e inadequadas para os veículos elétricos, e secundárias, que podem ser recarregadas por vários ciclos, reduzindo custos a longo prazo e o impacto ambiental. Pelo autor, as baterias recarregáveis são compostas por células eletroquímicas de diferentes formatos e composições, como o NiMH, NiCd, Na-NiCl, chumbo-ácido e íons de lítio, diferenciando-se pelos materiais dos eletrodos, tipos de íons e eletrólitos utilizados.

A química dos materiais influencia diretamente o desempenho e a durabilidade da bateria e, entre os formatos mais utilizados, destacam-se as células cilíndricas, que exigem muitas unidades para alto desempenho devido à capacidade limitada de carga, e as células prismáticas, geralmente encapsuladas em alumínio ou aço, oferecendo maior estabilidade estrutural, eficiência no uso do espaço e melhor gestão térmica, sendo as mais empregadas nos veículos elétricos atualmente (NETO, 2023).

Para Castro *et al* (2025), as baterias de íon-lítio formam uma categoria que utiliza o lítio como componente principal, geralmente no cátodo e no eletrólito. Enquanto os ânodos são

predominantemente compostos por grafite, os cátodos podem variar entre seis tipos principais: LCO, NCA, NMC, LMO/LTO, LFP e LVP. Nos veículos elétricos utiliza-se uma diversidade de composições, conforme as necessidades de desempenho e segurança (CASTRO *et al*, 2025).

Na Figura 17 pode-se observar a taxa de crescimento dos tipos de baterias nas últimas décadas, onde obteve-se considerável crescimento a partir de 2010, quando o mercado de veículos elétricos começou a alcançar patamares globais de produção. Além disso, o surgimento de novos tipos de baterias e desenvolvimento de novas tecnologias também mostra-se notável, com as baterias de lítio tendo maior taxa de crescimento dentre as outras (SILVA, 2019).

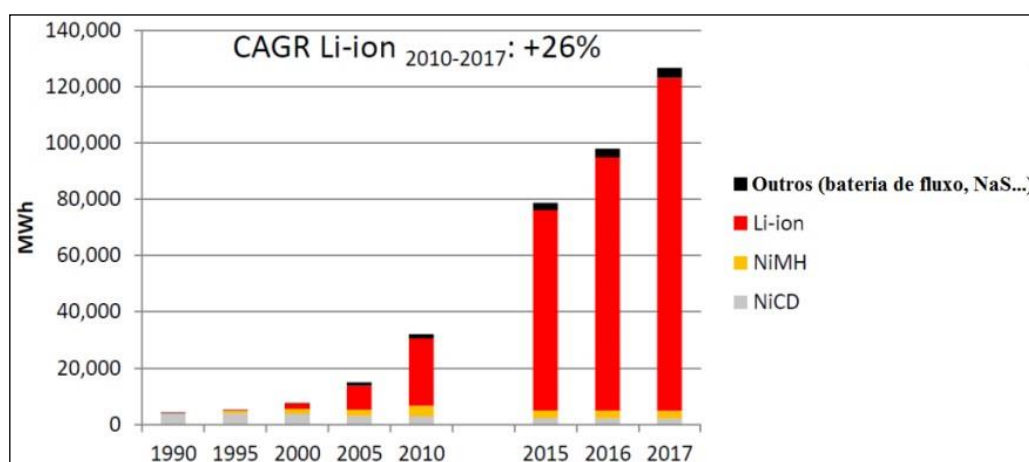


Figura 17: Taxa de crescimento dos tipos de baterias.

Fonte: Adaptado de Silva, 2019.

Pela Figura 17, nota-se o crescimento das baterias de lítio desde o início dos anos 2000, obtendo vantagem no crescimento em relação aos outros tipos.

Dessa forma, no panorama global, segundo Castro *et al* (2025), o avanço das tecnologias de armazenamento também tem transformado a indústria automotiva, abrindo caminho para modelos mais eficientes e ecológicos. A integração de novas químicas, como a do sódio, aliada à crescente demanda por mobilidade sustentável, reforça o papel estratégico dessas inovações.

Diante do exposto, as baterias para tração em veículos elétricos são fruto de uma convergência entre engenharia avançada, gerenciamento de energia e pesquisa contínua em novas tecnologias. O futuro aponta para sistemas cada vez mais integrados e adaptáveis, capazes de superar desafios técnicos e ambientais, promovendo uma revolução na mobilidade urbana.

3 METODOLOGIA

Esse capítulo aborda os procedimentos e características da pesquisa, com objetivo de determinar os materiais e métodos para sua realização, bem como os instrumentos da coleta de dados e a maneira que são tabulados.

3.1 Tipos de Pesquisa

Segundo Richardson *et al* (1999), a pesquisa pode ser amplamente dividida em dois grandes métodos: o quantitativo e o qualitativo. Lakatos e Marconi (2003) definem o método quantitativo como aquele que envolve a quantificação tanto na coleta quanto no tratamento das informações, frequentemente por meio de técnicas estatísticas.

Nesse contexto, Richardson *et al* (1999) enfatizam que esse método busca assegurar a precisão dos resultados e evitar distorções na análise, ampliando, assim, a confiabilidade das inferências. Por outro lado, Creswell e Poth (1998) defendem que a pesquisa qualitativa exige a coleta de dados empíricos – como registros históricos, fatos, fotografias e estudos de casos em ambientes com realidades semelhantes à investigada – permitindo uma análise aprofundada dos fenômenos e do contexto, o que favorece a interpretação dos problemas estudados.

No que se refere aos procedimentos técnicos, Andrade (2010) distingue a pesquisa bibliográfica, que se baseia em materiais previamente publicados (tais como livros, áudios, anais de simpósios, congressos, artigos e periódicos disponíveis na internet), da pesquisa experimental. Esta última define o objeto de estudo, seleciona as variáveis que podem influenciá-lo e estabelece formas de controle e observação dos efeitos dessas variáveis, sendo geralmente realizada por meio de amostragem – assumindo que os resultados obtidos para uma amostra ou grupo de amostras sejam representativos de toda a população.

Este trabalho tem por objetivo estudar a integração de um motor elétrico ao eixo diferencial traseiro por meio de um acoplamento mecânico, caracterizando-se como uma pesquisa de natureza exploratória e bibliográfica, com foco na análise de soluções existentes e no desenvolvimento de um projeto conceitual com apoio de ferramentas computacionais.

3.2 Materiais e Métodos

O trabalho originou-se de uma pesquisa bibliográfica sobre a hibridização de veículos mistos e de carga leve por meio da integração de um motor elétrico acoplado ao eixo diferencial traseiro, abordando os componentes principais, as diferentes tecnologias e sistemas e a

viabilidade do uso em conjunto de uma fonte energética alternativa diante da dependência dos combustíveis fósseis.

Após os estudos apresentados no capítulo dois, foram identificados requisitos para a aplicação do sistema híbrido e definidos parâmetros preliminares para sua implementação. Em seguida, determinou-se a arquitetura a ser empregada.

A Figura 18 apresenta o fluxograma metodológico do estudo, ilustrando as etapas realizadas desde a definição do objeto ao projeto de montagem. Esse esquema representa o passo a passo adotado na integração do motor elétrico ao eixo diferencial traseiro de um veículo misto e de carga leve, destacando as fases de seleção dos componentes e modelagem CAD.

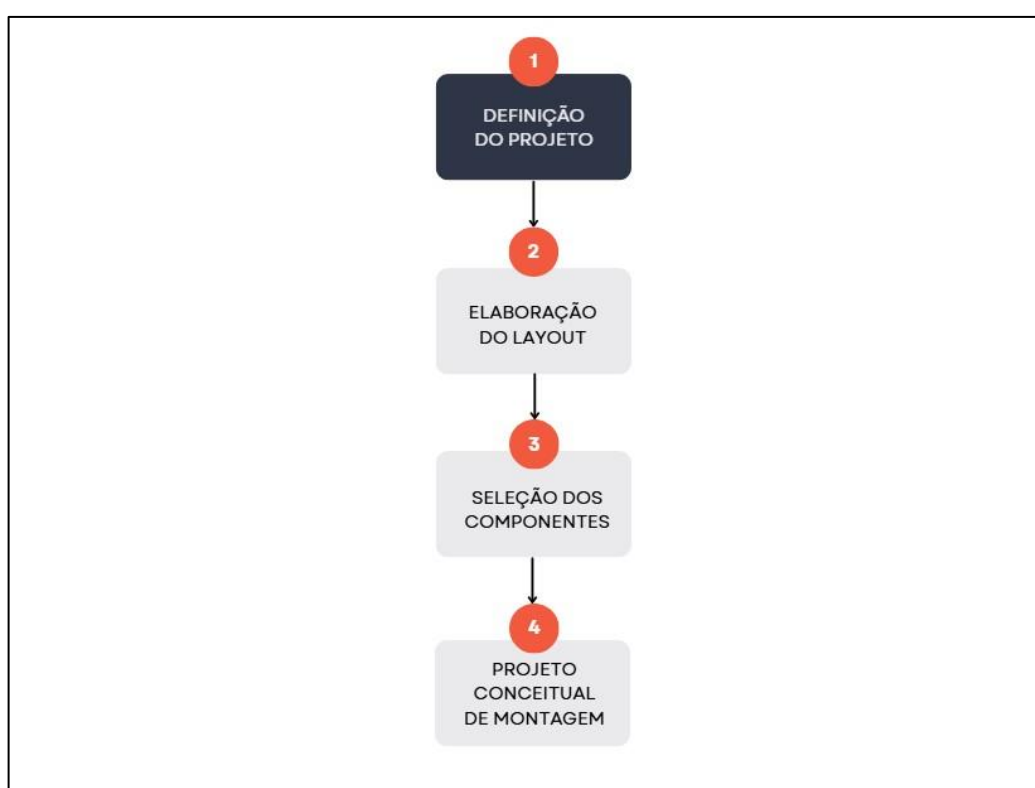


Figura 18: Fluxograma do passo a passo.

Fonte: Pesquisa direta, 2026.

O fluxograma da Figura 18 representa o processo de desenvolvimento do projeto, destacando as principais etapas desde a concepção até a montagem final, evidenciando um processo iterativo que combina etapas de concepção, modelagem e ajustes, típicos do desenvolvimento de um projeto de engenharia.

3.3 Variáveis e Indicadores

De acordo com Gil (2008), a variável é um elemento que pode assumir diferentes valores, seja em uma perspectiva quantitativa ou qualitativa. Em outras palavras, qualquer

ocorrência que possa ser classificada em duas ou mais categorias caracteriza uma variável. Assim, elas podem ser entendidas como medidas ou classificações – quantidades que variam – ou como conceitos operacionais compostos por valores, propriedades, aspectos ou fatores identificados em um objeto de estudo e passíveis de verificação.

Os indicadores, por sua vez, são elementos específicos e concretos que representam conceitos mais abstratos ou difíceis de mensurar. O processo de identificar esses indicadores, de modo a compreender o comportamento das variáveis, é denominado operacionalização. Podem ser consideradas como uma medida ou classificação, uma quantidade que varia, um conceito operacional que contém valores, propriedade, aspectos ou fatores que são identificados em um objeto de estudo e passíveis de verificação. Os indicadores são específicos e concretos que representam algo mais abstrato ou difícil de precisar. O processo de encontrar os indicadores que permitem conhecer o comportamento das variáveis é o que chamamos operacionalização.

A Tabela 3 apresenta os principais parâmetros considerados no desenvolvimento do projeto, abrangendo aspectos técnicos e funcionais dos componentes mecânicos, como motor elétrico, eixo diferencial e acoplamento mecânico. Esses indicadores orientam as decisões do projeto quanto à seleção, dimensionamento e integração dos sistemas.

Tabela 3 – Variáveis e Indicadores

Motor Elétrico	Tipo de motor elétrico Informações técnicas
Eixo Diferencial Traseiro	Tipo de diferencial Informações técnicas
Acoplamento Mecânico	Como será realizado

Tabela 3: Variáveis e Indicadores.

Fonte: Pesquisa direta, 2026.

De forma complementar ao diagrama do Capítulo 3.2, a Tabela 3 também evidencia uma abordagem iterativa e estruturada, na qual as variáveis são analisadas e ajustadas ao longo das etapas de concepção e modelagem do projeto.

3.4 Instrumentos e Coleta de Dados

Os instrumentos de coleta de dados utilizados no presente trabalho são:

- Pesquisa bibliográfica
- *Software* SolidWorks

3.5 Tabulação de Dados

A tabulação e organização dos dados serão feitas em tabelas e planilhas no *Software* Word e Excel, permitindo a visualização das informações e facilidade na resolução dos problemas. Posteriormente as montagens mecânicas e modelagens serão realizadas utilizando o *Software* SolidWorks.

3.6 Considerações Finais

Neste capítulo são apresentadas as ferramentas essenciais para a execução da pesquisa e do projeto, destacando os *softwares* e instrumentos empregados, a delimitação da área de estudo e o método utilizado para a coleta e tabulação dos dados. No capítulo subsequente são apresentados e discutidos os resultados obtidos.

4 RESULTADOS

Este capítulo apresenta os resultados obtidos ao longo do desenvolvimento do trabalho e discute suas implicações técnicas, relacionando-as aos objetivos definidos e ao referencial teórico.

4.1 Definição do Projeto

O objetivo deste capítulo é apresentar e justificar as três configurações propostas para a integração do motor elétrico ao eixo diferencial traseiro, dentro de um arranjo híbrido do tipo P4. Esta arquitetura caracteriza-se pela presença de um motor dedicado a cada eixo, enquanto o motor a combustão permanece responsável pela tração dianteira ou transmissão primária do veículo, um motor elétrico fica responsável pela tração traseira. No entanto, o presente estudo introduz um diferencial conceitual: a união das forças mecânica (motor térmico) e elétrica ocorre interligada ao diferencial traseiro, transformando esse subconjunto em uma unidade de propulsão híbrida integrada.

O principal desafio identificado é de natureza estrutural e cinemática. Diferenciais convencionais possuem apenas uma entrada de torque, proveniente do pinhão acionado pelo eixo cardã. Para possibilitar a hibridização desejada, torna-se necessário introduzir uma segunda entrada de potência, proveniente do motor elétrico, que deve transmitir torque à coroa ou ao pinhão sem comprometer a integridade mecânica, a relação de transmissão ou o funcionamento do conjunto satélite e semieixos. Assim, o projeto busca assegurar que ambas as fontes de torque possam atuar de forma cooperativa e compatível.

As três propostas a seguir mantêm inalterado o propulsor dianteiro composto por motor a combustão, embreagem, transmissão e eixo cardã, concentrando o estudo na região traseira do veículo, onde as alternativas diferem entre si pela forma de acoplamento do motor elétrico ao diferencial, bem como a tecnologia do motor. As figuras ilustram, respectivamente, cada layout proposto.

A primeira solução, ilustrada na Figura 19, preserva a arquitetura convencional de tração traseira, na qual o eixo diferencial permanece como elemento central de transmissão de torque proveniente do motor a combustão interna por meio do eixo cardã. Essa configuração é adotada como referência comparativa, por manter a topologia mecânica tradicional do conjunto motriz. A proposta consiste na integração do motor elétrico na região frontal do diferencial, acoplado mecanicamente ao pinhão de entrada por meio de um engrenamento auxiliar. Dessa forma, o

torque elétrico é introduzido no mesmo eixo de entrada responsável pela transmissão do torque proveniente do cardã, permitindo atuação combinada ou independente das fontes de potência, conforme a estratégia de controle adotada.

A Figura 19 apresenta o *layout* esquemático da Proposta 1, apresentando as interfaces mecânicas entre motor elétrico, diferencial traseiro e eixo cardã.

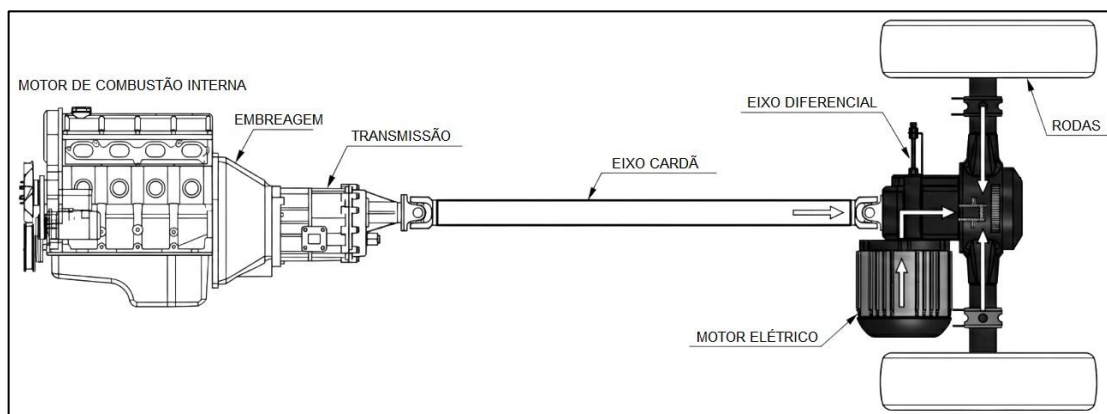


Figura 19: Motor elétrico acoplado ao eixo diferencial em interface ao eixo cardã.

Fonte: Pesquisa direta, 2026.

A solução da Figura 20 introduz um motor elétrico industrial montado na região traseira da carcaça do diferencial. Nesse arranjo, a energia do motor elétrico é transmitida ao conjunto por meio de um eixo engrenado adicional, permitindo que o torque do motor elétrico seja transmitido para a coroa do diferencial de forma simultânea ao torque do eixo cardã. A seguir, apresenta-se o *layout* da proposta 2.

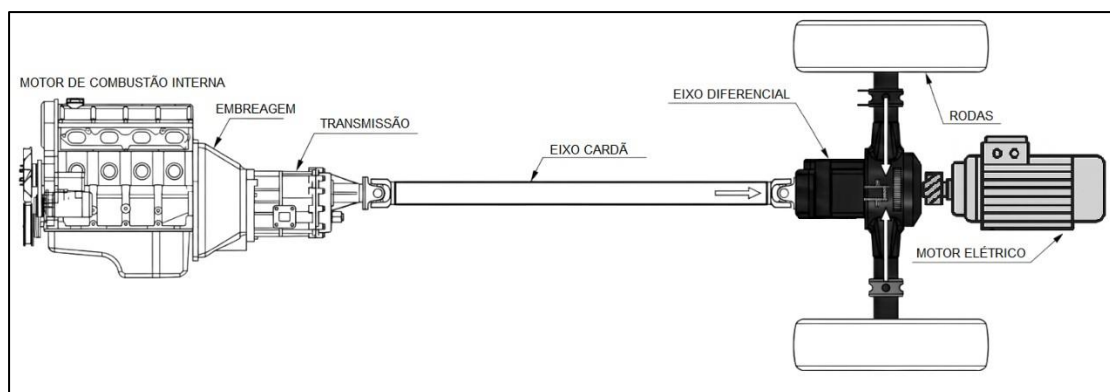


Figura 20: Motor elétrico acoplado pela carcaça traseira do eixo diferencial.

Fonte: Pesquisa direta, 2026.

A terceira proposta contempla a integração de motor elétrico de fluxo axial montado na região traseira do diferencial, configurando o eixo traseiro híbrido. Diferentemente de um motor industrial convencional, projetados majoritariamente para aplicações estacionárias ou acionamentos industriais, os motores de fluxo axial apresentam arquitetura construtiva

caracterizada por menor comprimento axial e elevada densidade de torque, favorecendo sua incorporação em espaços restritos em powertrain automotivo (YASA, 2025). Segundo informações técnicas disponibilizadas pela fabricante, os motores de fluxo axial podem oferecer elevada densidade de potência e torque específico em função da geometria do circuito magnético e da maior área efetiva de interação eletromagnética entre estator e rotor (YASA, 2025).

No contexto da proposta apresentada, a escolha dessa topologia decorre da adequação geométrica e funcional ao posicionamento coaxial ao diferencial traseiro, permitindo integração mais compacta e potencial redução de adaptações estruturais quando comparada a motores industriais radiais, que usualmente possuem maior comprimento e massa. A configuração proposta mantém o conceito de montagem na região traseira do diferencial, conforme abordado no *layout 2* anteriormente, porém considera um motor com características construtivas mais alinhadas às restrições dimensionais do eixo traseiro.

A Figura 21 apresenta o *layout* esquemático da Proposta 3, apresentando a disposição do motor de fluxo axial em conjunto com o eixo cardã, o diferencial e o motor a combustão interna, compondo um arranjo híbrido com propulsão mecânica e elétrica combinadas.

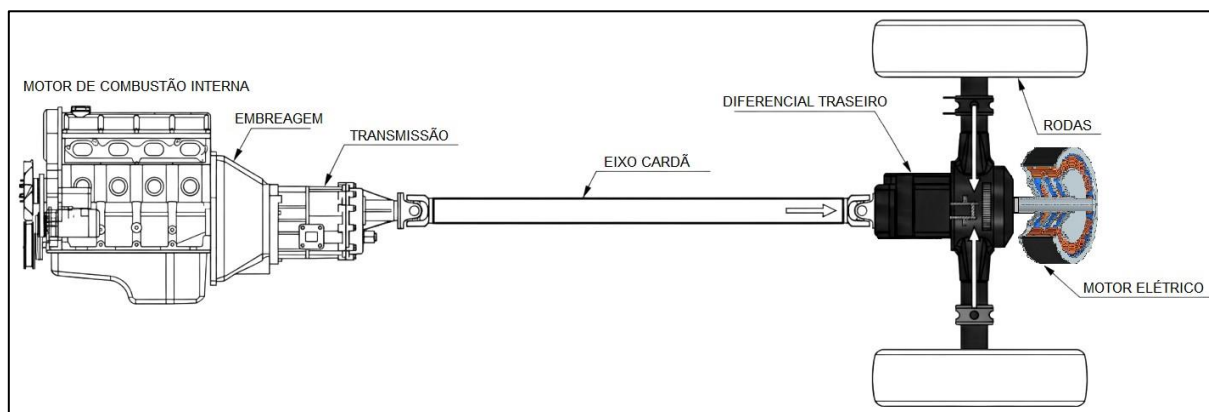


Figura 21: Motor de fluxo axial acoplado pela carcaça traseira do eixo diferencial.
Fonte: Pesquisa direta, 2026.

4.2 Seleção dos Componentes

A seleção dos componentes para o sistema híbrido proposto deve considerar simultaneamente requisitos mecânicos e construtivos, uma vez que o motor elétrico deve atuar acoplado ao eixo diferencial traseiro em conjunto ao motor térmico. Nesta etapa, são discutidos os principais elementos envolvidos em cada uma das três soluções analisadas: (1) eixo diferencial, (2) motor industrial e (3) motor de fluxo axial.

4.2.1 Proposta 1 – Diferencial Traseiro

Para o desenvolvimento conceitual do sistema de acoplamento mecânico proposto, foi adotado como base geométrica um diferencial utilizado em veículos do tipo *e-rickshaw*. A escolha fundamenta-se em sua arquitetura construtiva simples, dimensões reduzidas e fácil representação em ambiente CAD, características adequadas para a modelagem preliminar do arranjo mecânico.

Os *e-rickshaws*, empregados ao transporte urbano de passageiros, utilizam conjuntos motrizes elétricos de baixa a média potência. Conforme Kanuri *et al* (2023), esses veículos operam com motores de tração com potência de pico próxima de 8 kW e torque máximo aproximado de 42 N·m. O diferencial empregado nesse tipo de aplicação apresenta carcaça compacta, coroa e pinhão de dimensões reduzidas e configuração estrutural simplificada, adequada a veículos de baixa massa e velocidade limitada ao ciclo urbano.

Do ponto de vista construtivo, destacam-se como características técnicas de interesse:

- geometria compacta da carcaça;
- disposição convencional de engrenagens cônicas (coroa e pinhão);
- eixos laterais com acoplamento direto às rodas;
- facilidade de adaptação para estudo de interfaces mecânicas adicionais.

Entretanto, ressalta-se que o conjunto originalmente projetado para o *e-rickshaw* é dimensionado para níveis moderados de torque e potência, compatíveis com veículos leves de uso urbano. Dessa forma, sua utilização neste trabalho restringe-se ao desenvolvimento conceitual da proposta de integração mecânica, não implicando validação estrutural para aplicações de maior porte ou maior massa.

A Figura 22 apresenta o modelo tridimensional do eixo diferencial traseiro citado, evidenciando sua geometria geral, a carcaça frontal onde acopla-se o eixo cardã e as interfaces de acoplamento às rodas traseiras. O uso desse diferencial no ambiente CAD tem finalidade demonstrativa e didática, permitindo a avaliação geométrica do arranjo proposto sem extrapolar sua capacidade estrutural original.

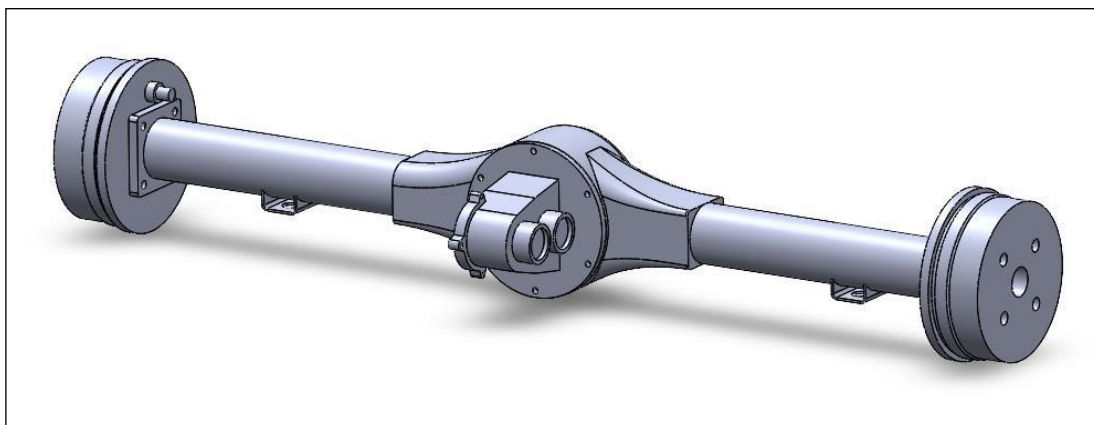


Figura 22: Vista isométrica do diferencial traseiro no ambiente do *Solidworks*.
Fonte: Pesquisa direta, 2026.

4.2.2 Proposta 2 – Motor Industrial WEG W22 IR3 Premium

Segundo catálogo da WEG (2025), a linha W22 IR3 Premium inclui motores com potências de até 250 cv. Neste caso, a conversão de potência resulta em aproximadamente 185 kW (considerando que 1 cv equivale a 0,7355 kW). Esses motores apresentam construção robusta, excelente capacidade térmica e suportam operação contínua.

Este motor pode ser empregado como atuador trativo ao ser mecanicamente acoplado ao eixo diferencial traseiro por meio de um conjunto de transmissão adequado (acoplamento elástico e/ou redutor). Nessa configuração, o eixo do motor transmite torque ao diferencial, que por sua vez realiza a redução final e a distribuição do torque às rodas, permitindo a conversão da potência elétrica em força de tração. A elevada capacidade térmica e a robustez construtiva do motor favorecem a operação contínua sob regime de carga variável, típica de aplicações veiculares ou industriais móveis, assegurando confiabilidade e desempenho estável no acionamento trativo.

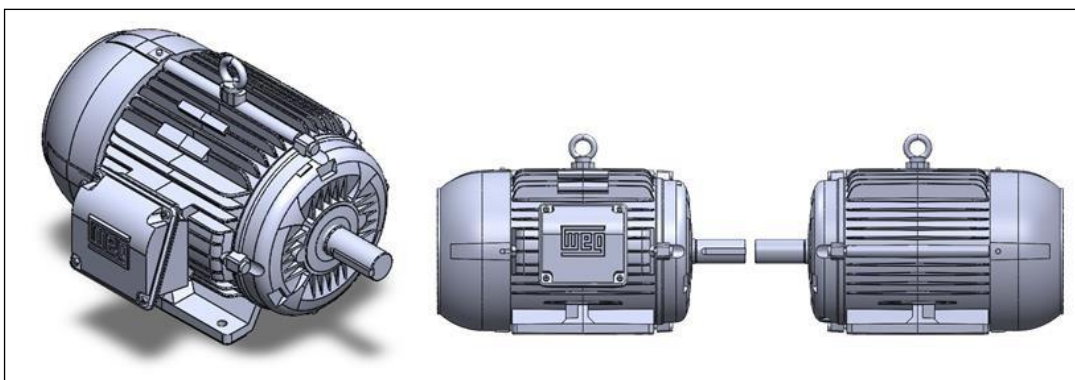


Figura 23: Vistas isométrica e laterais do motor elétrico WEG W22 IR3 no ambiente do *Solidworks*.
Fonte: Pesquisa direta, 2026.

4.2.3 Proposta 3 – Motor de Fluxo Axial

Os motores de fluxo axial possuem alta densidade de torque e potência, baixa inércia e reduzida espessura axial. Diferentemente dos motores radiais tradicionais, nos quais o fluxo magnético percorre o sentido radial, os motores axiais produzem o fluxo no sentido longitudinal ao eixo de rotação. Isso permite um estator mais fino e rotores planos, resultando em um torque específico elevado.

A YASA utiliza topologias de rotor duplo e estator único, ímãs permanentes de alto desempenho e técnicas de resfriamento avançadas capazes de manter densidade de corrente muito elevada (YASA, 2025). Em aplicações automotivas, esses motores se destacam pela possibilidade de serem montados diretamente no eixo, pela ausência de grandes carcaças cilíndricas e pela eficiência acima de 96% em ciclos de carga típicos.

Dessa forma, tais características físicas do motor de fluxo axial favorecem a integração direta ao eixo diferencial traseiro, visto que o motor pode ser montado atrás da carcaça, ocupando pouco espaço e fornecendo torque de forma altamente eficiente.

Esses motores são utilizados em aplicações automotivas avançadas, incluindo veículos híbridos e elétricos de alta performance, demonstrando tecnicamente a viabilidade do acoplamento ao diferencial traseiro. Modelos comerciais possuem potência variando de centenas até milhares de kW, permitindo desempenho elevado comparativamente ao das propostas anteriores.



Figura 24: Vista explodida do motor elétrico de fluxo axial.
Fonte: Pesquisa direta, 2026.

4.3 Acoplamento Mecânico

O presente capítulo aborda os princípios do acoplamento mecânico necessário para integrar o motor elétrico ao diferencial traseiro, considerando a transmissão direta de torque e

os requisitos estruturais e funcionais associados a uma arquitetura híbrida paralela. O objetivo é estabelecer uma abordagem tecnicamente coerente para a transferência de potência do motor elétrico ao conjunto do diferencial, sem comprometer sua integridade funcional.

Na primeira abordagem conceitual, considerou-se o acoplamento do motor elétrico às engrenagens laterais (planetárias) do diferencial por meio de uma engrenagem auxiliar montada na carcaça traseira do conjunto. Simultaneamente, o motor a combustão interna continuaria a transmitir torque ao diferencial por meio do conjunto pinhão–coroa acionado pelo eixo cardã. Para o funcionamento adequado desse arranjo, a relação de transmissão entre o pinhão auxiliar e a engrenagem acoplada deveria garantir compatibilidade entre as velocidades angulares impostas pelos dois sistemas de propulsão, evitando esforços diferenciais excessivos.

Entretanto, o acoplamento ilustrado na Figura 25, desenvolvido como primeira iteração da modelagem CAD, não configura um sistema tecnicamente funcional para a transmissão de torque em um diferencial automotivo convencional. Nesse arranjo, o torque gerado pelo motor elétrico é aplicado diretamente a uma engrenagem solidária ao eixo com chaveta, o que resulta em um comportamento cinemático incompatível com a operação de um diferencial aberto real. As engrenagens laterais são projetadas para atuar como elementos de saída de torque, conectadas aos semieixos, enquanto a entrada de potência ocorre no diferencial (carcaça) por meio da coroa acionada pelo pinhão.

Quando uma engrenagem lateral é excitada como entrada de torque, o mecanismo planetário interno passa a operar em regime invertido. Para um diferencial aberto ideal, a relação cinemática entre as velocidades angulares dos semieixos pode ser dada por:

$$\omega_c = \frac{\omega_{esq} + \omega_{dir}}{2}$$

onde ω_c representa a velocidade angular da carcaça do diferencial e ω_{esq} e ω_{dir} são as velocidades angulares dos semieixos esquerdo e direito, respectivamente.

No arranjo da Figura 25, em que o torque é aplicado a uma engrenagem lateral, impõe-se uma condição de rotação relativa inversa entre os semieixos, de modo que:

$$\omega_{esq} = -\omega_{dir}$$

Nessa condição idealizada, a velocidade da carcaça torna-se nula, caracterizando um regime de giro interno sem tração útil nas rodas, exceto em situações assimétricas de resistência

externa. Assim, o torque aplicado não resulta em propulsão efetiva do veículo, mas apenas em rotações relativas internas do conjunto planetário.

Portanto, o arranjo apresentado na figura não transmite torque de forma equivalente ao funcionamento real de um diferencial automotivo, uma vez que a excitação foi aplicada a um elemento secundário do mecanismo planetário, e não ao diferencial. A Figura 25 apresenta um modelo tridimensional simplificado do acoplamento interno entre o elemento de engrenamento auxiliar e as engrenagens cônicas do diferencial, sendo utilizado exclusivamente para contextualizar a primeira iteração conceitual do sistema.

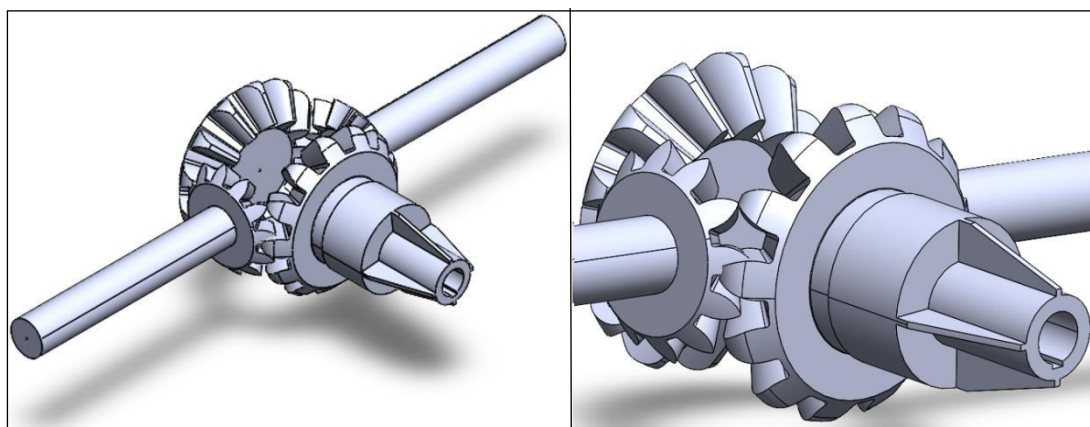


Figura 25: Vista explodida do conjunto de engrenagens e elemento de acoplamento do motor elétrico.
Fonte: Pesquisa direta, 2026.

A partir da primeira iteração do modelo CAD e da verificação de sua inconsistência cinemática, foram realizadas correções na arquitetura de acoplamento, resultando em um modelo mecanicamente coerente. O modelo apresentado na Figura 26 representa um modelo conceitual simplificado da interface de acoplamento mecânico entre o motor elétrico e o conjunto do diferencial traseiro, com foco na análise geométrica e funcional da entrada de torque no sistema.

Neste arranjo, o motor elétrico transmite torque por meio de um eixo com chaveta paralela, acoplado a uma engrenagem auxiliar cônica de dentes retos, a qual engrena diretamente com a coroa (cremalheira) do diferencial. A coroa permanece solidária ao diferencial e continua sendo acionada simultaneamente pelo pinhão original conectado ao eixo cardã, configurando uma arquitetura híbrida paralela do tipo P4, na qual ocorre a soma direta de torque proveniente do motor a combustão e do motor elétrico.

A interface de transmissão de torque foi representada por um modelo reduzido, no qual foram suprimidos os elementos internos do diferencial, tais como engrenagens planetárias, satélites e semieixos, uma vez que o objetivo desta etapa é a avaliação conceitual do

acoplamento motor–engrenagem e da viabilidade geométrica da integração mecânica. Tal simplificação é comum em fases de desenvolvimento do projeto, permitindo a análise da cinemática global sem perda da consistência funcional.

Do ponto de vista cinemático, o arranjo é consistente, pois o torque gerado pelo motor elétrico é aplicado diretamente à cremalheira do diferencial, elemento responsável pela rotação do conjunto e, consequentemente, pela distribuição de torque aos semieixos. A coroa também recebe torque do motor a combustão por meio do conjunto pinhão-coroa, caracterizando a soma das potências típicas dos híbridos paralelos.

Considerando a cinemática clássica do diferencial aberto, a velocidade angular da carcaça do diferencial (ω_c) é dada pela média das velocidades dos semieixos, de modo que a aplicação de torque adicional na coroa resulta em incremento direto de torque às rodas, sem interferir na cinemática relativa entre as planetárias e satélites. Dessa forma, a arquitetura proposta pode ser interpretada como uma injeção adicional de torque no conjunto eixo diferencial.

A Figura 26 apresenta o modelo tridimensional do acoplamento entre a engrenagem auxiliar de dentes retos e a coroa (cremalheira) do diferencial, destacando a interface mecânica entre o motor elétrico e o sistema de transmissão de potência.

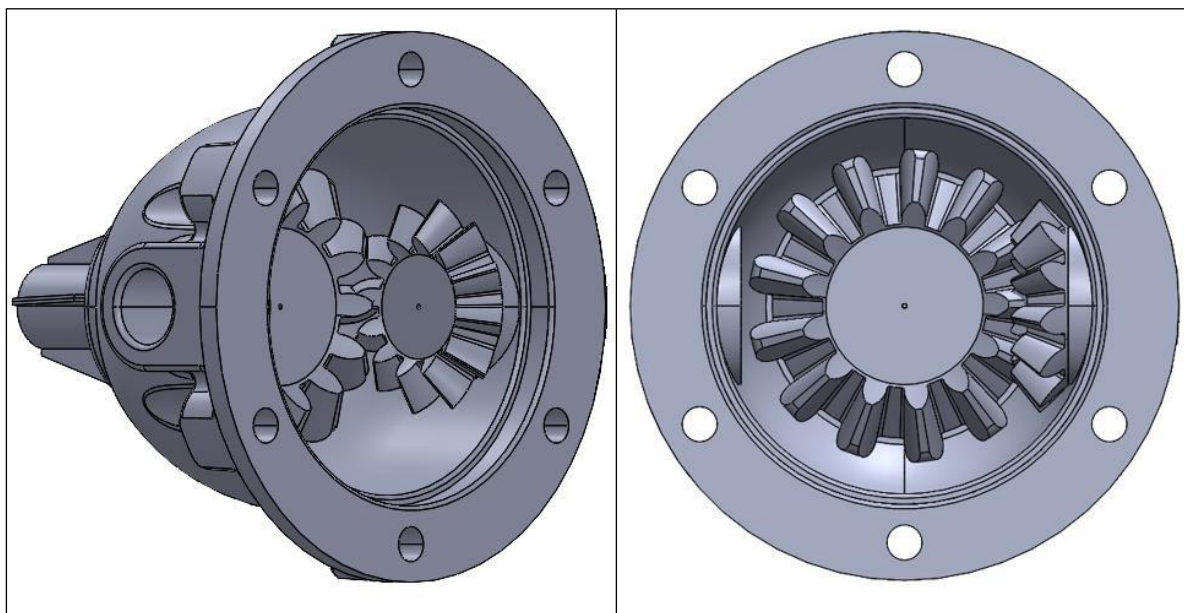


Figura 26: Vista explodida da engrenagem do motor elétrico acoplada a coroa do diferencial.
Fonte: Pesquisa direta, 2026.

O modelo demonstra a coroa principal do diferencial e engrenagem responsável pela transmissão do torque dentro do conjunto. A integração do motor elétrico ao sistema é realizada por meio de um eixo de saída configurado por chaveta paralela, acoplado à engrenagem que engrena na coroa de forma análoga ao pinhão principal. A coroa, por sua vez, transmite torque

ao mecanismo planetário interno e, conseqüentemente, aos semieixos. Em um sistema real, podem ser empregados cubos usinados com chaveta, eixos estriados involutos (conforme DIN 5480, por exemplo) ou flanges de acoplamento, permitindo o alinhamento coaxial entre o eixo do motor elétrico e o eixo de entrada do diferencial.

4.3.1 Elementos de Fixação e Materiais

A seleção dos componentes utilizados na integração entre motor elétrico e diferencial deve seguir as diretrizes consolidadas de Elementos de Máquinas, assegurando resistência mecânica, estabilidade térmica, compatibilidade dimensional e confiabilidade operacional. Recomenda-se a utilização de flanges adaptadoras fabricadas em aço de médio ou alto teor de carbono, como *AISI* 4140, com espessuras típicas entre 12 e 20 mm, garantindo rigidez suficiente para suportar cargas torcionais cíclicas. Os elementos de transmissão — engrenagens helicoidais, hipóides ou auxiliares — podem ser produzidos em ligas como 20MnCr5 ou *SAE* 8620, tratadas termicamente por cementação e têmpera para obtenção de elevada dureza superficial e tenacidade no núcleo.

Os parafusos estruturais utilizados no acoplamento entre motor, flange e diferencial podem ser da classe mínima 10.9, preferencialmente com sistemas de travamento mecânico ou químico, assegurando pré-carga adequada e resistência ao afrouxamento em regime vibratório. Bucins metálicos ou de bronze sinterizado podem ser adotados em pontos de apoio ou guias, enquanto coxins elastoméricos desempenham papel importante no amortecimento de vibrações provenientes do motor elétrico. Para o suporte estrutural, recomenda-se o uso de chapas ou perfis em aço *SAE* 1020 ou 1045, soldados ou usinados conforme análises de tensão.

Nos pontos de vedação, podem ser empregados selos de borracha nitrílica (NBR) ou Viton, dependendo da temperatura operacional e da compatibilidade com óleos lubrificantes automotivos. Por fim, caso o sistema exija desacoplamento dinâmico do motor elétrico, recomenda-se a aplicação da embreagem *dog clutch*, permitindo conexão e desconexão positiva e com perdas mínimas, especialmente em regimes de alta rotação.

4.4 Critérios de Desempenho e Avaliação do Sistema

A avaliação do desempenho do conjunto híbrido deve compreender, no mínimo, aceleração, velocidade máxima, momento de desacoplamento do motor elétrico e os impactos no consumo de combustível e autonomia.

A aceleração pode ser estimada pela relação básica “força = massa $\times$ aceleração”. Primeiramente, calcula-se o torque disponibilizado na roda. O torque na roda é obtido multiplicando o torque do motor elétrico pela relação de redução até a roda (relação de marcha $\times$ relação final $\times$ eficiência). Em seguida, transforma-se o torque em força longitudinal, dividindo-o pelo raio dinâmico da roda. A aceleração resulta da divisão dessa força pela massa total do veículo.

A velocidade máxima define-se pela rotação máxima permitida do motor e pela relação total de transmissão. Para um motor elétrico acoplado ao diferencial, é necessário verificar se sua rotação máxima não é excedida quando o veículo trafega utilizando apenas o motor a combustão. Caso exceda, o motor elétrico deve ser desacoplado mecanicamente.

O momento de desacoplamento pode ocorrer quando a velocidade do motor elétrico atingir seu limite de segurança ou quando a lógica de controle entender que a assistência elétrica não é mais vantajosa.

O aumento de autonomia ou economia de combustível, por exemplo, pode ser avaliada comparando-se o consumo com e sem assistência elétrica em ciclos de condução equivalentes. A energia elétrica consumida pode ser convertida em equivalente energético térmico, considerando o poder calorífico e a eficiência típica do motor a combustão.

4.4.1 Gerenciamento Eletrônico do Sistema

Além dos parâmetros mecânicos, o desempenho global do sistema híbrido depende do gerenciamento eletrônico responsável por sincronizar a atuação dos dois motores. Esse gerenciamento pode ser realizado por uma unidade de controle dedicada, que monitora variáveis como rotação dos eixos, torque solicitado, temperatura dos componentes, estado de carga da bateria, velocidade do veículo e condições de segurança. No mercado brasileiro, soluções consolidadas, como os módulos da família FT da *FuelTech*, oferecem capacidade de gerenciamento híbrido parcial, integrando leitura de sensores, controle de atuadores, estratégias de torque e comunicação com sistemas auxiliares. Ainda que originalmente desenvolvidos para motores de combustão de alta performance, esses sistemas vêm se expandindo para arquiteturas híbridas experimentais, oferecendo interfaces de programação flexíveis, modelos matemáticos configuráveis e capacidade de integração com controladores do motor elétrico e inversor. Assim, mesmo em projetos experimentais ou acadêmicos, existe no mercado uma base tecnológica sólida capaz de realizar o controle eletrônico necessário para o funcionamento coordenado do trem de força híbrido.

Paralelamente, plataformas de controle abertas ou semiprofissionais têm sido amplamente utilizadas em pesquisas acadêmicas e protótipos de veículos híbridos, permitindo um gerenciamento totalmente customizável da lógica de operação do sistema. Soluções baseadas em ECUs programáveis de código aberto (como *Speeduino*, *OpenInverter* ou adaptadores *CAN-bus* universais) possibilitam a implementação de estratégias complexas, tais como controle por mapas de torque, gerenciamento térmico, estratégias de desacoplamento dinâmico, limitação de potência por estado de carga e priorização do modo elétrico em baixas velocidades. Essas plataformas permitem que o pesquisador ou engenheiro estabeleça parâmetros como: momento ideal de acoplamento e desacoplamento, limites de rotação segura, curvas de torque combinadas e modos de operação específicos (EV, híbrido, regenerativo, assistência máxima). Dessa forma, a gestão eletrônica deixa de ser um obstáculo tecnológico e torna-se um componente plenamente viabilizado por soluções já existentes no mercado, permitindo que o foco do projeto recaia sobre a integração mecânica e energética do conjunto híbrido.

4.5 Projeto Conceitual de Montagem

A Proposta 1 adota o conceito de um conjunto motriz semelhante ao *e-rickshaw*, no qual o motor elétrico é acoplado diretamente à região frontal do diferencial traseiro, compartilhando o mesmo ponto de entrada do eixo cardã. Essa configuração, utilizada em veículos urbanos de pequeno porte, apresenta elevada robustez mecânica e simplicidade de integração, características já comprovadas em aplicações de circulação contínua.

No contexto deste projeto, entretanto, o diferencial elétrico passa a operar em conjunto com o motor a combustão, formando um arranjo híbrido paralelo em que ambos os propulsores podem atuar sobre o mesmo conjunto de engrenagens.

A Figura 27 apresenta o eixo diferencial traseiro com motor elétrico ligado diretamente ao eixo, ilustrando tridimensionalmente a relação da proposta 1 com o sistema híbrido almejado.

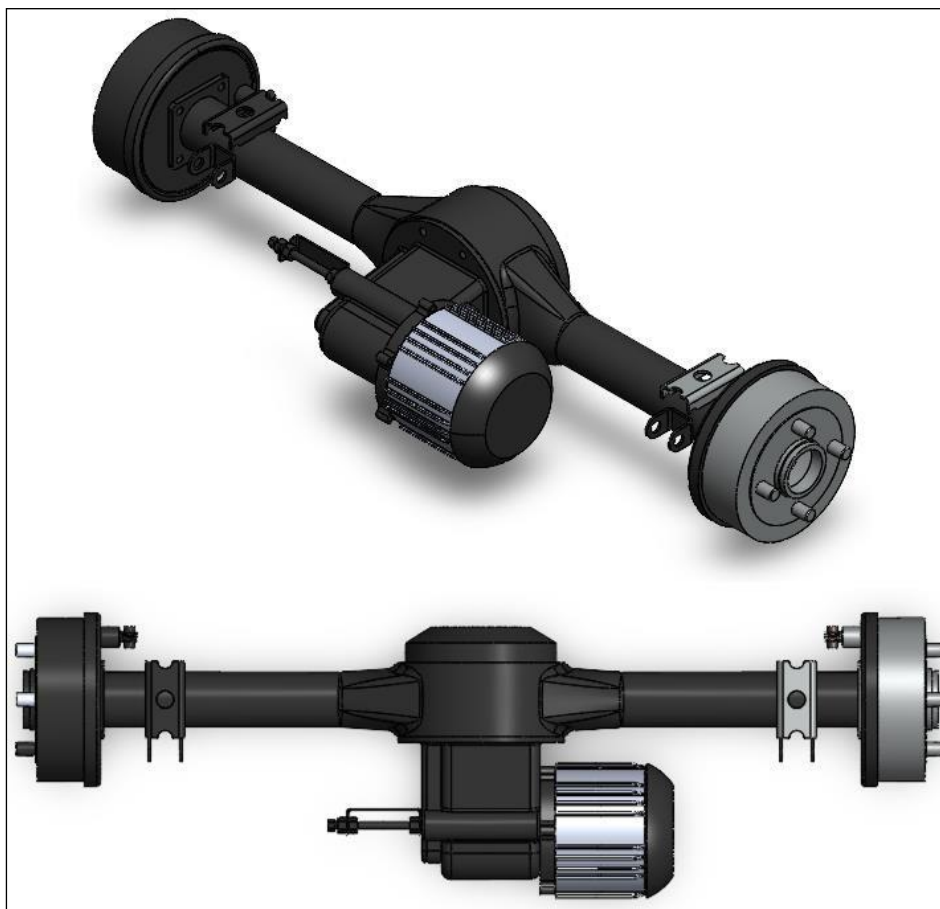


Figura 27: Vista do diferencial com motor elétrico acoplado em ambiente do Solidworks.
Fonte: Pesquisa direta, 2026.

A Proposta 2 apresenta uma solução de hibridização baseada no acoplamento de um motor elétrico industrial diretamente à carcaça traseira do diferencial, por meio do sistema mecânico que transmite torque ao pinhão ou a um eixo secundário integrado à carcaça. Diferentemente da Proposta 1, que utiliza um diferencial elétrico de pequenos veículos urbanos, esta proposta emprega um motor elétrico industrial robusto, montado com flanges, mancais e acopladores flexíveis, permitindo uma transferência de torque resistente e confiável. Trata-se de uma alternativa mais próxima de uma adaptação automotiva convencional, reinterpretando um motor originalmente estacionário para atuar como fonte de tração para um sistema híbrido.

Sua principal vantagem reside na simplicidade construtiva e na ampla disponibilidade comercial dos componentes, dado que motores industriais possuem padronização geométrica, alta confiabilidade e fácil manutenção. O acoplamento traseiro mantém o eixo cardã responsável pela transmissão do motor a combustão, enquanto o motor elétrico contribui com torque adicional ou recuperação energética, transformando o eixo traseiro em uma unidade híbrida paralela sem exigir alterações significativas no conjunto frontal do veículo.

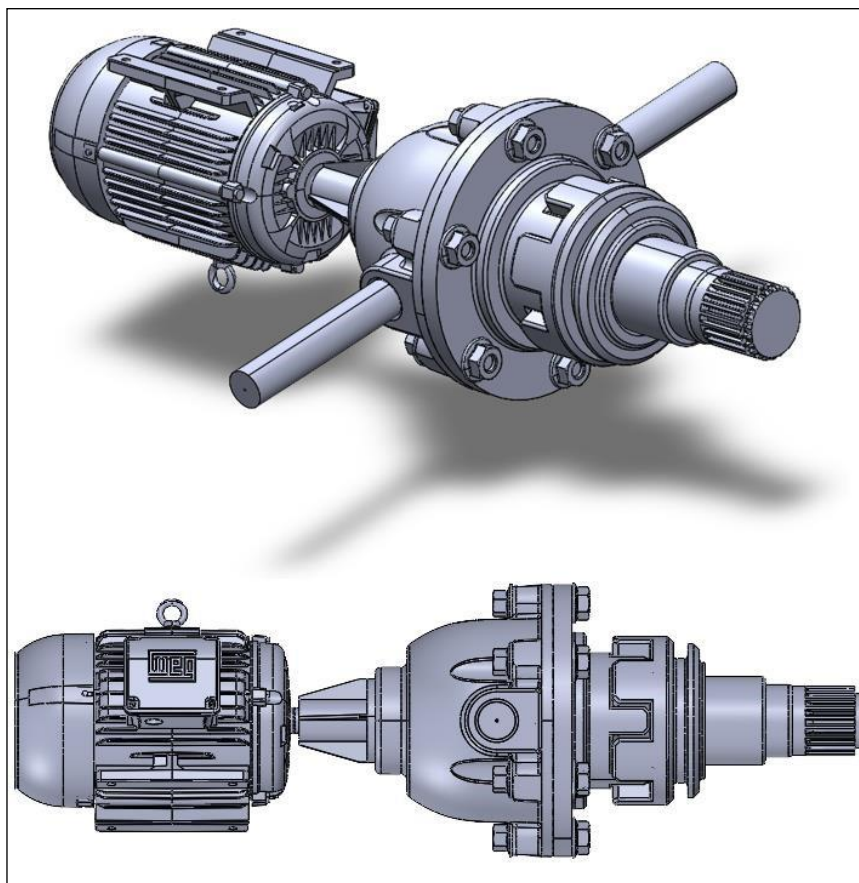


Figura 28: Vista do diferencial com motor elétrico acoplado à carcaça no Solidworks.
Fonte: Pesquisa direta, 2026.

A Proposta 3 explora a utilização de um motor elétrico de fluxo axial acoplado ao eixo diferencial traseiro, aproveitando sua geometria e densidade de torque para integrar o sistema híbrido com mínima intrusão estrutural. Por se tratar de um motor compacto, leve e altamente eficiente, o fluxo axial permite uma solução tecnicamente potencialmente menos intrusiva e alinhada à arquitetura híbrida proposta.

Nesta configuração, o motor axial é instalado na região traseira da carcaça do diferencial, conectado ao pinhão ou ao eixo secundário incorporado ao conjunto. Esse posicionamento aproveita a disponibilidade de espaço na tampa do diferencial, possibilitando a transmissão do torque elétrico pelo acoplamento direto ou engrenamento auxiliar, sem interferir na função principal do eixo cardã. Assim, o torque do motor a combustão e o torque elétrico convergem para o mesmo trem de engrenagens, formando uma unidade híbrida integrada com poucas modificações na estrutura original do veículo.

A Figuras 29 ilustra visualmente o posicionamento, demonstrando como o motor axial pode ser integrado ao diferencial traseiro sem comprometer a arquitetura global do trem de força. Nesta configuração, a solução reforça a viabilidade do uso de motores axiais em sistemas

híbridos compactos, devido à sua elevada eficiência, capacidade de torque e compatibilidade estrutural com eixos diferenciais convencionais.

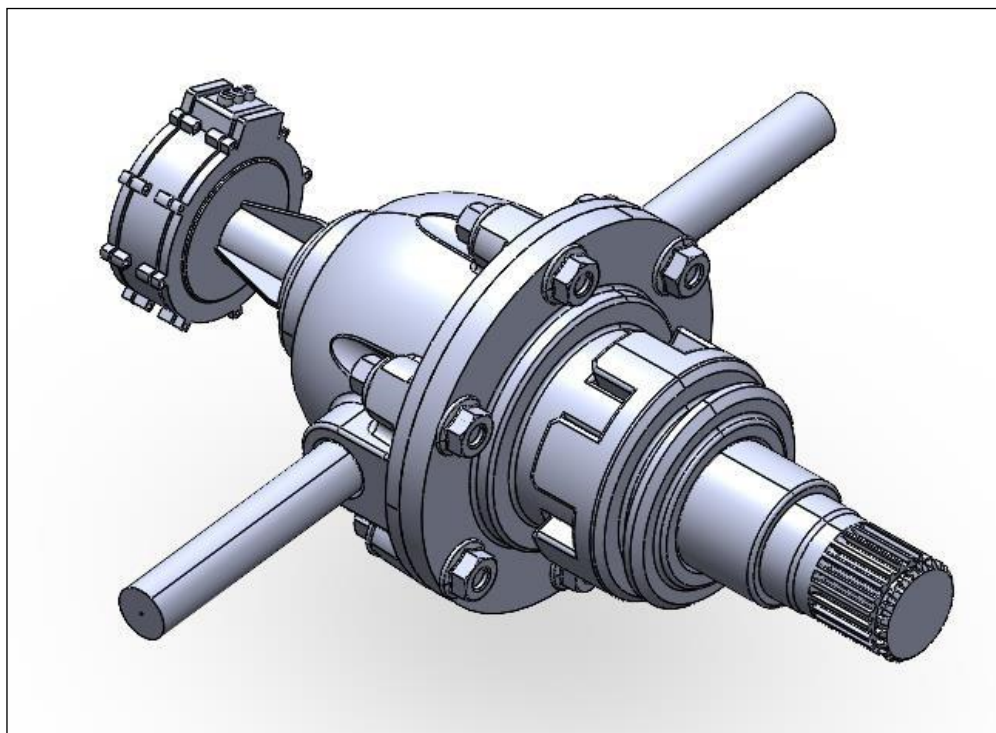


Figura 29: Vista isométrica do motor elétrico de fluxo axial acoplado à carcaça do diferencial traseiro. Fonte: Pesquisa direta, 2026.

A análise comparativa das três propostas de *layout* evidencia que cada configuração apresenta implicações distintas sob os aspectos construtivo, funcional, estrutural e de integração sistêmica ao conjunto híbrido paralelo pretendido. Em termos conceituais, a Proposta 1 — baseada em um diferencial elétrico aplicado em *e-rickshaws*, compartilhando o ponto de entrada do eixo cardã — sugere uma arquitetura mecanicamente simples e com integração direta ao trem de força. Tal solução pode indicar vantagens relacionadas à compacidade do conjunto e à consolidação de componentes em um único módulo funcional. Por outro lado, a convergência de dois propulsores no mesmo ponto de entrada do diferencial pode demandar análises mais aprofundadas quanto à compatibilização cinemática, gerenciamento de torque e esforços internos nas engrenagens, especialmente considerando a coexistência com o motor a combustão interna.

A Proposta 2, ao empregar um motor elétrico industrial acoplado externamente à carcaça traseira do diferencial, aproxima-se de uma adaptação mecânica mais convencional. A utilização de um motor padronizado, amplamente disponível comercialmente, pode representar facilidades em termos de aquisição, manutenção e substituição. Além disso, o fato de manter o eixo cardã responsável pela transmissão do motor a combustão tende a preservar a arquitetura

original do veículo. Em contrapartida, o uso de um motor industrial originalmente projetado para aplicações estacionárias pode implicar desafios relacionados à densidade de potência, massa adicionada ao eixo traseiro e adequação às condições dinâmicas típicas do ambiente automotivo, como vibrações e variações bruscas de carga.

Já a Proposta 3, fundamentada na aplicação de um motor elétrico de fluxo axial, introduz uma abordagem tecnologicamente mais alinhada às tendências contemporâneas de eletrificação veicular. Sua geometria e elevada densidade de torque podem favorecer uma integração mais compacta e potencialmente menos intrusiva à estrutura do diferencial. Essa característica pode contribuir para um bom aproveitamento espacial e redução de massa relativa do sistema elétrico. Entretanto, por se tratar de uma solução menos difundida comercialmente quando comparada a motores industriais convencionais, aspectos como custo, disponibilidade, complexidade construtiva e necessidade de desenvolvimento específico podem representar fatores relevantes a serem considerados.

De forma geral, observa-se que as três propostas exploram caminhos distintos para viabilizar a hibridização no eixo traseiro, variando entre soluções inspiradas em aplicações consolidadas de pequeno porte, adaptações industriais reinterpretadas para uso automotivo e alternativas tecnologicamente mais avançadas. Cada arranjo sugere diferentes compromissos entre simplicidade mecânica, robustez estrutural, viabilidade comercial, densidade de potência e grau de intervenção na arquitetura original do veículo. Assim, o conjunto das análises realizadas permite delimitar tecnicamente o espectro de possibilidades para a implementação do sistema híbrido paralelo no eixo traseiro, encerrando a etapa de comparação conceitual e estabelecendo base consistente para as discussões subsequentes do trabalho.

5 CONCLUSÃO E RECOMENDAÇÕES

Neste capítulo são apresentadas as conclusões alcançadas e as recomendações para continuidade dos estudos relacionadas ao tema.

5.1 Conclusão

O presente trabalho teve como objetivo desenvolver uma proposta de arquitetura híbrida envolvendo a integração de um motor elétrico ao eixo diferencial traseiro, considerando aspectos dinâmicos e funcionais do sistema. Ao longo da realização do estudo, buscou-se identificar requisitos preliminares, propor soluções e estabelecer diretrizes que subsidiem futuras validações dessa configuração.

No que se refere à revisão da literatura, foi possível compilar material atualizado relacionado à eletrificação veicular e a integração de sistemas de propulsão híbridas existentes, ainda que se observe carência de estudos específicos acerca da aplicação de motores elétricos acoplados ao diferencial traseiro em veículos de arquitetura convencional. Tal constatação evidencia a relevância do presente trabalho, que contribui para o preenchimento dessa lacuna ao propor um conjunto de fundamentos conceituais e metodológicos aplicáveis a projetos de hibridização simplificada.

Os resultados obtidos permitiram delinear um conjunto parâmetros, restrições e características operacionais do sistema, propondo análises estruturais do conjunto, avaliação térmica do motor, vibrações em regime dinâmico e simulações de desempenho energético de forma a validar a arquitetura proposta. Embora a ausência de ensaios experimentais impeça a completa validação do modelo conceitual, as montagens realizadas indicam que a integração do motor elétrico ao diferencial é possível e pode apresentar potenciais ganhos de eficiência, desempenho e autonomia, desde que adequadamente dimensionada ao veículo e validada física e experimentalmente.

Apesar das limitações impostas pelo escopo de desenvolvimento, o estudo estabelece uma base consistente para trabalhos subsequentes. As recomendações apresentadas — que incluem ensaios em bancada, instrumentação do conjunto, simulações estruturais e térmicas, análises de fadiga e avaliações de desempenho veicular — constituem etapas fundamentais para o avanço da investigação, possibilitando a transição do modelo conceitual descrito para um sistema validado e tecnicamente robusto.

Conclui-se, portanto, que essa monografia contribui para a adoção de metodologias estruturadas de planejamento, simulação e validação de sistemas de propulsão eletrificados, favorecendo o desenvolvimento de soluções eficientes e alinhadas às demandas tecnológicas contemporâneas da mobilidade.

5.2 Recomendações

Como continuidade deste estudo, recomenda-se que trabalhos futuros ampliem a confiabilidade do modelo proposto por meio da implementação de um conjunto estruturado de validações físicas e virtuais, abrangendo desde ensaios experimentais até simulações numéricas avançadas. No âmbito experimental, sugerem-se ensaios em bancada para verificação do torque, eficiência, ruído e vibração do sistema, ensaios de integração para avaliação da montagem no veículo e, quando possível, ensaios veiculares completos, contemplando consumo, aceleração e comportamento dinâmico. Durante essas etapas, devem ser monitoradas grandezas como temperatura do motor, vibração nos pontos de fixação, consumo energético ou autonomia estimada, além de parâmetros de tensão e deformação estruturais, permitindo ainda estimar tempo até falha em análises de fadiga.

Para garantir precisão na medição, recomenda-se o uso de transdutor de torque, termopares no motor, inversor e bateria, acelerômetros nos suportes, bem como medidores de corrente e tensão adequados. A aquisição de dados pode ser realizada via *software*, seguindo procedimento padronizado de calibração, execução controlada do ensaio e registro contínuo das informações com backup dos dados.

No âmbito computacional, sugere-se a aplicação de ferramentas CAE/FEA para análises estruturais dos suportes e flanges sob cargas estáticas (peso e vibração) e dinâmicas (torque de embreagem), incluindo a verificação de fadiga. Simulações térmicas devem assegurar dissipação adequada e prever condições críticas de operação. Adicionalmente, recomenda-se o uso de ferramentas de simulação de potência para avaliação do desempenho do sistema propulsor, elaboração de mapas de torque/velocidade e estimativas de consumo. Com base nos resultados, ajustes dimensionais e de materiais devem ser realizados, repetindo-se as simulações até o atendimento dos critérios estabelecidos. Dependendo da arquitetura do projeto, também se recomenda o desenvolvimento ou calibração de software de BMS e telemetria.

O plano de prototipagem pode incluir ensaios em bancada para quantificar torque, eficiência e respostas dinâmicas, além de *mock-ups* de montagem para verificação de alinhamento e vibração, seguido de ensaios veiculares instrumentados em rota padronizada

quando permitido. Os dados obtidos devem ser tabulados em planilhas contendo tempo, torque, rotação, tensão, corrente, temperatura e aceleração, aplicando técnicas estatísticas como médias, desvios padrão, valores máximos e mínimos e análise de tendências. Gráficos como torque $\times$ rpm, eficiência $\times$ rpm, temperatura $\times$ tempo e consumo $\times$ velocidade são essenciais para interpretação dos resultados. A aceitação ou rejeição das condições testadas deve ser confrontada com os requisitos definidos anteriormente.

Por fim, recomenda-se que todos os trabalhos subsequentes mantenham rigor metodológico, com documentação completa das premissas adotadas (massa, coeficientes de atrito, rendimentos), controle de versão dos modelos CAD e arquivos CAE, e registro formal de qualquer ajuste de bancada como alteração de projeto, incluindo sua avaliação de risco caso seja utilizada metodologia FMEA.

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

ABRADEE. **EDP e BMW Group Brasil inauguram maior corredor elétrico da América Latina.** 2018. Disponível em: EDP e BMW Group Brasil inauguram maior corredor elétrico da América Latina - ABRADEE. Acesso em: 15/10/2025.

ABVE. **1º Anuário da Cadeia Produtiva da Eletromobilidade no Brasil.** ABVE, 2024. Disponível em: ABVE lança o 1º Anuário da Cadeia Produtiva da Eletromobilidade no Brasil. Acesso em: 15/10/2025.

AHRENS, B. **Eletrificação veicular é o futuro da mobilidade sustentável.** SAE BRASIL, 2024. Disponível em: Eletrificação veicular é o futuro da mobilidade sustentável - SAE BRASIL. Acesso em: 15/10/2025.

ANDRADE, de M. M. **Introdução à Metodologia do Trabalho Científico.** 10. ed. São Paulo: Editora Atlas, 2010. Disponível em: E-Book - INTRODUÇÃO À METODOLOGIA DO TRABALHO CIENTÍFICO | Grupo GEN. Acesso em: 15/10/2025.

ASSEMBLEIA LEGISLATIVA DO ESTADO DE SÃO PAULO (ALESP). **Projeto de Lei nº 1.510, de 2023 (PL 1510/23).** Disponível em: Projeto de Lei nº 1.510, de 2023 (PL 1510/23). Acesso em: 15/10/2025.

BARROS, R. **Mercado de eletrificados cresce quase 200% em 2024.** Autoranking, 2024. Disponível em: Mercado de eletrificados cresce quase 200% em 2024. Acesso em: 15/10/2025.

BASTOS, F. F.; SILVA, F. M. **Identificação e análise de parâmetros de motores de corrente contínua sem escovas.** Disponível em: Identificação e análise de parâmetros de motores de corrente contínua sem escovas. Acesso em: 15/10/2025.

BORINI, G. **Veículos híbridos: entenda as diferenças – Autoentusiastas.** Disponível em: VEÍCULOS HÍBRIDOS: ENTENDA AS DIFERENÇAS – Autoentusiastas. Acesso em: 15/10/2025.

BRASIL. **Rota 2030 - Mobilidade e Logística — Ministério do Desenvolvimento, Indústria, Comércio e Serviços.** Disponível em: Rota 2030 - Mobilidade e Logística — Ministério do Desenvolvimento, Indústria, Comércio e Serviços. Acesso em: 15/10/2025.

CABRITA, A. M. T. **Sistema de Gestão de Baterias de Tração: Estudo e Desenvolvimento do Sistema BMS do IPS**. Politécnico de Setúbal, 2024. Disponível em: Estudo e Desenvolvimento do Sistema BMS do IPS. Acesso em: 15/10/2025.

CARVALHO, R. H. C. **Desafios da Mobilidade Urbana no Brasil**. Brasília: IPEA, 2016.

Disponível em: <https://repositorio.ipea.gov.br/bitstreams/3be0cb79-9366-4e00-80e8645d608e8778/download>. Acesso em: 15/10/2025.

CASTRO, de R. H. B.; BARROS, C. D.; VEIGA, da G. S. **Baterias automotivas: panorama da indústria no Brasil, as novas tecnologias e como os veículos elétricos podem transformar o mercado global**. BNDES, 2025. Disponível em: mar37_11_Baterias automotivas-panorama da indústria no.pdf. Acesso em: 15/10/2025.

CHANDLER, A. **The Visible Hand: The Managerial Revolution in American Business**. Amazon, 1993. Disponível em: The Visible Hand: The Managerial Revolution in American Business | Amazon.com.br. Acesso em: 15/10/2025.

COSTA, S. P. J. **JPSC06052019**. Disponível em: JPSC06052019.pdf. Acesso em: 15/10/2025.

CRESWELL, W. J.; POTH, N. C. **Qualitative Inquiry and Research Design: Choosing Among Five Approaches**. 4. ed. Estados Unidos da América: SAGE, 1998. Disponível em: Qualitative Inquiry and Research Design: Choosing Among Five Approaches - John W. Creswell, Cheryl N. Poth - Google Books. Acesso em: 15/10/2025.

DAUDT, G.; WILLCOX, L. D. **Indústria Automotiva**. BNDES, 2018. Disponível em: PRCapLiv214167_industria_automotiva_compl_P.pdf. Acesso em: 15/10/2025.

ENNOVI. **Brushed vs. Brushless DC Motors for Electric Cars: How are They Different**.

Disponível em: Brushed vs. Brushless DC Motors for Electric Cars: How are They Different - Ennovi. Acesso em: 15/10/2025.

FAPESP. **Em vez de elétricos puros, veículos híbridos, com biocombustíveis, são o futuro, diz especialista**. FAPESP, 2024. Disponível em: Em vez de elétricos puros, veículos híbridos, com biocombustíveis, são o futuro, diz especialista. Acesso em: 15/10/2025.

GIL, C. A. **Métodos e Técnicas de Pesquisa Social**. 6. ed. São Paulo: Editora Atlas, 2008. Disponível em: gil-a-c-mc3a9todos-e-tc3a9cnicas-de-pesquisa-social.pdf. Acesso em: 15/10/2025.

GOMBERT, T. **From the Intelligent Wheel Bearing to the “Robot Wheel”**. Schaeffler Kolloquium, 2010. Disponível em: 2010_29 - From the intelligent wheel bearing to the "robot wheel" | Schaeffler Germany. Acesso em: 15/10/2025.

HOBBSAWM, E. **A Era das Revoluções**. Amazon, 1962. Disponível em: A era das revoluções: 1789-1848 | Amazon.com.br. Acesso em: 15/10/2025.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY (IEA). **Global EV 2024 – Analysis**. Paris: IEA, 2024. Disponível em: <https://www.iea.org/reports/global-ev-outlook-2024>. Acesso em: 15/10/2025.

KALATEC. **Motor Brushless | Líderes absolutos em vendas de BLDC**. Disponível em: Motor Brushless | Líderes absolutos em vendas de BLDC. Acesso em: 15/10/2025.

KANURI, C.; GOUNDER, K.; SANDHU, S. J. B.; LAROIYA, A. **Enabling the Shift to Electric Auto-Rickshaws**. Outubro de 2023. Disponível em: https://wriindia.org/sites/default/files/E-auto-guidebook_WRI-India.pdf. Acesso em: 10/12/2025.

KOTHARY, R. **Nova bateria de sódio para carros elétricos funciona a -40 graus**. 2024. Disponível em: Nova bateria de sódio para carros elétricos funciona a -40 graus. Acesso em: 15/10/2025.

LAKATOS, E. M.; MARCONI, M. de A. **Fundamentos de Metodologia Científica**. 5. ed. São Paulo: Editora Atlas, 2003. Disponível em: LAKATOS, Eva Maria; MARCONI, Marina de Andrade. Fundamentos de metodologia científica. Acesso em: 15/10/2025.

LAMMOTOR. **Two Types of Tesla Model 3 Motors: Everything You Need to Know**. Disponível em: Two Types of Tesla Model 3 Motors: Everything You Need to Know. Acesso em: 15/10/2025.

LARMINIE, J.; LOWRY, J. **Electric Vehicle Technology**. 2. ed. Chichester: Wiley, 2012. Disponível em: BAE 685-Electric Vehicle Technology.pdf. Acesso em: 15/10/2025.

LIÃO, L. **A diferença entre motor sem escova e motor com escova - Faradyi Motors**. Disponível em: A diferença entre motor sem escova e motor com escova - Faradyi Motors. Acesso em: 15/10/2025.

LIMA, de F. V.; RODRIGUES, C. M.; PINTO, N. G.; BRITTO, P. C. V. C.; P. S. dos G. W.; O. de S. A. C. **Revista Acadêmica – Ensino de Ciências e Tecnologias IFSP – Campus Cubatão**. 2022. Disponível em: Microsoft Word - artigo12.docx. Acesso em: 15/10/2025.

MACHADO, G. P. **Inserção de veículos híbridos plug-in no setor de transportes brasileiro: uma oportunidade para a redução das emissões de gases de efeito estufa**. Disponível em: (PDF) Inserção de veículos híbridos plug-in no setor de transportes brasileiro. Acesso em: 15/10/2025.

MARINESCU, D. G.; MARINESCU, A.; NICOLAE, V.; CALIN, L.; PARLAC, S.; VIERU, I.; STAN, A. **A Duster Plug-in Hybrid Electric Vehicle with Wireless Charging System**. IOPscience. Disponível em: A Duster Plug-in Hybrid Electric Vehicle with Wireless Charging System - IOPscience. Acesso em: 15/10/2025.

MAROCHI, V. **Motores elétricos de propulsão: parte III - Revista Car Stereo**. 2020. Disponível em: Motores elétricos de propulsão: parte III - Revista Car Stereo. Acesso em: 15/10/2025.

MAROCHI, V.; PAIVA, C. M.; SILVEIRA, M. A. **Motores elétricos: um breve comparativo entre as tecnologias aplicadas em sistemas de propulsão**. 2021. Disponível em: Motores elétricos: um breve comparativo entre as tecnologias aplicadas em sistemas de propulsão. Acesso em: 15/10/2025.

MICROCHIP. **Controladores de motor síncrono de ímã permanente | Tecnologia Microchip**. Disponível em: Controladores de motor síncrono de ímã permanente | Tecnologia Microchip. Acesso em: 15/10/2025.

MODELO PARA RESUMO EXPANDIDO. **Microsoft Word - artigo14.docx**. Acesso em: 15/10/2025.

MOHANRAJ, D.; ARULDAVID, R.; VERMA, R.; SATHIYASEKAR, K.; BARNAWI, B. A.; CHOKKALINGAM, B. **A Review of BLDC Motor: State of Art, Advanced Control Techniques, and Applications**. Disponível em: IEEE Xplore Full-Text PDF. Acesso em: 15/10/2025.

MORAES, de B. C. L. **Terminal RI - Sophia Biblioteca Web**. Disponível em: Terminal RI - Sophia Biblioteca Web. Acesso em: 15/10/2025.

MORELLI, R. **Baterias mais baratas aceleram mercado de carros elétricos.** 2024. Disponível em: Baterias mais baratas aceleram mercado de carros elétricos. Acesso em: 15/10/2025.

MURRAY, C. **Como a Noruega, “país do petróleo”, se tornou líder em carros elétricos.** BBC News Brasil, 2025. Disponível em: Como a Noruega, 'país do petróleo', se tornou líder em carros elétricos - BBC News Brasil. Acesso em: 15/10/2025.

NETO, S. L. J. **Desenvolvimento de um Sistema de Gestão de Baterias em Veículos Elétricos.** Politécnico de Coimbra, 2023. Disponível em: Repositório Comum: Desenvolvimento de um sistema de gestão de baterias para veículos elétricos. Acesso em: 15/10/2025.

OLIVEIRA, P. **Pulse e Fastback aumentam lista de híbridos nacionais acima dos R\$ 100 mil.** Automotive Business, 21 maio 2025. Disponível em: <https://automotivebusiness.com.br/noticias/pulse-e-fastback-aumentam-lista-de-hibridosnacionais-acima-dos-r-100-mil>. Acesso em: 15/10/2025.

PANARO, R. **Veja 12 estados que dão benefícios a carros elétricos e híbridos.** Acesso em: 15/10/2025.

POWERTRAIN FTE WEG 23 – FUELTECH BRASIL. **Powertrain FTE WEG 23.** Disponível em: POWERTRAIN FTE WEG 23 - FuelTech Brasil. Acesso em: 15/10/2025.

RENAULT. **HOW DOES A HYBRID CAR WORK.** Disponível em: <https://www.renault.com.py/conozca-renault/engine-e-tech-full-hybrid.html>. Acesso em: 20/02/2026.

RICHARDSON, J. R. et al. **Metodologia de Pesquisa Social.** 3. ed. São Paulo: Editora Atlas, 1999. Disponível em: Metodologia-de-Pesquisa-Social-Richardson.pdf. Acesso em: 15/10/2025.

SABET, S.; FAROOQ, B. **Exploring the combined effects of major fuel technologies, ecorouting, and eco-driving for sustainable traffic decarbonization in downtown Toronto.** 2023. Disponível em: <https://arxiv.org/abs/2308.14914>. Acesso em: 15/10/2025.

SILVA, C. H. M. **Estado da Arte da Utilização de Baterias em Veículos Elétricos.** UFCE, 2019. Disponível em: 2019_tcc_mhcsilva.pdf. Acesso em: 15/10/2025.

SIMÕES, N. **A partir de 2030, Brasil poderá vender 800 mil veículos elétricos e híbridos por ano.** Automotive Business, 06 fev. 2023. Acesso em: 15/10/2025.

SOUZA, de J. **Manual de Acionamentos e Comandos Elétricos.** Escola Técnica Estadual Monteiro Lobato – CIMOL. Disponível em:

https://www.researchgate.net/profile/Jose_Souza18/publication/316748560_MANUAL_DE_ACIONAMENTOS_E_COMANDOS_ELETRICOS/data/59109d89458515bbcb4d8237/MANUAL-DE-ACIONAMENTOS-E-COMANDOS-ELETRICOS.pdf. Acesso em: 15/10/2025.

TAPPA, R.; CHOWHAN, S.; SHAIK, A.; MAROJU, A.; TALLURI, S. **Design and Development of a Micromobility Smart Electric Scooter to Revolutionize Urban Commuting.** Disponível em: Design and Development of a Micromobility Smart Electric Scooter to Revolutionize Urban Commuting. Acesso em: 15/10/2025.

TESLA. **Model S Owner's Manual.** Disponível em: Subsistemas. Acesso em: 15/10/2025.

VILLAÇA, T. **Stellantis confirma Leapmotor em 2025 para disputar com BYD e GWM.** Disponível em: Stellantis confirma Leapmotor em 2025 para disputar com BYD e GWM. Acesso em: 15/10/2025.

WEG. **Motores Elétricos – Guia de Especificação.** Disponível em: WEG-motores-eletricosguia-de-especificacao-50032749-brochure-portuguese-web.pdf. Acesso em: 15/10/2025.

WEG. **Soluções em Mobilidade.** Disponível em: WEG-solucoes-em-mobilidade-eletricafolder-50083876-pt.pdf. Acesso em: 15/10/2025.

WEG. **Motor W22 IR3 Premium 250cv.** Disponível em: W22 IR3 Premium 250 cv 4P 315S/M 3F 220/380/440 V 60 Hz IC411 - TFVE - B3D | W22 | W22 | Uso Geral | Trifásico - Baixa Tensão | Motores Elétricos | WEG - Produtos. Acesso em: 10/12/2025.

YASA. **Yasa Series Motors.** Disponível em: <https://yasa.com/yasa-series-motors>. Acesso em: 10/12/2025.