2 Revisão Bibliográfica

2.1 A influência do Parque Automotor

As grandes metrópoles do mundo, como Cidade do México, Tokyo, São Paulo, Buenos Aires e Rio de Janeiro estão enfrentando, cada vez mais, grandes engarrafamentos, produtos da alta densidade de veículos em circulação, o que ocasiona o aumento da poluição atmosférica e um maior consumo de combustível.

Este fenômeno causa uma baixa eficiência energética no sistema de transporte e como consequência o custo do mesmo é maior. Portanto é importante pesquisar e desenvolver novas formas de propulsão para os veículos, para que a energia seja utilizada de maneira mais eficiente e obtenha-se uma menor poluição do meio ambiente.

O setor de transporte contribui de maneira considerável com o aumento dos índices de poluição atmosférica. Como exemplo, pode-se observar nos grandes centros urbanos, onde se têm uma quantidade considerável de veículos automotores, que os indices de poluição são muito altos.

A Tabela 2.1 mostra que no Brasil havia uma frota de 29.503.503 veículos no ano 2000. Devido ao grande desenvolvimento econômico e industrial, o parque automotivo quase se duplicou no ano de 2008, tendo uma frota de 54.506.661 veículos, como informa o Anuário Estatístico do Departamento Nacional de Transito[9] feito em 2010. No dia 11 de Fevereiro de 2011, na pagina web do DENATRAN, foi publicado a notícia de que a frota brasileira haveria tido um aumento de 8,4% durante o ano 2010, totalizando para a data mencionada 64.817.974 veículos em todo o país.

Em todo o mundo, ocorre um aumento significativo do parque automotivo. Este aumento poderia se dar com modelos mais eficientes em termos de consumo de combustível e cuidado com o meio ambiente, mas acontece de tal forma que o volume das emissões de poluentes continua aumentando. Também é importante mencionar que para o estudo das emissões produzidas pelo parque automotivo deve-se levar em conta não só o tipo de veículo, mas também

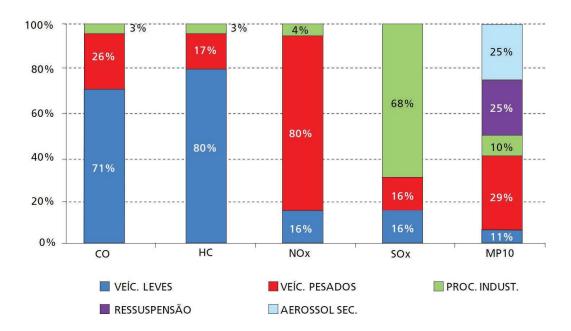


Figura 2.1: Emissões relativas de poluentes por tipo de fonte - 2009.

Cópia do Gráfico 49 - Emissões relativas de poluentes por tipo de fonte - 2009.

Fonte: Relatório da Qualidade do Ar 2009 - CETESB[10] - São Paulo.

a distância percorrida durante sua vida útil, tipo de caminho e frequência na manutenção.

No capítulo anterior, foram mencionados os principais poluentes emitidos diretamente pelos veículos de transporte, de carga ou de passageiros, os quais representam parte importante da quantidade de emissões totais em grandes centros urbanos, sendo muitas vezes os responsáveis diretos pela poluição atmosférica.

Por exemplo, na região metropolitana de São Paulo, as emissões de origem veicular são quase o 100% das emissões de CO, HC e NO_X , conforme pode ser observado na Tabela 2.2 e Figura 2.1, ambas relacionadas às principais fontes de emissões de poluentes atmosféricos na RMSP em 2009.

2.1.1 Poluição Produzida pelos Veículos Leves

A gasolina, o álcool e o gás natural são os principais combustíveis utilizados em veículos leves (automóvel e van). Normalmente o transporte particular e o serviço de táxi são feitos em veículos leves. Como pode-se observar na Tabela 2.3, o setor de veículos leves representa mais de 60% do parque automotivo no Brasil, portanto é de muita importância o estudo não só

Tabela 2.1: Evolução da Frota Veicular no Brasil (2000-2008)

Ano	População	Frota	Veí./1000 Hab.
2000	169.590.693	29.503.503	174
2001	172.385.826	31.913.003	185
2002	174.632.960	34.284.967	196
2003	176.871.437	36.658.501	207
2004	181.581.024	39.240.875	216
2005	184.184.264	42.071.961	228
2006	186.770.562	45.370.640	243
2007	189.612.814	49.644.025	262
2008	191.480.630	54.506.661	285

Cópia Adaptada da Tabela 45 Resumo de Anos Anteriores - Brasil. Fonte: Anuário Estatístico do DENATRAN - RENAEST 2008[9].

Tabela 2.2: Estimativa de emissão das fontes de poluição do ar na RMSP em 2009.

2009.		Emissão (1000 t/ano)						
Fon	nte de Emissão	CO	HC	NO_X	\mathbf{SO}_X	MP		
	Gasolina C (TEV)	646,4	66,3	42,4	3,7	4,5		
	Álcool + Flex (TEV)	204,4	22,7	14	-	-		
	Diesel (TEV)	410,1	62,8	300,6	4,2	14,4		
	Taxi (TEV)	1,9	1,1	2,2	-	-		
	Motocicletas (TEV)	269,9	36,5	3,1	0,5	1,3		
	Gasolina C (CE)	-	113,5	-	ı	-		
	Álcool (CE)	-	20	-	-	-		
MÓVEIS	Motocicletas (CE)	-	31,1	-	-	-		
	Todos os tipos (PN)	-	-	-	-	11,2		
	Gasolina C (OTC)	-	12,8	-	-	-		
	Álcool (OTC)	-	3,3	-	-	-		
DIXA	Processo Industrial	38,6	12	14	17,1	31,6		
FIXA	Número de Indústrias	750	800	740	245	308		
	TOTAL	1.571,3	382,1	376,3	$25,\!5$	63		

Cópia da Tabela 31 - Estimativa de emissão das fontes de poluição do ar na RMSP em 2009.

Fonte: Relatório da Qualidade do Ar 2009 - CETESB[10].

dos níveis de poluição atmosférica que possam gerar os veículos, mas também a quantidade de energia que é necessaria para sua movimentação.

Para a diminuição da poluição atmosférica originada, normalmente, utilizam-se os filtros de ar, óleo e de combustível, que em primeira instância tentam proteger o motor das partículas nocivas que possam causar desgaste em seus elementos e além disso contribuir à diminuição da poluição do meio ambiente. Atualmente as empresas fabricantes de filtros para veículos, apresentam grande interesse no desenvolvimento de novos filtros com fibras sintéticas, que não só permita reter partículas nocivas que possam danificar o motor, mas que também possibilite uma combustão mais eficiente, onde o ar e o combustível entre na câmara de combustão livre de impurezas, e produza-se uma boa combustão.

Tabela 2.3: Frota veicular do Brasil em 2010

Tipo de Veículo	Número de Veículos	%
Automóvel	37.188.341	57,37
Bonde	126	0,00
Caminhão	2.143.467	3,31
Caminhão trator	412.473	0,64
Caminhonete	4.285.690	6,61
Van	1.859.043	2,87
Chasse plataf	3.801	0,01
Ciclomotor	95.259	0,15
Micro-ônibus	270.693	0,42
Motocicleta	13.950.448	21,52
Motoneta	2.444.471	3,77
Ônibus	451.989	0,70
Quadriciclo	153	0,00
Reboque	782.421	1,21
Semi-reboque	612.040	0,94
Side-car	8.418	0,01
Outros	7.832	0,01
Trator estei	155	0,00
Trator rodas	21.679	0,03
Triciclo	10.258	0,02
Utilitário	269.217	0,42
TOTAL	64.817.974	100

Adaptação da Tabela - Frota de veículos, por tipo e com placa, segundo os Municípios da Federação - Dez/2010.

Fonte: Estatísticas - Frota 2010 - DENATRAN[9].

A Gasolina C e o Diesel são os combustíveis mais poluentes, de acordo

com a Tabela 2.2 eles produzem uma grande quantidade de CO e HC e uma proporção considerável de NO_X .

Atualmente no Brasil, a legislação está evoluindo e seguindo os padrões internacionais. Como as restrições à poluição veicular estão aumentando e são cada vez mais severas, devem-se utilizar veículos menos poluentes que os convencionais, com a finalidade de cumprir as normas ambientais.

2.1.2 Economia do Recurso Energético

Todo veículo de transporte de passageiros ou de carga precisa ter um sistema de propulsão para sua movimentação. O sistema de propulsão permite realizar a transformação de um tipo de energia (química, elétrica, solar) em energia mecânica que é transmitida até as rodas permitindo a movimentação do veículo. Na atualidade podem-se observar diferentes sistemas de propulsão, tais como: elétricos, híbrido elétrico e mecânico produto da combustão (diesel, gasolina, álcool, GNV, GLP).

Quando um usuário escolhe um veículo, o primeiro ponto que ele procura saber é o custo que ele vai ter na hora de se transladar de um lugar para outro, portanto o veículo, além de ter o conforto e permitir trasladar-se de um lugar a outro sem nenhuma dificuldade, tem que ser econômico.

Tabela 2.4: Economia de Operação de um Veículo com Propulsão Elétrica.

Veículo Convencional (VC)		
Custo do Combustível	2,5	\$/gal
Eficiência do combustível num veículo convencional	30	MPG
Custo por 100 milhas	\$8,33	
Faixa (Típica)	250	milhas
Veículo Híbrido Elétrico Ligado à Tomada (P	HEV)	
Custo da Eletricidade	0,11	\$/kWh
Eficiência de carga	86,00%	
Custo da energia nas baterias	$0,\!128$	\$/kWh
Eficiência elétrica (dado atual)	0.11	kWh/km
Eficiência em milhas	0,177	kWh/mi
Custo por 100 milhas	\$2,26	
Tamanho da bateria	44	kWh
Faixa do veículo (calculado)	249	milhas
Peso das baterias de Ion - Lítio	650	Lb.

Cópia Traduzida da Tabela 1 - The economics of operating an electric powered vehicle against a conventional vehicle, based on data available for the Tesla, an electric powered vehicle scheduled for delivery in 2007. Fonte: Plug-In Electric Hybrid Vehicles, (IEEE - USA)[11].

Na Tabela 2.4 mostra-se a "eficiência econômica" dos veículos híbridos elétricos com ligação na tomada. Mas cabe ressaltar que este estudo simula a operação de um veículo que consome unicamente energia elétrica armazenada nas baterias, já que a tabela mostra o custo da energia por cada 100 milhas para um veículo convencional e para um veículo híbrido elétrico ligado na tomada.

A partir disto pode-se observar a grande diferença do custo por 100 milhas que tem um veículo convencional em relação a um veículo elétrico. Estes resultados foram obtidos nos Estados Unidos mas esta realidade não está longe da nossa, já que no Brasil existe um alto potencial elétrico e além disso, conta com um grande potencial petrolífero que permite o abastecimento das usinas geradoras de energia elétrica. Portanto pode-se dizer que a opção de um veículo elétrico ou um veículo híbrido elétrico no Brasil, seria sustentável em termos econômicos e ambientais.

2.2 Veículos Híbridos

Durante os séculos XIX e XX se formularam idéias referentes à construção e desenvolvimento dos veículos elétricos. Thomas Alva Edison aparece com um dos primeiros protótipos de veículo elétrico na Figura 2.2. Aquelas ideias de mais de 150 anos são utilizadas hoje para produzir novos veículos elétricos e elétricos híbridos, que na atualidade, com o transcorrer do tempo, vem ganhando maior importância e maior presença dentro do parque automotivo mundial. Os veículos elétricos híbridos podem ser classificados da seguinte maneira:

- Veículos elétricos a bateria.
- Veículo elétrico híbrido com motor a combustão interna, que combina a energia das baterias com a energia do motor de combustão interna.
- Veículo a pilhas de combustível, que podem utilizar combustível renovável como fonte de energia. Pode ter uma propulsão unicamente com pilhas de combustível, ou uma configuração híbrida, combinando a energia das pilhas de combustível com a energia das baterias.
- Veículos alimentados por linhas elétricas.
- Veículos elétricos que utilizam diretamente a energia da radiação solar.
- Veículos elétricos que armazenam energia por meios alternativos, como os freios regenerativos que permitem armazenar a energia liberada no momento da frenagem. Michaela Prummer[12] menciona que para poder armazenar uma maior quantidade da energia liberada no momento da



Figura 2.2: Thomas Edison e o Veículo Elétrico da Detroit Electric 1913.

Fonte: Institute for Energy Research (IER)

frenagem é necessário que exista um sistema de armazenamento rápido de energia. Para isto normalmente são utilizados os supercapacitores, que são capazes de armazenar e subministrar energia em grandes quantidades e com grande velocidade.

2.2.1 Veículos Híbridos Elétricos

O Veículo Elétrico Híbrido (VEH) é aquele que utiliza uma fonte a mais de energia além da fonte elétrica para o sistema de propulsão do veículo. A segunda fonte de energia pode ser um motor a combustão interna ou uma pilha de combustível (mais conhecidas no mercado como células de combustível). A fonte elétrica fornece energia ao motor elétrico, que normalmente trabalha a potência média (regime permanente), e a segunda fonte fornece potência a um nível pico (regime dinâmico).

Allen E. Fuhs[13] em seu livro sobre os Veículos Híbridos menciona que na atualidade encontra-se no mercado quatro tipos de arquiteturas do sistemas de propulsão: Série, Paralelo, Série - Paralelo e Complexo.

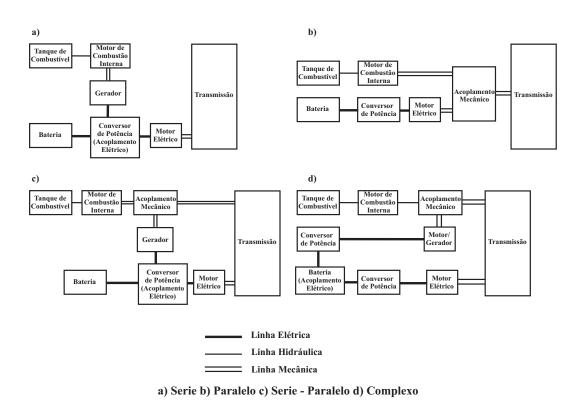


Figura 2.3: Classificação dos Veículos Elétricos Híbridos.

Cópia da Figura 5.3 Classifications of hybrid EVs.

Fonte: Modern Electric, Hybrid Electric, and Fuel Cell Vehicles[14].

Na Figura 2.3 podem-se observar os diferentes tipos de arquitetura, onde se faz uma diferenciação nas linhas de condução para cada tipo de energia, seja esta elétrica, mecânica ou hidráulica.

Arquitetura em Série

A tração mecânica do veículo é obtida a partir de um único motor elétrico ou também pode ser obtida a partir de vários motores elétricos, como é o caso dos veículos que utilizam motores embutidos nas rodas. Entretanto, a energia necessária para o acionamento deste motor resulta da combinação de duas ou mais fontes de energia independentes.

Um reservatório de combustível (gasolina ou diesel) é utilizado para armazenar a energia química, que serve para acionar o sistema de geração de energia elétrica, composto por um motor a combustão que aciona um gerador elétrico. A energia elétrica produzida por este sistema de geração, pode seguir dois caminhos. No primeiro, ela segue diretamente para alimentar o conversor eletrônico que aciona o motor elétrico. No segundo caminho, esta energia é armazenada no sistema de baterias a bordo.

Na Figura 2.4, observa-se como o fluxo de potência pode seguir caminhos

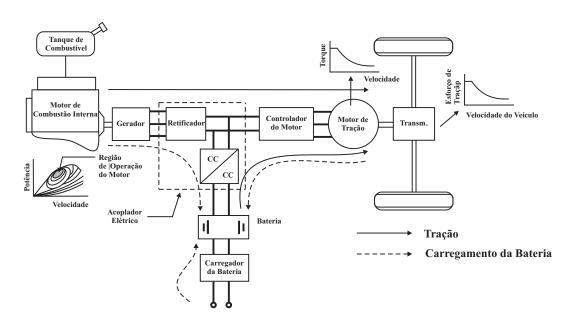


Figura 2.4: Configuração de Arquitetura em Série de um VEH.

Cópia Adaptada da Figura 5.4 Configuration of a series hybrid electric drive train.

Fonte: Modern Electric, Hybrid Electric, and Fuel Cell Vehicles[14].

distintos dependendo do modo de operação do carro. Em uma situação onde seja necessária uma elevada potência de aceleração, a bateria e o motor a combustão fornecem energia para o motor elétrico. Durante os períodos de frenagem o sistema de baterias irá receber energia do motor a combustão e ao mesmo tempo "energia cinética" do carro. Clovis Goldemberg[15] menciona, em seu trabalho sobre a evolução do carro elétrico, que o motor elétrico no momento da frenagem vira gerador, com a finalidade de recuperar a energia que se transforma devido a esta ação.

Arquitetura em Paralelo

O veículo híbrido em "Paralelo" é uma combinação de dois tipos de tração como mostra a Figura 2.5. O motor elétrico e o motor a combustão interna atuam de forma conjunta através de acoplamentos mecânicos, com a finalidade de tracionar o veículo. Tanto o motor elétrico como o motor a combustão podem ser desconectados do acoplamento, o que dá a possibilidade de tracionar o veículo usando apenas o motor elétrico ou o motor a combustão.

No veículo híbrido elétrico em paralelo, também é possível inverter o fluxo de potência fazendo com que o motor elétrico de tração passe a operar como gerador. Deste modo, o sistema de baterias poderá ser carregado a partir do motor a combustão e também a partir da conversão da energia cinética durante os intervalos da frenagem, mediante o sistema regenerativo.

Arquitetura em Série - Paralelo

Inicialmente os Veículos Elétricos Híbridos se desenvolveram utilizando uma arquitetura em Série ou em Paralelo, mas os fabricantes com o transcorrer dos anos descobriram as vantagem da combinação da configuração Série com a configuração em Paralelo para um VEH.

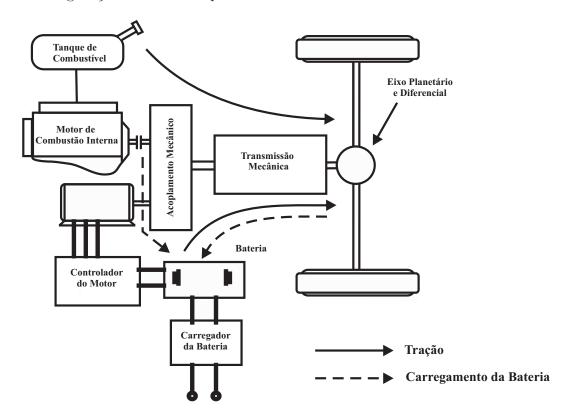


Figura 2.5: Configuração de uma Arquitetura em Paralelo.

Cópia Adaptada da Figura 5.5 Configuration of a parallel hybrid electric drive train.

Fonte: Modern Electric, Hybrid Electric, and Fuel Cell Vehicles[14].

Nestes VEH Combinados, o motor é utilizado também para o carregamento da bateria. A Toyota Prius é um exemplo de um híbrido, onde se adiciona um elemento ao sistema em Paralelo. O elemento permite que a bateria continue carregando em tempos de prolongada espera, como exemplo num semáforo ou num engarrafamento. Estes híbridos combinados podem ser catalogados como Híbridos em Paralelo, já que conservam a estrutura em Paralelo. É importante mencionar o fato de que a configuração detalhada de um VEH depende da aplicação e o equilíbrio entre o custo e o rendimento.

A disposição dos componentes de um Veículo Híbrido Série - Paralelo mostra-se na Figura 2.6. O esquema tem base no desenho híbrido da Toyota Prius. Um dispositivo de distribuição de potência aloca a potência do motor de

combustão às rodas dianteiras, através do eixo do motor e o gerador elétrico, dependendo das condições de condução.

Utiliza-se a potência do Gerador para carregar as baterias. O motor elétrico também pode entregar potência às rodas dianteiras em paralelo com o motor de combustão. O inversor de corrente é bidirecional e pode ser utilizado para carregar as baterias ou para a condução da energia para o motor elétrico.

Arquitetura Complexa

Na Figura 2.3, pode-se observar uma configuração do veículo elétrico híbrido denominado Complexo, a qual tem uma estrutura similar ao Série - Paralelo. A única diferença é que a função de acoplamento elétrico se move desde o conversor de energia e adiciona-se, entre o sistema motor/gerador e bateria, um conversor de maior potência.

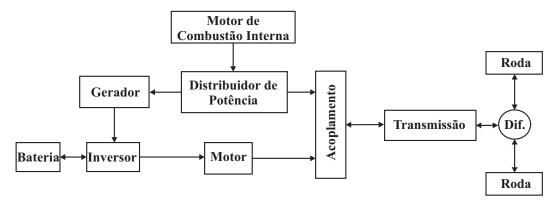


Figura 2.6: Configuração de uma Arquitetura Série - Paralelo.

Cópia Adaptada da Figura 10.3 Series - parallel combination HEV. Fonte: Electric and Hybrid Vehicles - Design Fundamentals[16].

2.2.2 Sistema de Tração Elétrica

Os Veículos Híbridos Elétricos (VEH), frequentemente, dentro de seu sistema de tração, utilizam um motor elétrico de tração ou um motor embutido em cada roda, baterias, ultracondensadores e em algumas oportunidades utilizam pilhas de combustível como fonte de conversão de energia.

O VEH assim como os Veículos Elétricos (VE) têm muitas vantagens sobre os Veículos Convencionais (VC) com motor a combustão interna, devido à diminuição de emissões diretas. Também têm uma alta eficiência, independência do petróleo e bom funcionamento.

Os princípios fundamentais de funcionamento nos VEH, VE e VC são similares. Sem embargo existem algumas diferenças entre estes, tais como o

uso da bateria em vez do tanque de combustível, que pode ser visto na forma de armazenamento e transmissão da energia.

A pouco tempo, os VE eram resultado da conversão dos VC com motor de combustão interna, mediante a substituição do motor de combustão por um motor elétrico e o tanque de combustível por um conjunto de baterias, conservando os demais componentes como se pode observar na Figura 2.7.

Uma das limitantes até alguns anos era o peso, a pouca flexibilidade dos equipamentos e a baixa capacidade de armazenamento nas baterias, o que prejudicava o rendimento e a alta autonomia para grandes percursos.



Figura 2.7: Conversão de um VC a um VE.

Fonte: Toyota MR2[17].

Com os recentes avanços tecnológicos, além de realizar o processo de conversão, as montadoras decidiram implementar a produção destes veículos em série, considerando sempre aquelas limitantes que faziam que o veículo elétrico não tivesse boa aceitação. Em seu artigo o U.S. Department of Energy[18] menciona as características e vantagens, que hoje permitem que veículos elétricos como o Tesla Roadster, o Nissan LEAF e o Mitsubishi iMIEV, sejam competitivos no mercado.

Uma configuração moderna do trem de propulsão pode ser visto na Figura

2.8. O trem de propulsão consta de três subsistemas principais: a propulsão do motor elétrico, fonte de energia e sistemas auxiliares.

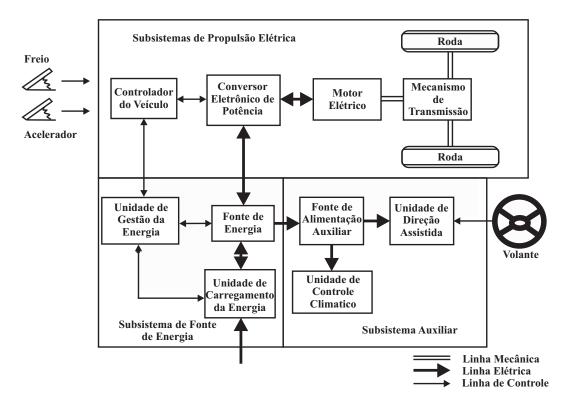


Figura 2.8: Configuração Conceitual de um Veículo Elétrico.

Cópia Adaptada da Figura 4.2 Conceptual illustration of a general EV configuration.

Fonte: Modern Electric, Hybrid Electric, and Fuel Cell Vehicles[14].

Mehrdad Ehsani[14] em seu livro afirma que o subsistema de propulsão elétrica está composto pelo controlador do veículo, o conversor eletrônico de potência, o motor elétrico, a transmissão mecânica e as rodas. O subsistema de fornecimento de energia está composto por a fonte de energia, a unidade de gestão e a unidade de carregamento. O subsistema auxiliar consiste num volante, uma unidade de alimentação auxiliar e uma unidade de controle climático.

2.2.2.1 Configurações do Sistema de Tração Elétrica em um Veículo

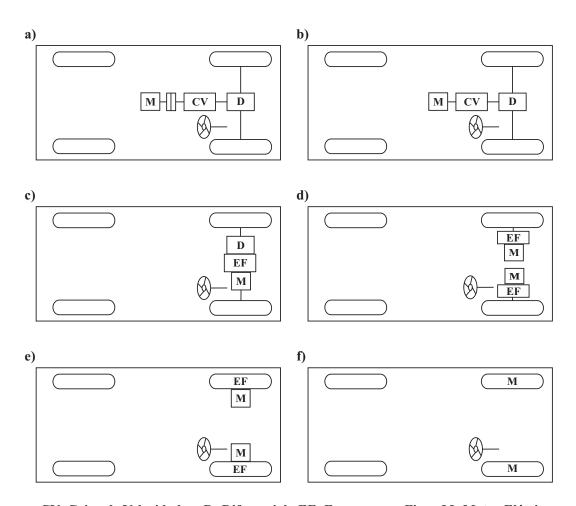
Em função dos sinais de entrada dos pedais de aceleração e de freio, e ao giro da volante, o controlador do veículo proporciona os sinais adequados de controle para o conversor eletrônico de potência, que é o responsável pelo controle do fluxo de energia entre o motor elétrico e a fonte de energia.

O fluxo de energia no sentido do motor elétrico até a fonte de energia se deve à frenagem regenerativa. A energia é gerada quando o motor elétrico vira gerador no momento da frenagem, parte desta energia se recupera e armazena na bateria. A maioria das baterias nos VE e VEH trabalha em conjunto com os ultracapacitores, os quais permitem um maior armazenamento fácil e rápido. Recomenda-se a existência dos ultracapacitores, já que eles permitem um maior fornecimento de energia por unidade de tempo.

A unidade de gestão é a responsável pelo controle do veículo no momento da frenagem e do armazenamento da energia. Além disso, trabalha no gerenciamento da fonte de energia e do sistema de carregamento.

A fonte de alimentação auxiliar fornece a potência necessária com diferentes níveis de tensão para todos os dispositivos auxiliares do veículo, especialmente para o controle do ar acondicionado e a direção hidráulica. Há uma grande variedade de configurações possíveis do sistema de tração elétrica como pode ser observado na Figura 2.9.

- Na Figura 2.9-a, mostra-se a substituição do motor a combustão interna por um motor elétrico. Normalmente esta configuração está formada por um motor elétrico, uma embreagem, uma caixa de velocidade e um diferencial. A embreagem e a caixa de velocidade podem ser substituídas por uma transmissão automática. Na conexão do motor elétrico com as rodas motrizes utiliza-se a embreagem. Já a caixa de velocidade fornece um conjunto de relações de transmissão em função às demandas de carga. O diferencial é um dispositivo mecânico, normalmente um conjunto de engrenagens planetárias, que tem a função de dividir o torque entre dois semi-eixos, permitindo que os mantenha com velocidades de rotações distintas.
- Na Figura 2.9-b, a caixa de velocidades e o motor elétrico do modelo anterior são substituídos por um motor de potência constante. Esta substituição permite a redução do tamanho e peso da transmissão mecânica, como é apresentado na Figura 2.10.
- Na Figura 2.9-c, o motor elétrico, o diferencial e a engrenagem fixa formam um único sistema de transmissão. Alex Pesidiris[19] apresenta o desenvolvimento das Patentes 5,851,162 e 7,481,730. Na Figura 2.11 mostra-se um trem de acionamento mais simplificado e compacto.
- Na Figura 2.9-d, o sistema de transmissão utiliza dois motores de tração onde cada um deles está ligado ao pneu mediante uma engrenagem fixa.
- Na Figura 2.9-e, mostra-se uma simplificação ainda maior do trem de acionamento. O motor de tração é embutido dentro da roda como é



CV: Caixa de Velocidades D: Diferencial EF: Engranagem Fixa M: Motor Elétrico

Figura 2.9: Tipos de Configurações de Sistemas de Tração Elétrica.

Cópia Adaptada da Figura 4.3 Possible EV configuration.

Fonte: Modern Electric, Hybrid Electric, and Fuel Cell Vehicles[14]

apresentado na Figura 2.12. Minoru Suzuki[20] realizou um trabalho experimental sobre os motores elétricos embutidos nas rodas, no qual utilizou um redutor de tipo cicloidal com uma relação de 1/11 e eficiência média de 95%. Nesse trabalho utilizou-se um motor elétrico, com rotação máxima de 15000 RPM, para que o pneu alcance uma velocidade de 160 km/h.

- Na Figura 2.9-f, desenha-se uma roda motriz com a finalidade de eliminar qualquer componente mecânico. O controle do motor elétrico é equivalente ao controle de velocidade da roda. Este sistema precisa de uma maior potência fornecida pelo motor elétrico para movimentar o veículo.

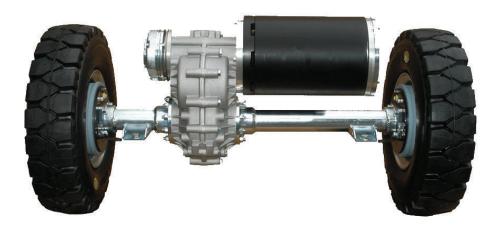


Figura 2.10: Motor, Caixa de Engrenagem e Diferencial.

Fonte: Benevelli - Transaxles And Power Drive Units[21]

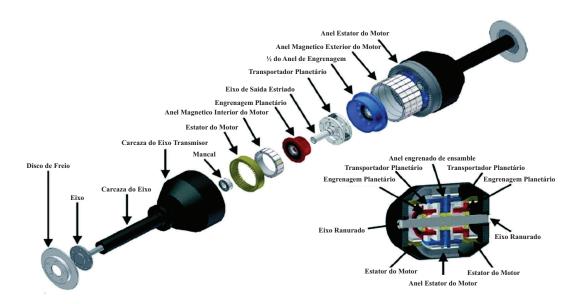


Figura 2.11: Motor - Planetário e Transmissão Compacta.

Cópia Adaptada da Figura 5 da Electric Transaxle

Fonte: TechniPower System[19]

2.2.2.2 Desempenho do Sistema de Tração Elétrica

O desempenho de um veículo é normalmente avaliado pelo seu tempo de aceleração, velocidade máxima e a performance no plano inclinado. Um projeto de um Veículo Elétrico ou Veículo Elétrico Híbrido, possui como parâmetros originais a potência nominal do motor e a velocidade máxima.

Uma característica importante do comportamento da velocidade do veículo é a velocidade base, a qual é diretamente proporcional à rotação base



Figura 2.12: Motor Embutido na Roda Mediante o Redutor Cicloidal.

Cópia da Figura 2 Installation of the unit

Fonte: Development of In - Wheel Type Integrated Motor Axle Unit [20]

do motor elétrico. Este valor é a máxima rotação na qual o motor fornece torque constante.

Na Figura 2.13 mostra-se o comportamento da rotação e o torque do motor elétrico. Numa região de baixa rotação, com rotação menor à rotação base, o motor fornece um torque constante e numa região de alta rotação, com rotação superior à rotação base, o motor fornece uma potência constante.

Quando analisa-se o comportamento da velocidade de um veículo deve-se ter em conta o valor "x", o qual é definido como a relação entre a velocidade máxima e a velocidade base. Na operação em baixa velocidade, o fornecimento de tensão ao motor elétrico pode ser considerado proporcional à velocidade, enquanto o torque se mantém constante.

No ponto de velocidade base, a tensão do motor elétrico alcança o valor da fonte. Depois da velocidade base, a tensão do motor permanece constante e o valor do torque decresce de maneira hiperbólica a medida que a velocidade aumenta.

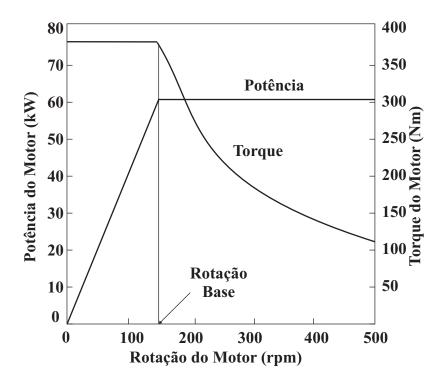


Figura 2.13: Características típicas de um motor elétrico de rotação variável.

Cópia Adaptada da Figura 4.4 Typical variable-speed electric motor characteristics.

Fonte: Modern Electric, Hybrid Electric, and Fuel Cell Vehicles[14].

2.2.3 Esforço de Tração e Requerimento de Transmissão

A força de tração desenvolvida por um motor elétrico nas rodas motrizes e a velocidade do veículo se expressam da seguinte forma:

$$F_t = \frac{T_m i_g i_o \eta_t}{r_d} \tag{2-1}$$

$$V = \frac{\pi N_m r_d}{30i_a i_0} \tag{2-2}$$

Na qual T_m é o torque do motor, i_g é a relação de transmissão na caixa de marchas, i_o é a relação de transmissão no diferencial, η_t é a eficiência de transmissão, r_d é o raio das rodas motrizes e N_m é a velocidade de rotação do motor. A Força de Tração está representada em (N) e a Velocidade em (m/s).

A utilização de uma engrenagem única ou múltipla depende principalmente da característica de torque e velocidade do motor. Quando o motor tem uma região considerável de potência constante, será necessário um único estágio de redução para esforços elevados. Caso contrário, faz-se necessário utilizar um sistema redutor com múltiplos estágios.

Na Figura 2.14 apresenta-se o comportamento do esforço para um VE. O motor de tração tem uma relação de rotação igual a 2 (x = 2) e a transmissão tem três relações de marcha. A primeira marcha cobre a região de velocidades a - b - c, a segunda cobre a região d -e -f, e a terceira cobre a região g - f - h.

A velocidade máxima do veículo, como mostra a Figura 2.14, depende da capacidade do motor de tração e das características do veículo, já que a maior capacidade, com as mesmas condições, a intercessão das curvas de Força de Tração e Forças de Resistência acontece a uma velocidade maior.

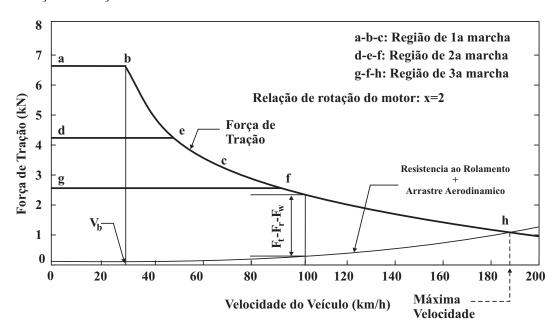


Figura 2.14: Força de Tração em função da Velocidade, para um motor de tração com x=2, e uma transmissão de três marchas.

Cópia Adaptada da Figura 4.6 Tractive effort versus vehicle speed with a traction motor of x=2 and three-gear transmission.

Fonte: Modern Electric, Hybrid Electric, and Fuel Cell Vehicles[14].

No cálculo do desempenho de um veículo deve-se ter em conta a velocidade de cruzeiro máxima, capacidade de subida no plano inclinado e a aceleração. A velocidade máxima pode ser facilmente calculada da intersecção das curvas de força de tração e força de resistência (rolamentos, arrasto aerodinâmico e subida no plano inclinado). A velocidade máxima do veículo é determinada pela rotação máxima do motor de tração tal como mostra-se a seguir:

$$V_{max} = \frac{\pi N_{m-max} * r_d}{30i_{g-min} * i_0} (m/s)$$
 (2-3)

Na Equação 2-3, N_{m-max} é a velocidade máxima do motor de tração e i_{q-min} é a relação mínima de transmissão das engrenagens (em marcha alta).

A capacidade de subida é determinada pela Força Neta de Tração do veículo, F_{t-net} ($F_{t-net} = F_t - F_r - F_a$). A capacidade de subir um plano inclinado em velocidades altas é menor que em baixas. O máximo grau de superação de uma velocidade pode ser determinado da seguinte forma:

$$i = \frac{F_{t-net}}{Mg} = \frac{F_t - (F_r + F_a)}{Mg}$$
 (2-4)

Na Figura 2.15, mostra-se as diferentes forças de resistência que atuam sobre o veículo quando encontra-se em movimento.

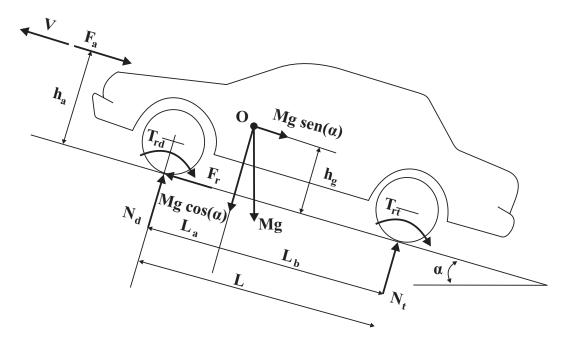


Figura 2.15: Forças que atuam sobre um veículo em movimento.

Cópia Adaptada da Figura 2.1 Forces acting on a vehicle moving uphill. Fonte: Modern Electric, Hybrid Electric, and Fuel Cell Vehicles[14].

Em baixas velocidades a capacidade de superação de uma velocidade é muito maior. Os cálculos baseados na Equação 2-4 pode causar um erro significativo, portanto, para calcular a capacidade de inclinação do veículo se recomenda utilizar a Equação 2-5 que mostra-se a seguir:

$$\sin \alpha = \frac{d - f_r \sqrt{1 - d^2 + f_r^2}}{1 + f_r^2} \tag{2-5}$$

Na qual o fator de rendimento do veículo é representado por $d = (F_t - F_a)/Mg$. A performance da aceleração de um veículo é avaliado pelo tempo utilizado para ir de uma velocidade baixa, usualmente zero, até uma alta velocidade, usualmente 100 km/h. Para os automóveis de passageiros a capacidade de aceleração é mais importante que a velocidade máxima de cruzeiro e capacidade de subida num plano inclinado, já que esta característica determina a potência do motor. O tempo de aceleração de um veículo elétrico pode ser representado da seguinte forma:

$$t_a = \int_0^{V_b} \frac{M\delta}{F_t - (F_r + F_a)} dV + \int_{V_b}^{V_f} \frac{M\delta}{F_t - (F_r + F_a)} dV$$
 (2-6)

$$F_t = P_t / V_b \tag{2-7}$$

$$F_r = Mgf_r (2-8)$$

$$F_a = 1/2\rho_a C_D A_f V^2 (2-9)$$

Onde P_t é a potência de tração nas rodas à velocidade de base do veículo, f_r é o coeficiente de resistência ao rolamento, C_D é o coeficiente de arrasto aerodinâmico, ρ_a é a densidade do ar, A_f é a área frontal do veículo é δ é o fator de correção das massas giratórias, pode-se assumir um valor de 1,04 seguem [14]. O primeiro elemento da Equação 2-6 é correspondente à região de velocidade inferior à velocidade base, o segundo elemento compreende a região entre a velocidade base e a velocidade final da aceleração.

Analiticamente é difícil obter uma solução para a Equação 2-6. Para a avaliação do tempo de aceleração com relação à potência de tração, pode-se ignorar as forças de resistência e obter a seguinte equação:

$$t_a = \frac{\delta M}{2P_t} (V_f^2 + V_b^2) \tag{2-10}$$

A potência de tração pode ser expressa da seguinte forma:

$$P_t = \frac{\delta M}{2t_a} (V_f^2 + V_b^2) \tag{2-11}$$

A potência obtida na Equação 2-11 é apenas a potência consumida na aceleração do veículo. Para determinar com maior precisão a potência de tração, deve-se considerar a energia consumida para superar as forças de resistência. A potência de arraste médio durante a aceleração pode ser expressado da seguinte forma:

$$\overline{P_{arr}} = \frac{1}{t_a} \int_0^{t_a} (Mg f_r V + \frac{1}{2} \rho_a C_D V^3) dt$$
 (2-12)

A velocidade do veículo pode ser expressa em função do tempo:

$$V = V_f \sqrt{\frac{t}{t_a}} \tag{2-13}$$

Substituindo o valor da velocidade, expressa na Equação 2-13, na Equação 2-12, obtém-se o seguinte:

$$\overline{P_{arr}} = \frac{2}{3} Mg f_r V_f + \frac{1}{5} \rho_a C_D V_f^3$$
 (2-14)

A potência total de tração para a aceleração de um veículo desde a velocidade zero até uma velocidade V_f num tempo t_a , em segundos, pode ser finalmente obtida como segue a continuação:

$$P_{t} = \frac{\delta M}{2t_{a}} (V_{f}^{2} + V_{b}^{2}) + \frac{2}{3} M g f_{r} V_{f} + \frac{1}{5} \rho_{a} C_{D} V_{f}^{3}$$
 (2-15)

A Equação 2-15, mostra que a potência de tração para valores de velocidade base baixos se traduzira em ter um motor de pequena potência. Sem embargo, a taxa de diminuição da potência com respeito à redução da velocidade base, não é idêntica. Diferenciando a Equação 2-15 com respeito da velocidade base obtém-se o seguinte:

$$\frac{dP_t}{dV_b} = \frac{\delta M}{t_a} V_b \tag{2-16}$$

Na Figura 2.16 mostra-se um exemplo do comportamento da potência de tração e a taxa de diminuição da potência com respeito da velocidade base

versus o fator de velocidade x. Neste exemplo, o tempo de aceleração é de 10 s, a massa do veículo é de 1200 kg, o coeficiente de resistência ao rolamento é de 0,01, o coeficiente de resistência aerodinâmica é de 0,3 e a área frontal é de 2 m². Pode-se observar claramente que para um fator de velocidade baixo (alto valor de V_b), a diminuição do valor de V_b se traduzira de maneira significativa na diminuição da exigência de potência de tração. Mas com um alto fator de velocidade (baixo valor de V_b), x > 5, não é tão eficaz.

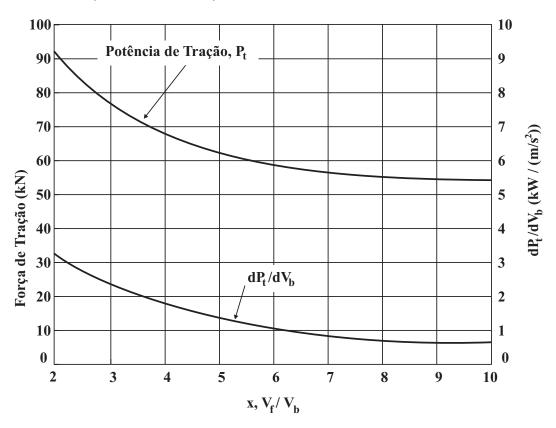


Figura 2.16: Potência versus Fator de Velocidade.

Cópia Adaptada da Figura 4.9 Power rating versus speed factor. Fonte: Modern Electric, Hybrid Electric, and Fuel Cell Vehicles[14].

O rendimento do veículo descrito anteriormente determina a capacidade do veículo com respeito à velocidade, capacidade de subida num plano inclinado, e à aceleração, com o que se determina diretamente a capacidade do trem de potência. Sem embargo, em condições normais, estas capacidades máximas raramente são utilizadas, já que a maior parte do tempo de operação o trem de força opera com carga parcial. O esforço de tração e a velocidade do veículo variam amplamente com as condições de funcionamento, estas variações estão associadas com o ambiente de tráfego e o tipo do veículo.

É difícil descrever o esforço de tração e as variações da velocidade em todos os limites do trafego real com precisão e de maneira quantitativa. No

entanto, alguns ciclos de condução foram desenvolvidos para emular ambientes de tráfego típico. Estes ciclos de condução mostram o comportamento da velocidade em função do tempo.

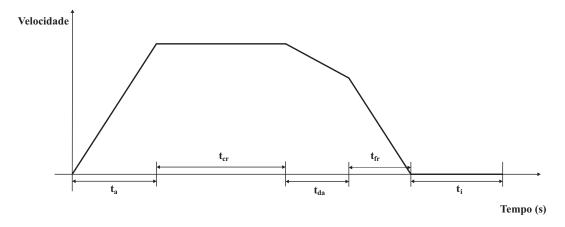


Figura 2.17: Ciclo de Condução comum para a Norma SAE J227a.

Cópia Adaptada da Figura 3.20 SAE J227a Standard Driving Cycle. Fonte: Electric and Hybrid Vehicles - Design Fundamentals[16].

Entre os ciclos de condução citam-se o FTP75 (Ciclo Urbano), o FTP75 (Ciclo na Estrada), o US06 (ciclos de alta velocidade e alta aceleração), o ciclo J227a recomendado pela SAE Internacional e aplicado na avaliação dos veículos elétricos e baterias. Na Figura 2.17 e Tabela 2.5, pode-se observar com maior detalhe o ciclo J227a.

Os ciclos de condução nos permitem avaliar o desempenho de um veículo para diferentes condições. Por isso, neste capítulo menciona-se ao detalhe cada ciclo que será posteriormente utilizado na avaliação do veículo elétrico híbrido.

2.2.4 Consumo de Energia

No transporte, a unidade de energia geralmente utilizada é o kilowatt - hora (kWh) em vez de Joule ou kilojoule (J ou kJ). A unidade utilizada na avaliação do consumo energético de um veículo elétrico ou elétrico híbrido é kWh/km. No entanto para os veículos convencionais, que utilizam o motor a combustão interna, a unidade que se acostuma usar para avaliar o consumo energético é a quantidade física de volume de combustível por distância, litros por 100 km (l/100 km). Nos Estados Unidos, a unidade de avaliação está expressa em milhas por galão (mpg).

O consumo em veículos convencionais pode ser expressado da seguinte maneira: l/100 km (para combustíveis líquidos), kg/100 km (para combustíveis gasosos como o hidrogênio) e milhas por galão (mpg). Na propulsão do veículo

	SAE J227a Ciclos				
Parâmetros de Teste	В	С	D		
Maxima velocidade	32	48	72		
Tempo de aceleração	19	18	28		
Tempo em modo cruzeiro	15	20	50		
Tempo de desaceleração	4	8	10		
Tempo de frenagem	5	9	9		
Tempo de inatividade	25	25	25		
Tempo total	72	80	122		
Número aproximado de ciclos por milha	5 - 4	3	1		

Tabela 2.5: Ciclos de Condução Normalizada (SAE J227a).

Cópia adaptada da Tabela 3.6 SAE J227a Standard Driving Schedules. Fonte: Electric and Hybrid Vehicles - Design Fundamentals[16].

elétrico, para o cálculo da energia que tem que fornecer a bateria se deve considerar as perdas, as resistências, a eficiência mecânica de transmissão e o desempenho dos circuitos eletrônicos de potência. A eficiência na transmissão e o motor estão representados η_t e η_m respectivamente. Portanto, a potência que sai da bateria pode ser expressa da seguinte forma:

$$P_{b-sai} = \frac{V}{\eta_t \eta_m} (Mg(f_r + gi) + \frac{1}{2} \rho_a C_D A_f V^2 + M \delta \frac{dV}{dt})$$
 (2-17)

Na Equação 2-17, só se considera a carga que sai da bateria e não a carga que volta produto da frenagem regenerativa. Quando existe a frenagem regenerativa num veículo, uma parte da energia cinética pode ser recuperado através de uma troca de função, onde o motor elétrico vira gerador, e a energia gerada é conduzida de volta até a fonte de armazenamento. A potência regenerativa que ingressa à bateria, produto do sistema mencionado, pode ser expressa da seguinte forma:

$$P_{b-reg} = \frac{\beta V}{\eta_t \eta_m} (Mg(f_r + gi) + \frac{1}{2} \rho_a C_D A_f V^2 + M \delta \frac{dV}{dt})$$
 (2-18)

Na qual o grau de inclinação da estrada, a aceleração, ou ambos são negativos e β (0 < β < 1) é o percentual do total da energia de frenagem que pode ser regenerada pelo motor elétrico, chamado fator de frenagem regenerativa. O consumo da energia é dado pela seguinte equação:

$$E_{saida} = \int_{T} P_{b-sai} dt + \int_{F} P_{b-reg} dt$$
 (2-19)

na qual a primeira integral corresponde ao momento da tração do veículo e a segunda integral é correspondente ao momento da frenagem. A eficiência de um motor de tração varia em função de seus pontos de operação (velocidade - torque ou velocidade - potência). Quando desenha-se o trem de força, devemos procurar que o sistema tenha uma eficiência ótima para diferentes condições de operação.

2.2.5 Motor Elétrico de Tração

O sistema de propulsão elétrica é o coração dos veículo elétricos e elétricos híbridos como pode-se observar na Figura 2.18. Estes sistemas estão compostos geralmente por um ou vários motores elétricos, conversores de potência e os controladores eletrônicos. O motor elétrico converte a energia elétrica em energia mecânica, que serve na propulsão do veículo e vira gerador para recuperar parte da energia na frenagem.

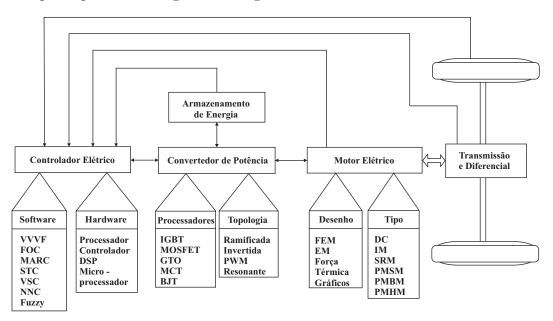


Figura 2.18: Sistema Típico de Propulsão Elétrica.

Cópia Adaptada da Figura 6.1 Functional block diagram of a typical electric propulsion system.

Fonte: Modern Electric, Hybrid Electric, and Fuel Cell Vehicles[14].

O conversor de potência é utilizado para alimentar o motor. O controlador eletrônico comanda o conversor de energia, fornecendo sinais de controle para ele e depois controla a operação do motor elétrico para produzir torque e velocidade de acordo à ordem do motorista. O regulador eletrônico está

composto de três unidades funcionais: sensores, circuitos de interface e o processador.

Os sensores monitoram os sinais de intensidade de corrente, tensão, temperatura, velocidade e torque. O fluxo desta informação é através dos circuitos de interface e é condicionado adequadamente antes de ser introduzido ao processador. Os sinais de saída do processador geralmente são amplificados através do circuito de interface para logo serem utilizados pelos dispositivos de potência da unidade de semicondutores de conversão de energia. O diagrama de bloco funcional do sistema de propulsão elétrica é ilustrado na Figura 2.18.

A escolha de um tipo de sistema de propulsão elétrica, para um veículo elétrico ou um veículo elétrico híbrido depende, principalmente, de uma série de fatores, incluindo a expectativa do motorista, as limitações do veículo e a fonte de energia. As expectativas do motorista são definidas por um perfil de condução, que incluem a aceleração, velocidade máxima, subida em um plano inclinado, capacidade de frenagem e distância percorrida. As limitações do veículo, incluindo o volume e o peso, também dependem do tipo de veículo, o peso do veículo e a capacidade de carga. A fonte de energia refere-se às baterias, células de combustível, ultracapacitores e várias fontes híbridas.

Diferente das aplicações indústriais, os motores utilizados em veículos elétricos e veículos elétricos híbridos, usualmente estão sujeitos a arranques e paradas frequentes, altas taxas de aceleração / desaceleração, alto torque e baixa velocidade a ascensão de um plano inclinado, baixo torque e alta velocidade de cruzeiro e uma ampla faixa de velocidades de operação. Os motores para veículos elétricos e elétricos híbridos podem ser classificados em dois grupos principais: motores comutadores e motores de baixa comutação, como é apresentado na Figura 2.19.

Os requisitos que deve cumprir um motor de tração para um Veículo Elétrico são as seguintes:

- Elevado valor pico de torque e de potência.
- Elevado torque de partida em subida de planos inclinados e em baixas velocidades, elevada potência quando o veículo encontra-se em altas velocidades.
- Extensa faixa de velocidades onde a potência seja constante e exista uma alta eficiência.
- Ter a capacidade de trabalhar com sobrecarga, em algumas vezes até o dobro do torque nominal por um intervalo de tempo curto.
- Alta robustez e confiabilidade.

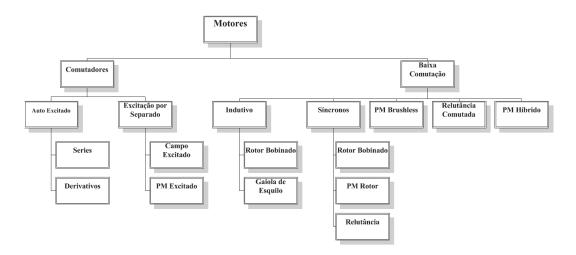


Figura 2.19: Classificação dos tipos de motores elétricos

Cópia Adaptada da Figura 6.2 Classification of electric motor drives for EV and HEV application.

Fonte: Modern Electric, Hybrid Electric, and Fuel Cell Vehicles[14].

Uma das considerações importantes que sempre deve-se ter em conta no momento da seleção de um motor elétrico, e de qualquer dispositivo elétrico ou eletrônico, é o IPXX, que vem a ser o grau de proteção contra substancias ou partículas do meio exterior. Normalmente são estas partículas invisíveis ao olho humano, que ocasionam grandes danos e reduzem a capacidade operativa do equipamento. Normalmente, para o motor de um veículo elétrico, considera-se um IP65, que é um grau no qual garante-se a proteção contra o ingresso de partículas sólidas e água.

No passado, os motores de corrente continua foram utilizados com muita frequência, já que o controle para este tipo de motores é mais fácil. Os principais tipos de motores que são utilizados nos veículos elétricos, serão descritos a seguir:

Motor de Corrente Contínua com Escovas

Quando se deseja ter um controle fácil sobre a rotação, o mais recomendável é utilizar este tipo de motor, o que se consegue variando a tensão fornecida nos terminais do motor, mas o fato de ter escovas ocasiona que este motor seja pesado e o custo de manutenção seja elevado quando comparado aos motores que não têm escovas. Esta máquina de corrente contínua é constituída principalmente por um circuito magnético fixo, o qual tem enrolamentos de excitação, que é conhecido como o circuito indutor, o qual forma em seu conjunto o estator que constitui a parte estática do motor. A parte dinâmica é chamada de armadura, com um núcleo magnético de seção circular, em cuja cara ex-

terior tem ranhuras longitudinais contendo condutores ligados ao coletor, por meio de escovas fixas ao estator permite a ligação ao exterior e a combinação do sentido das forças eletromotrizes nos condutores do circuito induzido, portanto existe sempre um valor resultante na mesma direção. Na Figura 2.20 mostra-se uma representação esquemática de um motor de corrente continua.

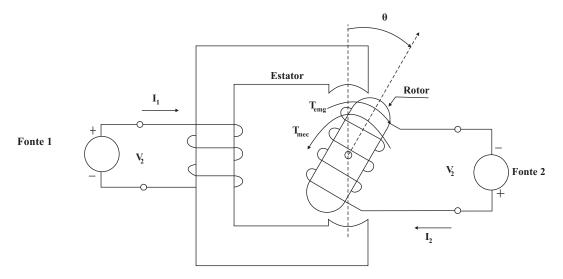


Figura 2.20: Esquema de um Motor de Corrente Continua

Cópia Adaptada da Figura 3.1 do Site Motor de Indução - FEE-UNICAMP Fonte: FEE UNICAMP[22].

Motor de Indução

O motor de indução é o mais usado na indústria, estes motores são econômicos, robustos e confiáveis. Diferentes tipos de motores são encontrados facilmente no mercado, com frações de HP até alguns com potências na ordem de Mega-watts (MW). Encontra-se com maior frequência motores monofásicos de baixa potência, mas quando existem aplicações, onde se trabalha com velocidades variáveis, o mais recomendável é trabalhar com um motor trifásico.

Motor de Relutância Variável

Os motores de relutância variável (MRV) podem ser considerados os motores menos complexos dentre o grupo de motores, além disso, pode-se encontrar uma grande variedade destes como pode-se apreciar na Figura 2.21. Estes motores estão formados por um estator que tem enrolamentos de excitação e um rotor magnético. Não existe necessidade de que o rotor tenha enrolamentos, já que o torque produzido pelo rotor alinha-se com a onda de fluxo produzida pelo estator, de tal maneira que se garante sempre a máximização dos fluxos, que se originam da aplicação de uma quantidade de corrente no estator.



Figura 2.21: Tipos de Motores de Relutância Variável.

Cópia da Figura 10.1 Switched Reluctance Motor Drives. Fonte: Electric Motors and Drives - Fundamentals, Types and Applications[23].

Embora a construção do MRV seja simple, este tipo de motor não pode ser alimentado diretamente à rede elétrica. É necessário aplicar um controle de pulsos em função da posição do rotor, já que o motor produz torque na região onde existe uma variação de relutância. Este tipo de motor é projetado para que as indutâncias variem com a posição do rotor. O torque produzido por um MRV, tem a seguinte expressão:

$$T = \frac{1}{2}ic^2 \frac{dL}{d\theta} \tag{2-20}$$

A ic é aplicada ao enrolamento do estator. Os MRV normalmente operam com um controlador eletrônico que, mediante sensores de posição, determinam em que instante deve ser aplicado o pulso de corrente, de tal mineira que

produza o torque necessário para originar o giro do rotor.

Motor de Correntes Contínua (CC) com Ímã Permanente sem Escovas

Os motores CC com ímã permanente sem escovas são utilizados com muita frequência no sistema de propulsão dos veículos elétricos, já que tem uma densidade alta de potência, uma eficiência elevada e uma alta eficiência de dissipação de calor ao exterior. Existem várias configurações de motores CC com ímãs permanentes sem escovas. Dependendo do arranjo do ímã, normalmente, eles podem ser classificados como motor com ímã na superfície do rotor ou motor com ímã embutido no rotor, sendo este último o mais robusto.

Com a finalidade de obter a opção mais adequada do motor para um veículo elétrico, algumas publicações apresentam informações muito úteis a este respeito. No trabalho feito por Xue[24], mostra-se um estudo correspondente aos motores elétricos, resumido na Tabela 2.6. Aqui faz-se uma avaliação mediante dos fatores de eficiência, peso e custo, de tal forma que o valor 5, representa a maior qualificação num determinado fator de comparação. Da Tabela 2.6, pode-se observar que um motor de relutância variável, seria o mais indicado para o sistema de propulsão de um veículo elétrico, o preço é um pouco maior que do motor CC, e se avaliamos a eficiência, fica perto da máxima eficiência do motor CC com ímã permanente. Portanto recomenda-se a utilização do MRV.

Tabela 2.6: Comparação entre os quatro tipos de motores elétricos

<u>.</u>	3.5	Motor de	Motor CC com	Motor de	
Indice	Motor CC	Indução	Ímã Perm.	Rel. Var.	
Eficiência	2	4	5	4,5	
Peso	2	4	4,5	5	
Custo	5	4	3	4	
Total	9	12	12.5	13.5	

Cópia Adaptada da Tabela 1 do Artigo Selection of Electric Motor Drives for Electric Vehicles.

Fonte: Australian Universities Power Engineering Conference (AUPEC' 08)/Paper P-170[24].

2.2.6 Bateria

Alexandre Pereira[2], em sua dissertação de mestrado, menciona que uma bateria normalmente consiste em duas ou mais pilhas unitárias, as quais estão constituídas pelos seguintes componentes: eletrodos, separadores,

terminais, eletrólito e envoltório. As pilhas unitárias são agrupadas em um único compartimento e este conjunto é chamado de bateria.



Figura 2.22: Célula Prismática AMP20

Fonte: A123 System[25].

Para o veículo elétrico híbrido, as baterias devem ser dimensionadas com a finalidade de armazenar e fornecer energia suficiente ante qualquer demanda, de tal forma que o veículo possa ter um bom desempenho. Além disso, deve ter a autonomia suficiente para o que foi projetado. Na atualidade a A123 Systems[25] já desenvolveu uma bateria de Ion Lítio com tecnologia baseada no estudo dos Nanofosfatos, a qual está projetada para aplicações de veículos elétricos híbridos ligados na tomada, veículos elétricos híbridos e veículos elétricos. A célula prismática AMP 20, que mostra-se na Figura 2.22, tem uma densidade de potência de 2.400 W/kg, trabalha com uma tensão nominal de 3,3 V, e tem uma capacidade de entrega nominal de corrente de 20Ah. Além deste tipo de bateria, existem outras utilizadas no desenvolvimento de veículos elétricos e elétricos híbridos. Na Tabela 2.7 mostram-se os diferentes tipos de baterias com suas respectivas características.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 1011975/CA

	Veículos	com Bateria		Carta bus	Selectria E10			WWU Viking 23	Toyota RAV-EV	Honda EV, Chevy S10	Toyota Prius		Nissan Eltra EV		ı
S	Fabricantes			Trojan	Hawker	Exide	Interstate	SAFT	Panasonic	SAFT	Sony	SAFT	A123	SAFT	ı
aracterística	Ciclos de	Vida		800				0.5 1000-2000	600-1500				400-1200		> 2000
Tabela 2.7: Tipos de Bateria e suas Características	Auto -	Descarregamento	(% por dia)	2				0.5	> 5				0.33		Alta
	Temp. de	Operação	(oc)	-88				-100	Ambiente				Ambiente		1.2 Ambiente
	Tensão	da pilha	(V)	2				1.2	1.2				3.5		1.2
	Densidade de	Energia	$(\mathrm{Wh/kg})$	20 - 35				35 - 57	50 - 80				100 - 150		100 - 200
	Tipo de	Bateria		Chumbo ácida				Níquel-Cádmio	Níquel-Metal	Hidreto			Ion-Lítio		Zinco - Ar

Cópia Adaptada da Tabela 1 BATTERY TYPES Fonte: Thermo
Analytics ${\rm Inc.}[26]$.

A seguir apresenta-se uma descrição das Baterias de Ion - Lítio.

Bateria de Ion - Lítio

A bateria de Ion - Lítio caracteriza-se pela utilização de um eletrólito, que pode ser uma solução orgânica liquida ou um polímero sólido. A energia elétrica é obtida mediante a combinação da liga lítio - carbono e o óxido metálico, para dar como resultado carbono e oxido lítio metal. Uma vantagem reconhecida é o baixo peso deste tipo de bateria, por isto é a mas utilizada no desenvolvimento de veículos elétricos. A energia especifica é aproximadamente três vezes maior do que a bateria de chumbo - ácido, proporcionando uma autonomia considerável para o veículo. A energia elétrica produz-se mediante à seguinte reação química:

$$C_6 Li_x + M_y O_z \leftrightarrow 6C + Li_x M_y O_z \tag{2-21}$$

2.2.7 Redutor Cicloidal

A palavra ciclóide e seu adjetivo cicloidal, que deriva da palavra hipociclóide, é a curva cíclica definida por um ponto de uma circunferência que rola sem deslizar dentro de um circulo interior.

Normalmente o tamanho do motor está condicionado ao torque máximo que possa fornecer. Quando projeta-se embutir um motor na roda sem contar com redutores, este deve fornecer um torque maior, portanto, precisa-se de um motor com uma maior dimensão e maior peso.

Minoru Suzuki[20], ao saber desta dificuldade, desenhou um mecanismo de transmissão compacto e leve, para o qual utilizou um motor de alta velocidade e baixo peso, com a finalidade de ter uma velocidade adequada na roda e o torque necessário para a movimentação do veículo.

O sistema de redução que permite satisfazer a exigência de menor espaço e fornecer uma relação de maior redução, pode ser um mecanismo de engrenagem planetária 2K-H. Este tipo de redução trabalha numa faixa de relação de redução de 4:1 até 6:1, portão para alcançar uma maior taxa de redução se teria que utilizar dois ou mais estágios de linhas de engrenagens, o que o torna mais pesado e mais complicado.

Para solucionar este inconveniente Minoru Suzuki, conjuntamente com Kayo Sakai[27], utilizaram um mecanismo ciclóide, o qual é um sistema de redução que utiliza uma engrenagem planetaria K-H-V como se mostra na Figura 2.23. Neste mecanismo a taxa de redução depende da diferença de número de dentes entre engrenagens, portanto a utilização de dois ou mais

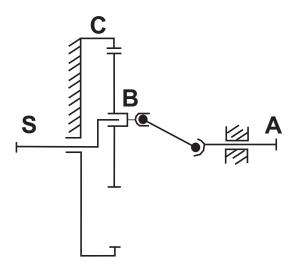


Figura 2.23: Esquema da Engrenagem K-H-V tipo Planetária

Cópia da Figura 3 Schematic of K-H-V type planetary gear. Fonte: Development of In - Wheel Type Integrated Motor Axle Unit[20].

estágios pode permitir ter uma relação de maior redução. Na Figura 2.24 se mostra a estrutura básica do redutor cicloidal.

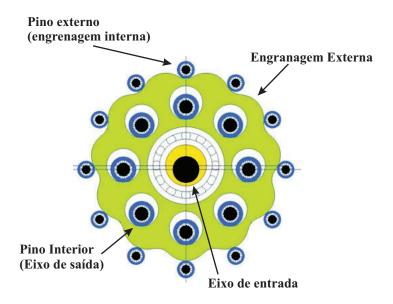


Figura 2.24: Estrutura Básica do Redutor Cicloidal.

Cópia da Figura 4 Basic structure of reducer

Fonte: Development of In - Wheel Type Integrated Motor Axle Unit[20].

A relação de transmissão pode se calcular da seguinte maneira:

$$\frac{N_{sai}}{N_{ent}} = -\frac{Z_{int} - Z_{ext}}{Z_{ext}} \tag{2-22}$$

Segundo o site da Darali[28], o redutor cicloidal permite fazer reduções de 3:1 até 119:1 com uma eficiência de transmissão de 93%, e quando se quer reduções de 104:1 até 7.569:1, o que é realizado em dois estágios, a eficiência de transmissão é de 86%. Sumitomo[29] além disso desenvolve redutores de três estágios com uma relação de transmissão de 8.041:1 até 658.503:1.

2.3 Ciclos de Condução

Os ciclos de condução estão compostos por duas grandes categorias: Ciclos Urbanos e Ciclos de Estrada. A finalidade de fazer esta divisão é lógica, já que não é a mesma coisa dirigir na Estrada Lagoa-Barra num dia útil às 18 horas, ou dirigir na Rodovia Presidente Dutra na mesma hora. A seguir apresentam-se os diferentes ciclos de condução, para um veículo com troca de marcha automática, que serão utilizados na avaliação da eficiência térmica do veículo elétrico híbrido.

2.3.1 Ciclos de Condução Urbano

2.3.1.1 New York City Cycle - NYCC

Foi desenvolvido para testes de veículos ligeiros no dinamômetro de chassis. Este ciclo simula a condução com velocidades baixas a nível urbano e com paradas frequentes, alcançando uma velocidade máxima de 44,6 km/h. A duração deste ciclo é de 598 segundos e percorre aproximadamente 1,89 km com velocidade média de 11,42 km/h. Na Figura 2.25 pode-se observar o comportamento da velocidade em função do tempo.

2.3.1.2 Japan 10-15

Foi desenvolvido para testes de veículos ligeiros no dinamômetro de chassis, conforme a Norma Japonesa. Este ciclo simula a condução com velocidades relativamente baixas e alcança uma velocidade máxima de 70 km/h. A duração deste ciclo é de 892 segundos e percorre aproximadamente 6,34 km com velocidade média de 25,61 km/h. Na Figura 2.26 pode-se observar o comportamento da velocidade em função do tempo.

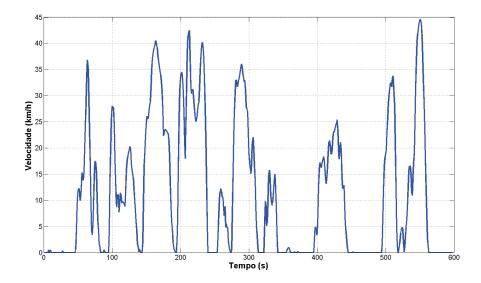


Figura 2.25: The New York City Cycle Driving Schedule - EPA NYCC Fonte: Testing and Measuring Emissions - EPA[30].

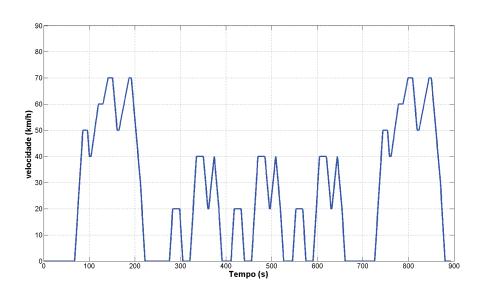


Figura 2.26: Japanese 10-15 Dynamometer Driving Schedule

Fonte: Testing and Measuring Emissions - EPA[30].

2.3.1.3 Japan 11

Foi desenvolvido para testes de veículos ligeiros no dinamômetro de chassis, conforme a Norma Japonesa. Este ciclo simula a condução com velocidades baixas. A duração deste ciclo é de 508 segundos e percorre

aproximadamente 4,08 km com velocidade media de 28,96 km/h. Na Figura 2.27 pode-se observar o comportamento da velocidade em função do tempo.

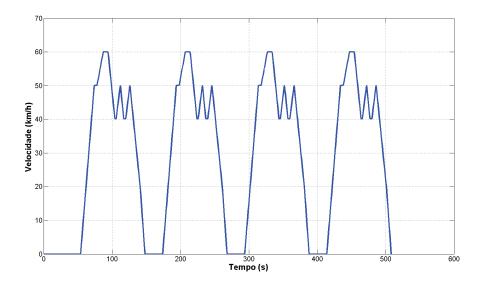


Figura 2.27: Japanese 11 Dynamometer Driving Schedule

Fonte: Testing and Measuring Emissions - EPA[30].

2.3.1.4 FTP-72

Foi desenvolvido para testes de veículos ligeiros no dinamômetro de chassis. Nos anos setenta, foi projetado para descrever o percurso urbano. O ciclo consiste numa fase de arranque a frio. Esta fase é seguida por uma fase transitória, com picos de velocidade que começam a partir do repouso. Também é conhecido como FUDS, UDDS ou LA-4. A duração deste ciclo é de 1369 segundos e percorre aproximadamente 11,98 km com velocidade média de 31,52 km/h. Na Figura 2.28 pode-se observar o comportamento da velocidade em função do tempo.

2.3.2 Ciclo de Condução de Estrada

2.3.2.1 EPA Highway Fuel Economy Test Driving Schedule

Este teste representa uma mistura de direção em estradas rurais e interestaduais, com um motor quente, típico de viagens mais longas e de tráfego livre. Este ciclo de condução tem uma duração de 765 segundos e percorre

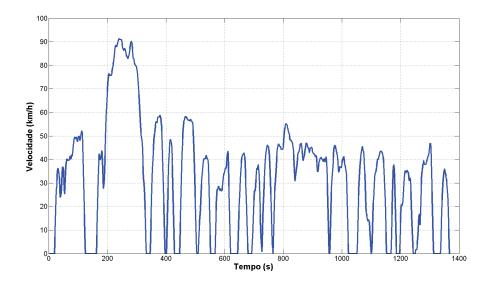


Figura 2.28: EPA Urban Dynamometer Driving Schedule (FTP-72)

Fonte: Testing and Measuring Emissions - EPA[30].

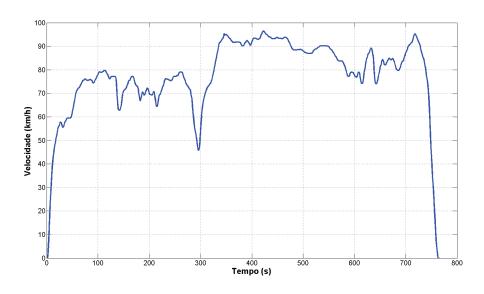


Figura 2.29: EPA Highway Fuel Economy Test Driving Schedule

Fonte: Testing and Measuring Emissions - EPA[30].

aproximadamente 16,51 km com velocidade média de 77,73 km/h. Na Figura 2.29 pode-se observar o comportamento da velocidade em função do tempo. Este ciclo de condução pode também ser encontrado na Norma da ABNT NBR 7024[31].