

UNIVERSIDADE FEDERAL DE JUIZ DE FORA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO E MECÂNICA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA

Iago Henrique Gonçalves de Souza

Análise técnico econômica de automóveis híbridos

Juiz de Fora

2021

Iago Henrique Gonçalves de Souza

Análise técnico econômica de automóveis híbridos

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Faculdade de Engenharia da Universidade Federal de Juiz de Fora, como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Mecânica.

Orientador: Prof. DSc. Marco Aurélio da Cunha Alves

Juiz de Fora

2021

Ficha catalográfica elaborada através do programa de geração automática da Biblioteca Universitária da UFJF, com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

Souza, Iago Henrique Gonçalves de.
Análise técnico econômica de automóveis híbridos / Iago Henrique Gonçalves de Souza. -- 2021.
54 f.

Orientador: Marco Aurélio da Cunha Alves
Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) - Universidade Federal de Juiz de Fora, Faculdade de Engenharia, 2021.

1. Automóveis híbridos. 2. Custos. 3. Poluentes. I. Alves, Marco Aurélio da Cunha, orient. II. Título.

Iago Henrique Gonçalves de Souza

Análise técnico econômica de automóveis híbridos

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Faculdade de Engenharia da Universidade Federal de Juiz de Fora, como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Mecânica.

BANCA EXAMINADORA

Prof. DSc. Marco Aurélio da Cunha Alves - Orientador
Universidade Federal de Juiz de Fora

MSc Leomar Santos Marques
Universidade Federal de Lavras

AGRADECIMENTOS

Agradeço a minha família e amigos por todo apoio, incentivo e carinho.

Agradeço ao meu orientador Prof. Dr Marco Aurélio, pela presteza e auxílio na realização desse trabalho, assim como a todos os professores e auxiliares da Universidade Federal de Juiz de Fora pelo suporte e ensinamentos durante minha jornada acadêmica.

Agradeço à Deus pelas bênçãos e pela dádiva da vida.

A mudança é a lei da vida. E aqueles que apenas olham para o passado ou para o presente irão com certeza perder o futuro.

John F. Kennedy

RESUMO

Na atualidade, a ascensão dos automóveis híbridos é uma realidade na indústria automotiva do Brasil e do mundo, sob a perspectiva crescente do mercado na eficiência dos motores para a redução do consumo de combustível e para a redução da emissão de gases poluentes. Conhecer em pormenores as estratégias adotadas, pelos grandes fabricantes, no projeto desses automóveis é de grande importância para as pessoas interessadas na evolução do setor. Esse trabalho tem o objetivo de analisar comparativamente as características técnicas e econômicas dos veículos híbridos presentes no mercado tais como: topologia e gerenciamento das fontes de energia, eficiência, custos como aquisição e manutenção dos automóveis híbridos de maneira a elucidar se há fundamentos que apoiam a atual tendência do mercado automotivo em relação à crescente demanda na fabricação dos veículos híbridos. Com o estudo, foi observado que automóveis presentes no mercado apresentam grande fator de redução na liberação dos gases poluentes analisados, efetivos na redução de CO₂ na matriz elétrica brasileira, assim como também se mostram economicamente vantajosos em médio a longo prazo.

Palavras-chave: Automóveis híbridos, eficiência, técnicas, econômicas, poluentes.

ABSTRACT

Nowadays, the ascension of hybrid cars is a reality on automobile industry of Brazil and the world, by the crescent perspective of the market in the engine efficiency to reduce fuel consumption and emission of pollutants, understand in details the strategies adopted by major manufacturers is very important to the people interested in the evolution of the sector. This work, aims to analyse comparatively the technical and economical characteristics of hybrid vehicles present in the market such as: topology and management of energy sources, overall efficiency of the system, costs such as acquisition and maintenance of hybrid cars in order to elucidate if there are grounds to support the current trend of the automotive market in relation to the growing demand in the manufacture of hybrid vehicles. It was observed that the automobiles in the market show a great factor of reduction of polluting gases, they are effective in reducing CO₂ on the Brazilian electrical grid, as well as being economically advantageous in the medium to long term.

Key-words: Hybrid automobile, efficiency, technical, economic, pollutants

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Modelo das configurações	15
Figura 2 – Modelo da configuração em série	15
Figura 3 – Modelo da configuração em paralelo	16
Figura 4 – Modelo da configuração em paralelo eixo duplo e pré-transmissão	17
Figura 5 – Modelo da configuração em paralelo eixo único e pós-transmissão	17
Figura 6 – Modelo da configuração em paralelo para combinação de torque em eixos separados	18
Figura 7 – Modelo acoplamento mecânico velocidade epicicloidal	18
Figura 8 – Modelo acoplamento mecânico velocidade ME estator flutuante	19
Figura 9 – Modelo configuração Prius	20
Figura 10 – Modelo configuração Fusion	21
Figura 11 – Modelo de transmissão CVT	22
Figura 12 – Modelo básico de bateria	23
Figura 13 – Representação esquemática bateria íon-lítio	24
Figura 14 – Gráfico das forças de frenagem nas rodas com ótima sensação	26
Figura 15 – Gráfico das forças de frenagem nas rodas com ótima recuperação de energia	27
Figura 16 – Gráfico das forças de frenagem nas rodas em paralelo	28
Figura 17 – Gráfico emissões relativas de gases	30
Figura 18 – Fontes da Matriz Elétrica Mundial	31
Figura 19 – Fontes da Matriz Elétrica Mundial em porcentagem	31
Figura 20 – Matriz Elétrica Brasileira	32
Figura 21 – Fontes da Matriz Elétrica Brasileira em porcentagem	32
Figura 22 – Gráfico comparativo dos custos do Prius e Corolla para 12 mil km	37
Figura 23 – Gráfico comparativo dos custos do Prius e Corolla para 20 mil km	38
Figura 24 – Gráfico comparativo dos custos anuais de combustível e impostos dos automóveis Prius e Corolla para 12 mil km	38
Figura 25 – Gráfico comparativo dos custos anuais de combustível e impostos dos automóveis Prius e Corolla para 20 mil km	39
Figura 26 – Gráfico comparativo dos custos totais líquidos dos automóveis Prius e Corolla	40
Figura 27 – Gráfico comparativo da liberação de CO	41
Figura 28 – Gráfico comparativo da liberação de NOx	41
Figura 29 – Gráfico comparativo da liberação de NMHC	42
Figura 30 – Gráfico comparativo da liberação de CO ₂	43
Figura 31 – Gráfico comparativo da liberação de CO ₂ Golf GTE em diferentes matrizes elétricas	44
Figura 32 – Gráfico comparativo da liberação de CO ₂ dos automóveis analisados para 12.000 km	45
Figura 33 – Gráfico comparativo da liberação de CO ₂ dos automóveis analisados para 20.000 km	45

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Tabela com médias de emissões de CO ₂ por fontes de matriz elétrica	30
Tabela 2 – Tabela Toyota Prius	34
Tabela 3 – Tabela Ford Fusion	35
Tabela 4 – Tabela Toyota Corolla	36
Tabela 5 – Tabela Volkswagen Golf GTE	36
Tabela 6 – Tabela custo para 12.000 km	37
Tabela 7 – Tabela custo para 20.000 km	37
Tabela 8 – Tabela desvalorização anual Prius	39
Tabela 9 – Tabela desvalorização anual Corolla	39
Tabela 10 – Tabela emissões matriz elétrica brasileira	43
Tabela 11 – Tabela emissões matriz elétrica mundial	43

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
MCI	Motor de Combustão Interna
ME	Motor Elétrico
IPVA	Imposto sobre a Propriedade de Veículos Automotores
ABVE	Associação Brasileira de Veículos Elétricos
CETESB	Companhia Ambiental do Estado de São Paulo
FENABRAVE	Federação Nacional de Distribuição de Veículos Automotores

LISTA DE SÍMBOLOS

CO ₂	Dióxido de carbono
CO	Monóxido de carbono
NO _x	Óxidos de nitrogênio
NMHC	Não Metano Hidrocarbonetos
NiMH	Bateria de Níquel-Metal-Hidreto

SUMÁRIO

	SUMÁRIO	9
1	INTRODUÇÃO	11
1.1	Motivação	11
1.2	OBJETIVOS	11
1.2.1	Objetivo Geral	11
1.2.2	Objetivos Específicos	12
1.3	ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO	12
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	13
2.1	AUTOMÓVEIS HÍBRIDOS	13
2.1.1	História dos automóveis híbridos	13
2.1.2	Graus de hibridização de automóveis híbridos	14
2.2	TIPOS DE ARQUITETURAS DE AUTOMÓVEIS HÍBRIDOS	14
2.2.1	Configuração em série	15
2.2.2	Configuração em paralelo	16
2.2.2.1	Acoplamento mecânico para Torque	16
2.2.2.2	Acoplamento mecânico para Velocidade	18
2.2.3	Configuração mista e Acoplamento mecânico para Torque e Velocidade	19
2.3	SISTEMA DE TRANSMISSÃO CVT	21
2.4	BATERIAS	22
2.4.1	Baterias de íons de Lítio	23
2.4.2	Baterias de níquel hidreto metálico	24
2.5	FRENAGEM REGENERATIVA	24
2.5.1	Frenagem em série com ótima sensação de frenagem	25
2.5.2	Frenagem em série com ótima recuperação de energia	26
2.5.3	Frenagem em paralelo	27
2.6	POLUENTES ATMOSFÉRICOS	28
2.6.1	Gases resultantes da queima de combustível	28
2.6.2	Monóxido de Carbono	29
2.6.3	Não Metano Hidrocarbonetos	29
2.6.4	Óxidos de Nitrogênio	29
2.6.5	Dióxido de carbono	30
2.7	MATRIZ ELÉTRICA	31
2.7.1	Matriz Elétrica Mundial	31
2.7.2	Matriz Elétrica Brasileira	32
3	METODOLOGIA	33

3.1	Coleta de dados	33
4	ANÁLISES E RESULTADOS	37
4.1	Análises e resultados de custos	37
4.2	Análises e resultados das emissões de poluentes	40
5	CONCLUSÕES	46
6	SUGESTÃO PARA TRABALHOS FUTUROS	47
	REFERÊNCIAS	48

1 INTRODUÇÃO

Eficiência é uma característica muito importante a ser considerada, característica essa que pode ser explicada na capacidade de se gerar e produzir ao máximo com o mínimo de dispêndio quando possível. Ser mais eficiente e projetar produtos mais eficientes é um dos objetivos principais na indústria, principalmente no setor automotivo.

Nos dias atuais, com o aumento do preço dos combustíveis e da preocupação da influência dos gases e particulados decorrentes de sua utilização, a eficiência energética se tornou um fator extremamente relevante.

Então, ressurgem no mercado os automóveis híbridos, que apesar de não ser um conceito novo, utilizam-se de novas tecnologias trazidas por esse pensamento emergente de eficiência energética para novamente disputar espaço com os veículos convencionais no grande mercado automobilístico.

O curso de graduação de Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Juiz de Fora (UFJF), de formação generalista, sem ênfase específica, aborda três principais eixos do engenheiro mecânico:

- Máquinas Térmicas e Máquinas de Fluxo;
- Projeto de Máquinas e Automação;
- Materiais e Processos de Fabricação.

1.1 Motivação

Visando-se obter um conhecimento mais focado na área de Máquinas térmicas, com foco na disciplina de motores à combustão, área essa com forte ligação à indústria automotiva, um conhecimento mais alinhado à importantes temas da indústria automotiva e mundial, e de se observar os motivos da ascensão dos automóveis híbridos, o presente estudo foi desenvolvido.

Na busca pelo entendimento dos aspectos de mudanças no setor automotivo visando eficiência, o presente trabalho propõe-se a estudar aspectos diferenciais de consumo, custos e emissões de poluentes, de automóveis híbridos em relação aos automóveis convencionais no mercado da indústria automotiva nacional.

1.2 OBJETIVOS

Esse trabalho tem os seguintes objetivos:

1.2.1 Objetivo Geral

O objetivo geral deste trabalho é obter e comparar resultados técnicos e econômicos entre automóveis de motores à combustão e automóveis híbridos.

1.2.2 Objetivos Específicos

- Análise de custos de combustível, depreciação e impostos entre automóveis híbridos e à combustão;
- Análise comparativa de liberação de poluentes atmosféricos entre os automóveis analisados;
- Análise comparativa da liberação de CO₂ em diferentes matrizes elétricas.

1.3 ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO

O capítulo 2 apresenta a teoria dos assuntos abordados no trabalho.

O capítulo 3 apresenta a metodologia a ser utilizada para concluir os objetivos propostos no estudo.

O capítulo 4 apresenta os resultados da análise realizada e explicações.

O capítulo 5 apresenta as conclusões dos resultados e propostas para trabalho posteriores.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 AUTOMÓVEIS HÍBRIDOS

Automóveis híbridos são veículos que fazem uso de mais de um tipo de energia para a conversão em potência, porém no setor automotivo, em sua maioria, os automóveis híbridos utilizam de motores a combustão interna e motores elétricos também denominados HEV (Hybrid Electric Vehicle).

Há duas classificações, a primeira se refere ao grau de dependência ou hibridização do motor à combustão em relação ao motor elétrico, e a segunda classificação está relacionada a sua arquitetura de trem de força e posição do motor a combustão interna (MCI) e dos motores elétricos (ME) . (EHSANI et al., 2004).

2.1.1 História dos automóveis híbridos

Os primeiros veículos híbridos foram mostrados no Paris Salon em 1899, porém eles não foram projetados com o intuito de melhorar o consumo de eficiência mas sim, de melhorar a autonomia dos automóveis elétricos e para dar assistência aos motores à combustão, que inclusive eram tão pouco ou até menos desenvolvidos do que os motores elétricos. O primeiro veículo híbrido paralelo, contruído pela *Pieper establishments of Liège*, tinha um pequeno motor à combustão e bateria chumbo-acido. Já o outro veículo apresentado também no salão, o primeiro veículo híbrido em série, surgiu da modificação de um veículo elétrico da companhia francesa 'Vendoveli and Priestly', triciclo em que possuía duas rodas traseiras movidas por dois motores elétricos independentes, e um motor à gasolina de 3/4 cavalo de potência com um gerador de 1,1 kW que foram acoplados a um trailer com o intuito extender a autonomia do veículo. (E.H. Wakefield, 1994)

Porém, depois da Primeira Guerra Mundial com o grande desenvolvimento dos motores à combustão e os riscos associados das baterias, nenhum automóvel híbrido aparece no mercado, observado também o fato de que a eletrônica de potência só surge e começa se desenvolver nas décadas de 50 e 60, a tendência dos automóveis à combustão não mudou nem mesmo nas duas crises do petróleo nos anos de 1973 e 1977. (E.H. Wakefield, 1994)

Somente na década de 90, quando problemas de autonomia e consumo energético de automóveis elétricos não satisfaziam a expectativa do mercado, o interesse nos híbridos aumentou. Então surgiram vários projetos para o desenvolvimento de automóveis híbridos, como o 'Hybrid Electric Vehicle Challenge', competição universitária estadunidense para captar e atrair jovens para o desenvolvimento do setor, e diversas montadoras nos Estados Unidos e Europa iniciaram produção de protótipos automotivos híbridos. (E.H. Wakefield, 1994)

Mas, somente a partir de 1997, a comercialização dos híbridos ressurgiu quando foram lançados pelas montadoras japonesas os automóveis híbridos Insight e Civic pela Honda e o híbrido Prius pela montadora concorrente Toyota no Japão. (EHSANI et al., 2004)

2.1.2 Graus de hibridização de automóveis híbridos

Quanto ao grau de hibridização, segundo Chan (2007), os automóveis híbridos podem ser classificados em:

- Automóveis micro híbridos (Micro Hybrid Electric Vehicle): são veículos que possuem um conjunto elétrico de pequena capacidade, com sistema elétrico de 12V e um alternador inteligente com o intuito de economizar energia com a tecnologia de Start Stop.
- Automóveis híbridos leves, ou MHEV (Mild Hybrid Electric Vehicle): são aqueles em que o conjunto do motor, alternador e bateria têm maiores capacidades, com sistema elétrico de 48V dando a possibilidade do motor elétrico dar uma maior assistência ao motor à combustão.
- Automóveis híbridos plenos, ou FHEV (Fully Hybrid Electric Vehicle): é o tipo de automóvel mais comum no mercado atualmente, com uma maior capacidade de bateria em relação aos automóveis híbridos micro e leve, é possível a condução do veículo apenas de forma elétrica.
- Automóveis híbridos plug-in, ou PHEV (Plug-in Hybrid Electric Vehicle); são aqueles em que há a possibilidade da recarga das baterias diretamente da rede elétrica, porém para adoção e maior utilização desses automóveis atualmente é necessário a implementação e uma melhor difusão de tecnologias externas como adaptação na rede elétrica domiciliar dos proprietários destes automóveis ou postos de recarga na malha rodoviária da região de locomoção desta pessoa.

2.2 TIPOS DE ARQUITETURAS DE AUTOMÓVEIS HÍBRIDOS

Os tipos de arquiteturas dos automóveis híbridos quanto ao trem de força, segundo Ehsani (2004), são tradicionalmente denominadas de híbrido em série e híbrido em paralelo demonstrados nas figuras 2 e 3, cada qual com suas vantagens e desvantagens.

Porém, é interessante notar que a partir dos anos 2000, alguns novos HEVs não puderam ser classificados como configurações de veículos em série ou paralelo. Dessa forma então, os veículos híbridos são classificados em quatro configurações, híbrido em série, híbrido em paralelo, híbrido misto e híbrido complexo, como mostrado na Fig.1, a seguir:

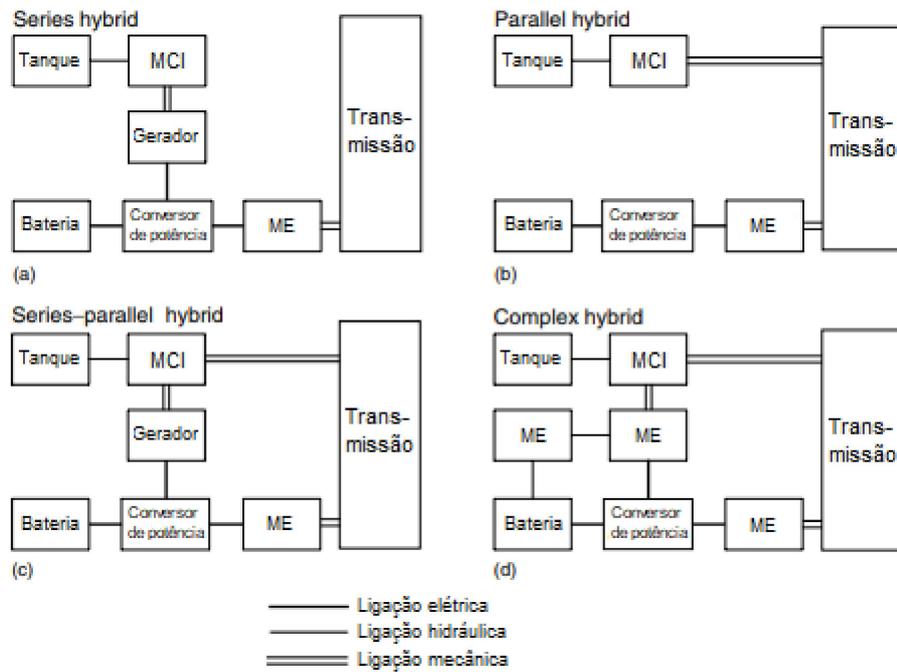


Figura 1 – Modelo das configurações

Fonte: Adaptado de Ehsani (2004)

2.2.1 Configuração em série

A configuração dos automóveis híbridos em série é aquela em que se propõe que o motor a combustão (MCI) apenas realize a função de alimentar as baterias não realizando então o trabalho de tração do automóvel. Com o funcionamento contínuo em uma faixa ótima de rotação, o motor opera em sua máxima eficiência de atuação. (EHSANI et al., 2004)

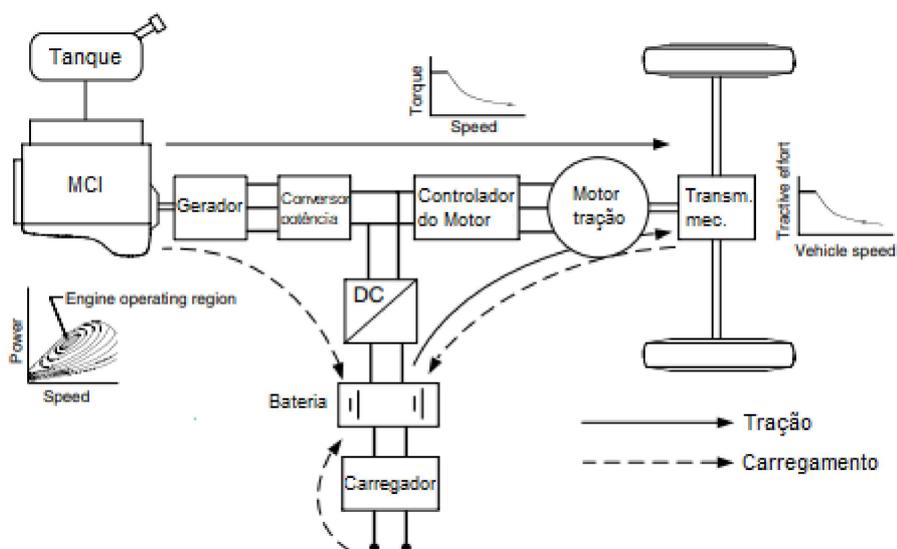


Figura 2 – Modelo da configuração em série

Fonte: Adaptado de Ehsani (2004)

2.2.2 Configuração em paralelo

A configuração dos automóveis híbridos em paralelo se caracteriza pelo fato dos motores a combustão (MCI) também realizarem o trabalho de tração das rodas, com a assistência dos motores elétricos por meio de um acoplamento mecânico dos motores à transmissão, esta configuração está demonstrada na Fig.3. (EHSANI et al., 2004)

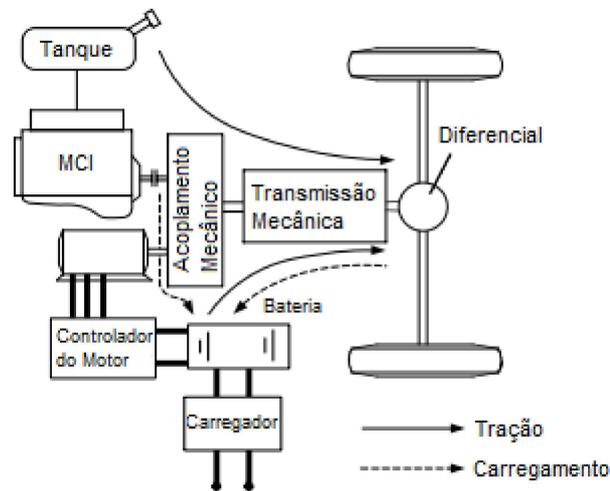


Figura 3 – Modelo da configuração em paralelo

Fonte: Adaptado de Ehsani (2004)

Há diversas maneiras com que pode ser realizado o acoplamento em paralelo dos motores, de acordo com o acoplamento mecânico e a transmissão do automóvel, a associação dos motores irá entregar uma combinação de torque ou de velocidade dos mesmos, como explicitadas a seguir, inclusive com pré-transmissão ou pós-transmissão, essas formas são escolhidas com o intuito de melhor atender às características de projeto do automóvel e de seu motor.

2.2.2.1 Acoplamento mecânico para Torque

Segundo Ehsani (2004), o acoplamento mecânico para torque combina os torques de ambos os motores, à combustão e elétrico, ou pode separá-los para que a transmissão do trabalho dos motores reenergize as baterias e conduza o automóvel de forma simultânea.

Há várias formas de se realizar o acoplamento para torque, escolhendo-se acoplamentos de um ou dois eixos, o projeto de transmissão pode ser anterior ou posterior à sua posição, e pode ter diferentes quantidades de marchas. Assim, é possível diferentes características tratativas do automóvel.

O acoplamento com pré-transmissão, na Fig.4, bastante utilizado por automóveis híbridos leves em que há um motor elétrico pequeno, o torque de ambos os motores podem ser modificados pela transmissão, porém os motores MCI e ME devem ter as mesmas faixas de velocidades.

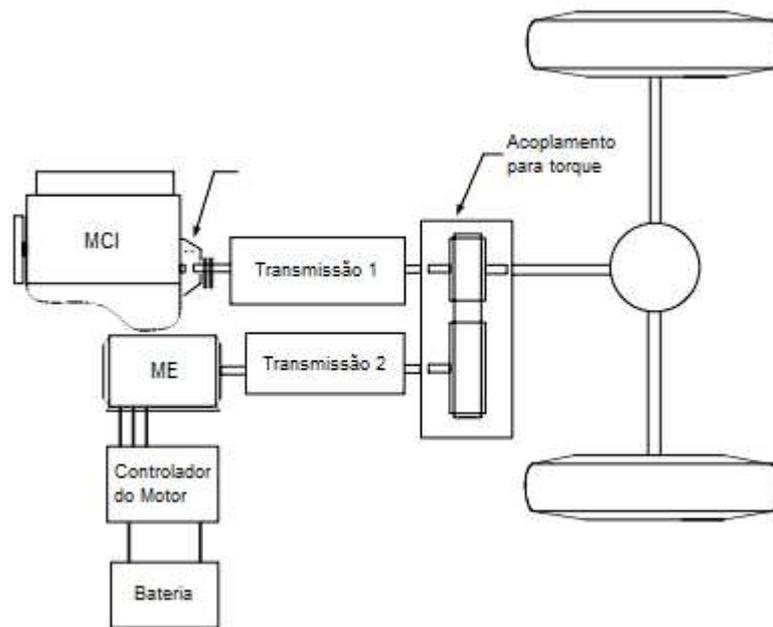


Figura 4 – Modelo da configuração em paralelo eixo duplo e pré-transmissão

Fonte: Adaptado de Ehsani (2004)

O acoplamento com pós-transmissão, representado na Fig.5, a transmissão apenas poderá modificar o torque do motor à combustão enquanto o torque do motor elétrico é modificado pelas rodas do carro. (EHSANI et al., 2004)

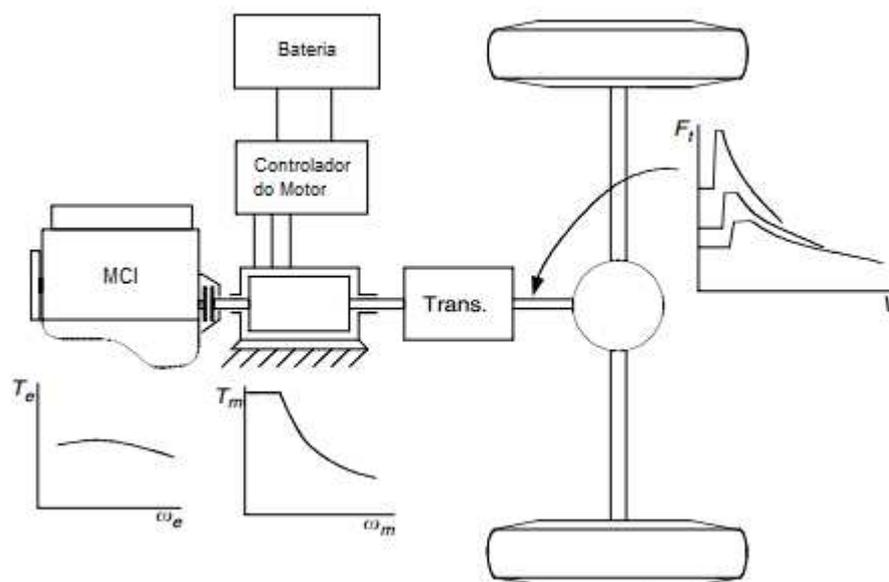


Figura 5 – Modelo da configuração em paralelo eixo único e pós-transmissão

Fonte: Adaptado de Ehsani (2004)

Outra forma de se realizar o acoplamento para a associação de torque na configuração em paralelo é com a tração dos eixos por cada tipo de motor, como mostra a Fig.6 abaixo, com essa configuração o automóvel será de tração integral o que traz a vantagem da melhor aderência

dos pneus pelo esforço trativo não estar em apenas um eixo, porém essa configuração traz a desvantagem de reduzir o espaço interno do veículo para passageiro ou de bagagem. (EHSANI et al., 2004)

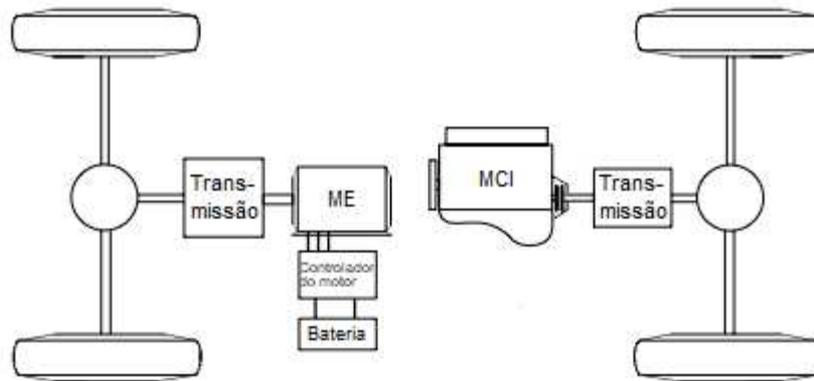


Figura 6 – Modelo da configuração em paralelo para combinação de torque em eixos separados

Fonte: Adaptado de Ehsani (2004)

2.2.2.2 Acoplamento mecânico para Velocidade

O acoplamento mecânico para velocidade é realizada com o intuito de que se combinem as rotações e conseqüentemente a potência dos motores elétrico e à combustão. Nos automóveis híbridos projetados com essa combinação, esse acoplamento geralmente é realizado de duas maneiras, ou com um trem de engrenagens planetárias ou com um motor elétrico com estator flutuante. As figuras 7 e 8 mostram os esquemas dos trens de força que utilizam o acoplamento mecânico de velocidade. (EHSANI et al., 2004)

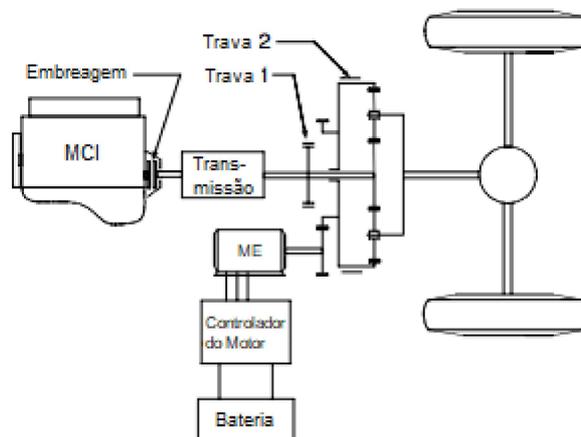


Figura 7 – Modelo acoplamento mecânico velocidade epicicloidal

Fonte: Adaptado de Ehsani (2004)

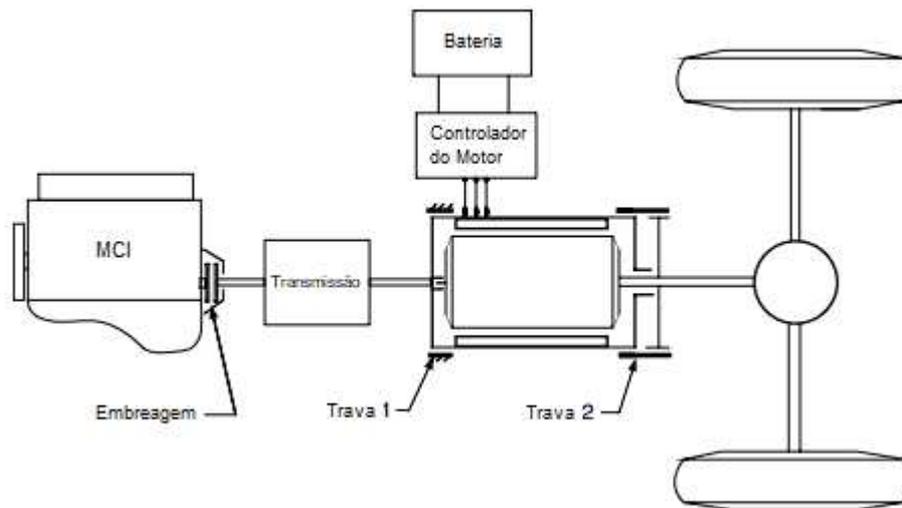


Figura 8 – Modelo acoplamento mecânico velocidade ME estator flutuante

Fonte: Adaptado de Ehsani (2004)

2.2.3 Configuração mista e Acoplamento mecânico para Torque e Velocidade

No desenvolvimento de tecnologias que realizam os acoplamentos para tais transmissões, surge no mercado a forma em que ambas as configurações foram combinadas para que as respectivas aplicações possam ser utilizadas em determinados momentos. Ou seja, surgem os automóveis com a configuração em série-paralelo ou mista. Os automóveis com tais transmissões utilizam a configuração de acoplamento para Torque, em baixas velocidades para situações que exijam uma alta aceleração, e utilizam a configuração de acoplamento para velocidade para situações em que o automóvel se encontra em altas velocidades ou que não exijam uma aceleração. Assim, ao escolher a operação entre o acoplamento por torque ou velocidade em diferentes situações de operação torna-se possível aumentar a performance e a eficiência do automóvel. (EHSANI et al., 2004)

O acoplamento para torque e velocidade, apesar de ser mais intrincado, pode ser feito de algumas formas, uma delas está representada na figura a seguir:

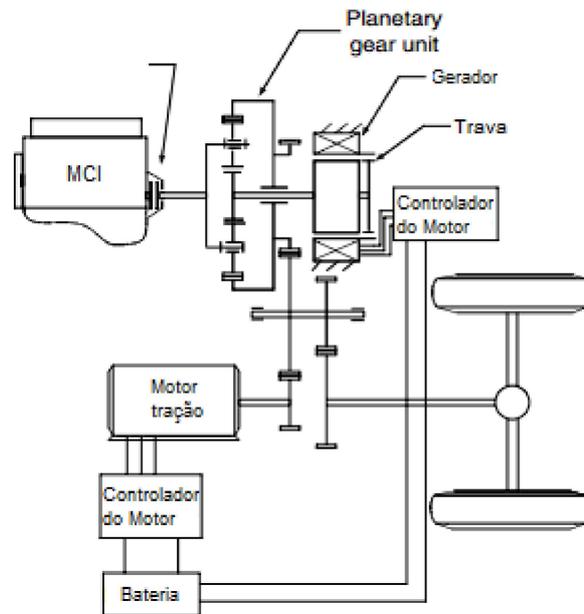


Figura 9 – Modelo configuração Prius

Fonte: Adaptado de Ehsani (2004)

Um pequeno motor elétrico ou gerador está conectado a um trem de engrenagens planetárias (acoplamento para velocidade), que divide a rotação do motor a combustão em duas velocidades, uma velocidade é transmitida pela engrenagem solar para o pequeno motor elétrico e a outra é transmitida pela engrenagem anular para as rodas (acoplamento para torque). (EHSANI et al., 2004)

Outra forma de acoplamento para torque e velocidade pode ser realizada com a substituição do trem de engrenagens planetárias por um motor elétrico com estator flutuante, representada na figura baixo. (EHSANI et al., 2004)

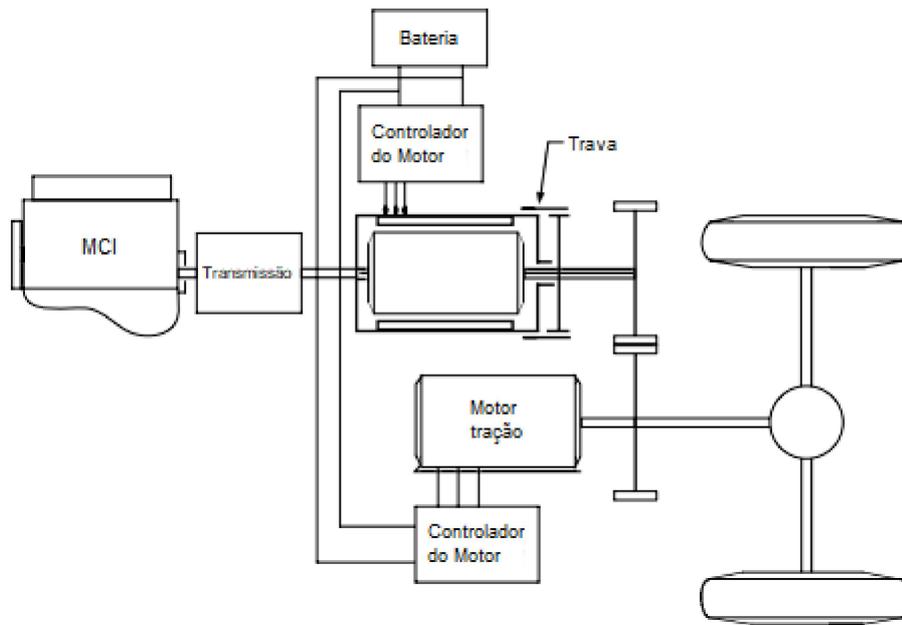


Figura 10 – Modelo configuração Fusion

Fonte: Adaptado de Ehsani (2004)

2.3 SISTEMA DE TRANSMISSÃO CVT

A transmissão contínua variável (CVT) apesar de não ser uma descoberta recente, é uma das tecnologias de inovação no setor automotivo muito utilizada nos automóveis convencionais à combustão mas, principalmente nos automóveis híbridos, ela funciona com um sistema de duas polias de tamanhos diferentes ligadas por uma correia de metal ou polímero de grande resistência, como demonstrada na figura 11 a seguir, e foi introduzida devido ao aprimoramento principalmente das técnicas de fabricação de correias que suportassem maiores tensões. (EHSANI et al., 2004)

A transmissão CVT possui diversas vantagens quando aplicada nos automóveis, como aceleração constante devido à sua relação “infinita de marchas”, eliminando os ruídos e trancos que seriam causadas pela mudança de marchas nos veículos tradicionais, além de garantir uma condução mais confortável ao motorista, e menor consumo de combustível por explorar a melhor faixa de atuação de transmissão do motor onde as rotações apresentam a maior eficiência. (EHSANI et al., 2004)

A razão de transmissão é em função da razão das dois diâmetros efetivos, onde D_1 é a polia de saída e D_2 é a polia de entrada: (EHSANI et al., 2004)

$$i_T = \frac{D_2}{D_1}$$

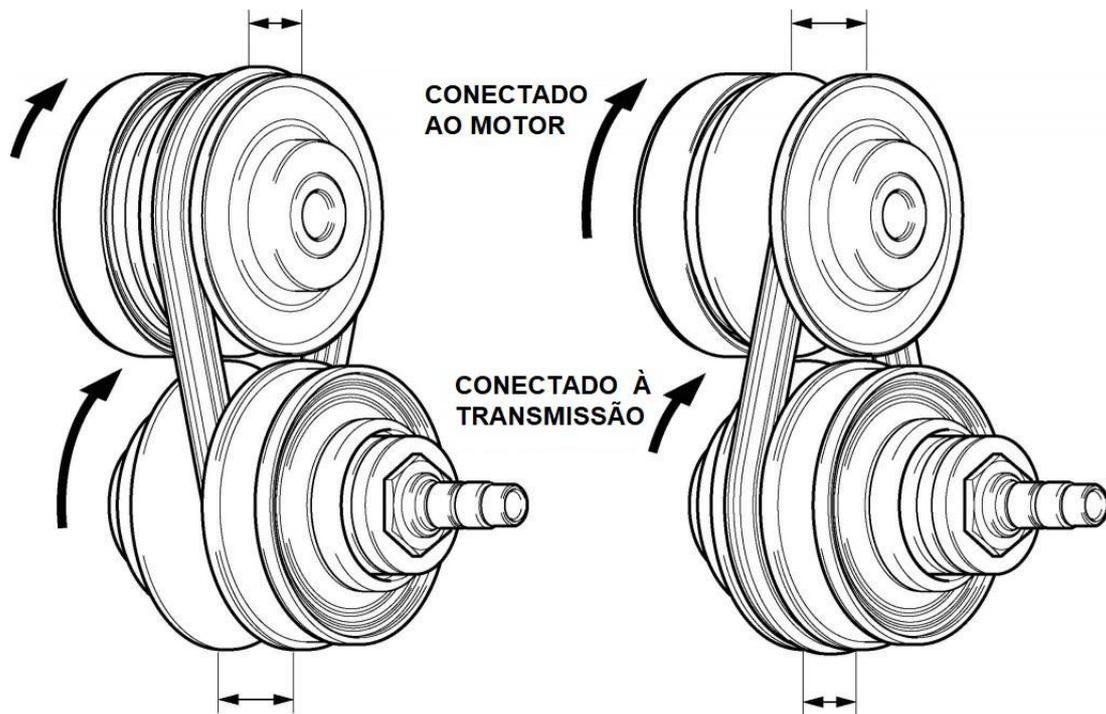


Figura 11 – Modelo de transmissão CVT

Fonte: Adaptado de site

Nos veículos de motores à combustão tradicionais, essa tecnologia não é maior aproveitada, pois pelo fato de a transmissão ser de maior custo, a redução da vida útil com a transmissão de um torque mais elevado se mostra indesejável. Porém, nos veículos híbridos é extremamente relevante a sua adoção, pelo fato de tal defeito de vida útil ser muito reduzido por necessitarem de motores à combustão de menor torque e potência. Atualmente, a grande maioria dos modelos de automóveis híbridos utilizam da tecnologia de transmissão CVT. (EHSANI et al., 2004)

2.4 BATERIAS

As baterias são dispositivos que convertem energia elétrica em energia química durante seu carregamento e realizam o inverso durante seu descarregamento. Sendo compostas por várias células unidas, suas células são compostas de maneira geral, por dois eletrodos, um positivo e outro negativo, imersos em um eletrólito, como demonstrado na Fig.12. (EHSANI et al., 2004)

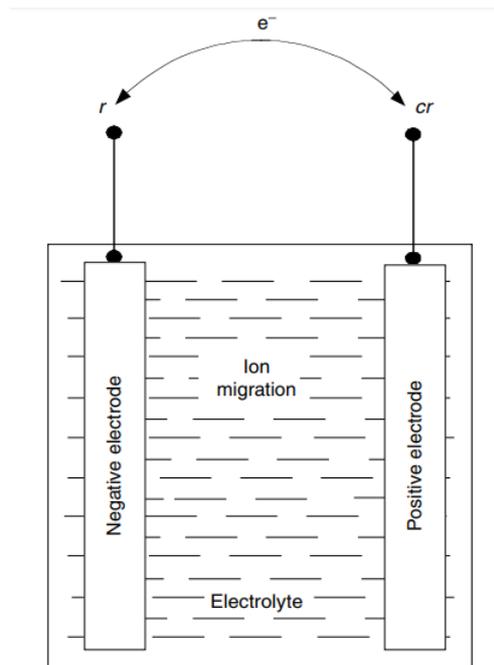


Figura 12 – Modelo básico de bateria

Fonte: Adaptado de Ehsani (2004)

Cada tipo de bateria possui características importantes a serem consideradas, como sua densidade de energia, temperatura de trabalho, custo, efeito memória, vida útil, entre outras.

Um dos desafios dos HEVs são as baterias, tendo em vista que, as densidades de energia das baterias utilizadas atualmente são pelo menos 10 vezes menor à densidade da gasolina.

Os tipos de baterias mais utilizados no mercado automotivo de HEVs e PHEVs, são as baterias níquel-hidreto metálico (NiMH) e íon-lítio (Li-íon).

São utilizadas baterias com maiores voltagens com o intuito de se maximizar a eficiência, pois para uma mesma potência, uma menor corrente elétrica é necessária, e com isso há uma menor perda de energia do sistema em forma de calor. (EHSANI et al., 2004)

2.4.1 Baterias de íons de Lítio

As baterias de células de íons de lítio funcionam pelo fenômeno de intercalação iônica, pelo processo de difusão de íons de lítio através da rede cristalina de dois eletrodos (ânodo e cátodo) fortemente reversíveis, o que evita o aumento da área de interface dos eletrodos com a formação de dendritos, sistema de bateria conhecido como 'rocking chair' ou 'swing'. Os principais cátodos utilizados na fabricação são compostos de metais de transição litiados, como os de base de manganês (LiMn_2O_4), cobalto (LiCoO_4) e níquel (LiNiO_2), o eletrodo negativo utilizado, ou ânodo, é carbono grafite (Cg), e os principais eletrólitos são misturas de solventes orgânicos e sais de lítio como por exemplo, Perclorato de Lítio (LiClO_4) e Hexafluorofosfato de Lítio (LiPF_6). Na Fig.13 abaixo pode-se observar a representação esquemática do funcionamento da bateria. (CASTRO, 2013)

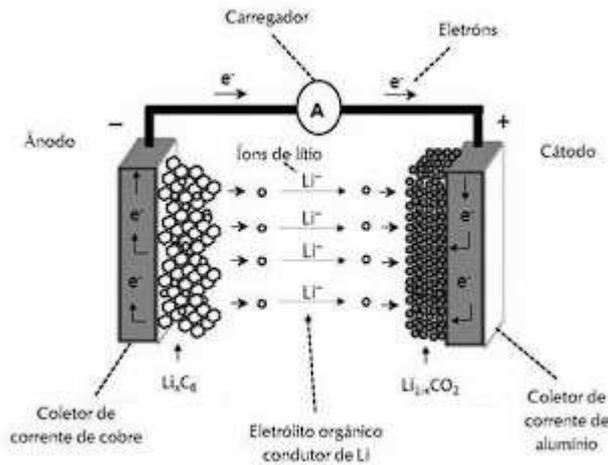


Figura 13 – Representação esquemática bateria íon-lítio

Fonte: Castro (2013)

Baterias de células de íons de lítio têm grande densidade de energia, baixo peso, baixa taxa de auto descarga e manutenção, e grande vida útil devido à sua importante característica de não possuir efeito memória, ou seja não sofrer degradação de seu eletrodo negativo e eletrólito. (CASTRO, 2013)

2.4.2 Baterias de níquel hidreto metálico

A bateria de níquel-hidreto metálico (Ni-MH) surgiu e foi desenvolvida como uma forma de substituir e suceder as baterias de níquel-cádmio, ela apresenta características operacionais similares à tais baterias. Sua principal diferença consiste no uso de hidrogênio absorvido em uma liga, na forma de hidreto metálico, como material ativo no eletrodo negativo, ao invés de cádmio utilizado nas baterias de níquel-cádmio. O eletrólito é uma solução aquosa de hidróxido de potássio, misturada com pequenas quantidades de aditivos cuja função é melhorar o desempenho dos eletrodos. (LINDEN, 1995)

As baterias de níquel possuem algumas vantagens e desvantagens como: baixo custo, armazenagem e transporte simples, seu transporte não está sujeito a condições especiais, bateria não tóxica e causando baixíssimos danos ao meio ambiente na sua fabricação, ou seja de fácil descarte. Porém, as baterias requerem manutenções regulares de cargas completas para se evitar a formação de cristais, apesar de que em suas utilizações sejam preferíveis descargas parciais devido à deteriorização entre 200 a 300 ciclos, possuem alta taxa de auto descarga e uma menor densidade de energia se comparado às baterias de íon-lítio. (LINDEN, 1995)

2.5 FRENAGEM REGENERATIVA

Uma das características mais importantes que os automóveis híbridos no setor automotivo apresenta, em relação aos veículos convencionais, é sua capacidade de regenerar energia utilizando a frenagem regenerativa. Essa característica apesar de ser mais complexa apresenta-se como

uma das vantagens de eficiência energética, e por consequência de redução dos gases poluentes. (EHSANI et al., 2004)

Segundo Ehsani (2004), existem três tipos de estratégias de controle de frenagem, frenagem em série com ótima sensação de frenagem, frenagem em série com ótima recuperação de energia e frenagem em paralelo, sendo a frenagem regenerativa geralmente aplicadas somente nos eixos dirigidos.

2.5.1 Frenagem em série com ótima sensação de frenagem

Essa estratégia consiste em utilizar um controlador no controle de frenagem para que as forças de frenagem se distribuam entre os eixos dianteiros e traseiros para minimizar a distância de parada do veículo, e melhorar a sensação de frenagem do condutor. (EHSANI et al., 2004)

A Fig.14 mostra como esse controle é realizado, a melhor sensação de frenagem e a menor distância acontecem quando a força de frenagem necessária é menor que 0.2 g, então somente a frenagem regenerativa é aplicada, já se o comando de frenagem for maior que 0.2 g as forças de frenagem tanto nas rodas dianteiras quanto nas traseiras seguem a curva ideal I. (EHSANI et al., 2004)

A máxima força de frenagem regenerativa produzida está diretamente relacionada com a velocidade do motor elétrico, quando a velocidade é menor que velocidade base do motor, o torque máximo de frenagem é constante, porém quando maior do que sua velocidade base, o torque máximo de frenagem diminui hiperbólicamente com a velocidade, assim é necessário um maior torque de frenagem mecânico. (EHSANI et al., 2004)

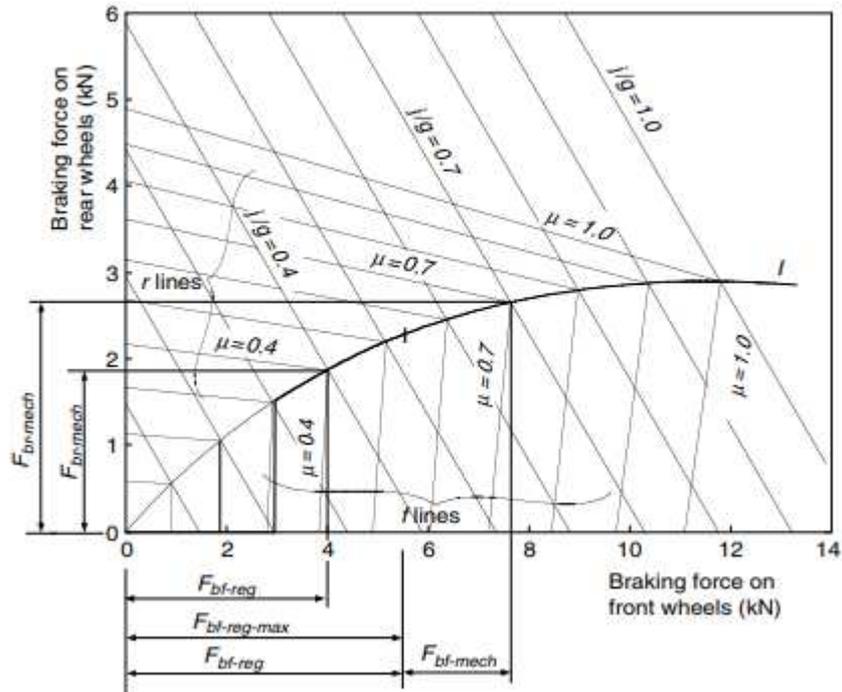


Figura 14 – Gráfico das forças de frenagem nas rodas com ótima sensação

Fonte: Adaptado de Ehsani (2004)

2.5.2 Frenagem em série com ótima recuperação de energia

A configuração para ótima recuperação de energia é utilizada para se obter a máxima recuperação da energia utilizada na frenagem, priorizando a frenagem regenerativa nas rodas dianteiras. Quando a frenagem necessária nas rodas é menor que o coeficiente de atrito da estrada, é possível empregar um intervalo de variação de frenagem das rodas dianteiras com a frenagem das rodas traseiras, desde de que seja respeitado o controle da soma das forças de frenagem com a frenagem pretendida. (EHSANI et al., 2004)

O gráfico presente na Fig.15, a seguir, demonstra o funcionamento desse tipo de frenagem, caso a quantidade de energia gerada pelo motor elétrico na frenagem esteja dentro do intervalo do coeficiente de atrito da estrada e da desaceleração necessária (entre a reta ab), como por exemplo, no ponto c, então é utilizado o máximo de regeneração do motor aliada à frenagem mecânica nas rodas traseiras, caso contrário, e o máximo do motor seja menor que o valor correspondente ao ponto a da reta ab, as forças de frenagem deverão ser ajustadas ao ponto da curva ideal (ponto f), ou seja, a frenagem mecânica deverá ser empregada também nas rodas dianteiras como forma de complementar a força de frenagem regenerativa empregada. (EHSANI et al., 2004)

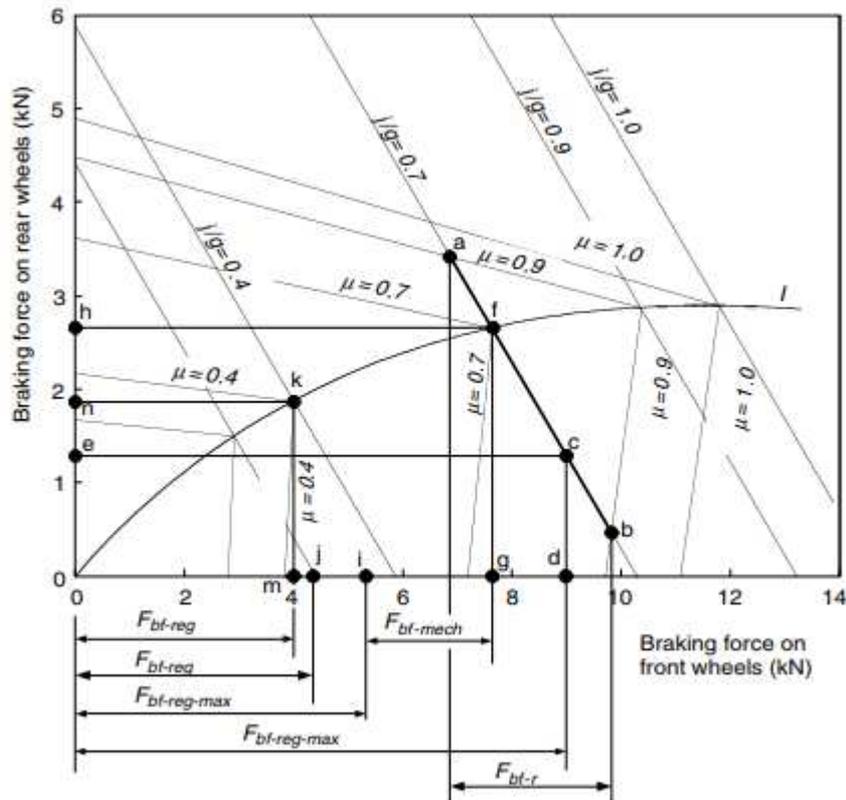


Figura 15 – Gráfico das forças de frenagem nas rodas com ótima recuperação de energia

Fonte: Adaptado de Ehsani (2004)

Quando o coeficiente de atrito da estrada é muito maior que a taxa de desaceleração do veículo, então apenas a frenagem regenerativa é utilizada, sem a necessidade da utilização de frenagem mecânica nas rodas traseiras e dianteiras. (EHSANI et al., 2004)

2.5.3 Frenagem em paralelo

A configuração de frenagem em paralelo consiste em utilizar a frenagem regenerativa apenas nas rodas dianteiras e paralelamente a frenagem mecânica tanto nas rodas frontais como traseiras. O controle da frenagem é realizada apenas em função da pressão hidráulica exercida proporcionalmente no cilindro mestre entre os eixos traseiros e dianteiros. Quando é necessário uma desaceleração muito rápida, a frenagem regenerativa não acontece (pois ela não é efetiva, não há regeneração em baixas velocidades do motor elétrico) para que haja uma frenagem estável e segura, e quando a frenagem demandada é pequena apenas a frenagem regenerativa é utilizada. (EHSANI et al., 2004)

O gráfico mostrado na Fig.16, ilustra o comportamento da frenagem paralela nas rodas, note o comportamento as forças de frenagem tanto puramente mecânica, como combinadas, quando há a oportunidade de regeneração e para valores de desaceleração a partir de 0.9g acontece puramente a frenagem mecânica nas rodas. (EHSANI et al., 2004)

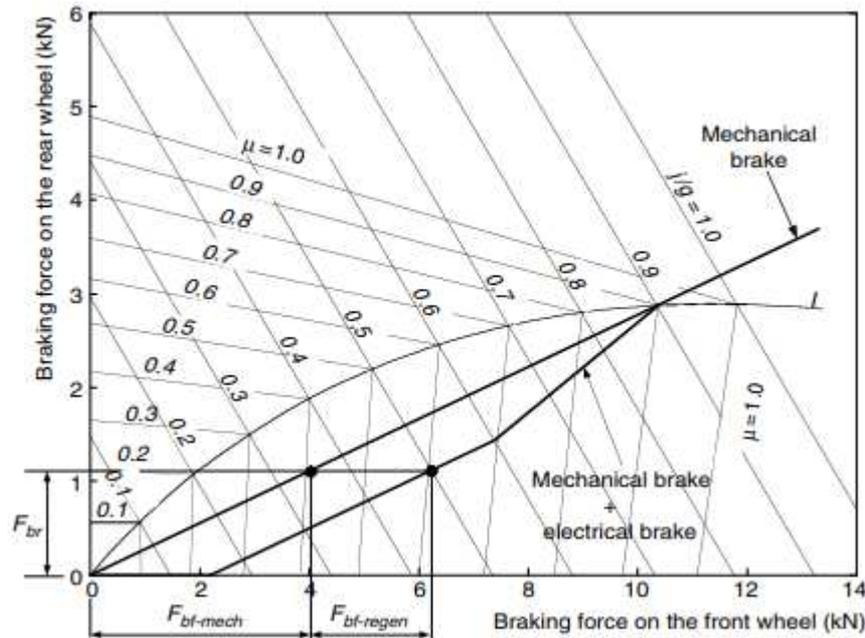


Figura 16 – Gráfico das forças de frenagem nas rodas em paralelo

Fonte: Adaptado de Ehsani (2004)

A frenagem em paralelo é mais simples do que a frenagem em série, pois não necessita controle eletrônico apenas sensor de pressão no cilindro mestre de freio, dessa forma ela é mais barata, porém a energia regenerada é menor e a sensação ótima de dirigibilidade do motorista é comprometida. (EHSANI et al., 2004)

2.6 POLUENTES ATMOSFÉRICOS

2.6.1 Gases resultantes da queima de combustível

Em condições ideais, a combustão dos combustíveis libera apenas dióxido de oxigênio (CO₂) e água, porém sabe-se que ela nunca é ideal, sempre irá haver certas quantidades de outros compostos presentes nessa queima do combustível. (EHSANI et al., 2004)

Os compostos resultantes da queima incompleta do combustível como, hidrocarbonetos, monóxido de carbono (CO) e óxidos de nitrogênio (NO_x) são prejudiciais à saúde humana.

Atualmente, mesmo com os automóveis dispendo de conversores catalíticos esses gases ainda estão presentes e podem prejudicar a saúde da população à longo prazo, principalmente em grandes centros urbanos. Os veículos híbridos e elétricos, apesar de também terem a capacidade de liberar gases nocivos na fabricação e reciclagem de suas baterias, poderiam reduzir o nível de liberação de tais gases devido aos seus menores consumos de combustível o que acarretaria em uma menor degradação da qualidade do ar em cidades pelo transporte urbano. (EHSANI et al., 2004)

2.6.2 Monóxido de Carbono

O monóxido de carbono (CO) é um gás inodoro de alta toxicidade, produzido pela queima incompleta de materiais ricos em carbono em baixos níveis de oxigênio. Em seres humanos e animais, depois de inalado se combina com a hemoglobina formando carboxihemoglobina, essa tendo uma afinidade 200 vezes maior que o oxigênio causando uma diminuição de oxigênio distribuído no corpo. (EHSANI et al., 2004)

Os sintomas da intoxicação por monóxido de carbono são de tonturas, náuseas, confusão, fraqueza e dores de cabeça e no peito, além disso a exposição ao gás, em longo prazo, pode gerar doenças neurológicas e cardíacas. (CENZI, 2018)

Uma população submetida a um ar ambiente com níveis de monóxido de carbono maiores que 40 ppm é prejudicial à saúde humana. Agências ambientais e de controle definem um padrão para uma boa qualidade do ar, concentrações de monóxido de carbono abaixo de 9 ppm. (CONAMA, 2018)

2.6.3 Não Metano Hidrocarbonetos

São compostos químicos constituídos por átomos de carbono e hidrogênio denominados não metânicos como concenso na forma de exclusão do metano, o mais simples dos hidrocarbonetos que surgem em grande parte de reações naturais e biológicas. (EHSANI et al., 2004)

Nos centros urbanos emissões de NMHC são provenientes de atividades humanas, sendo os automóveis e indústrias suas principais fontes. (EHSANI et al., 2004)

Além dos gases NMHC estarem ligados com a formação do ozônio troposférico, gás que nesta camada atmosférica pode ser tóxico à população humana, alguns de seus compostos denominados como hidrocarbonetos aromáticos policíclicos (HPA) são associados a formação de diversos tipos de câncer, em humanos quando absorvidos, por meio da pele, da respiração ou ingestão de alimentos contaminados. (EHSANI et al., 2004)

2.6.4 Óxidos de Nitrogênio

Óxidos de nitrogênio (NO_x) são gases poluentes da atmosfera emitidos principalmente por veículos a combustão interna, caldeiras e indústrias. Nos veículos, a combustão em altas temperaturas do combustível pode gerar o dióxido de nitrogênio (NO_2), gás com cheiro forte e tóxico, que na atmosfera pode reagir com o oxigênio e água produzindo o ácido nítrico e contribuindo no impacto ambiental com a formação das chuvas ácidas e eutrofização de rios e lagos, além disso na população pode provocar problemas respiratórios, principalmente em crianças e idosos. (EHSANI et al., 2004)

O gráfico presente na Fig.17 abaixo, obtido em estudo pela CETESB mostra as emissões relativas dos gases por tipo de fonte sendo veículos leves representados em azul:

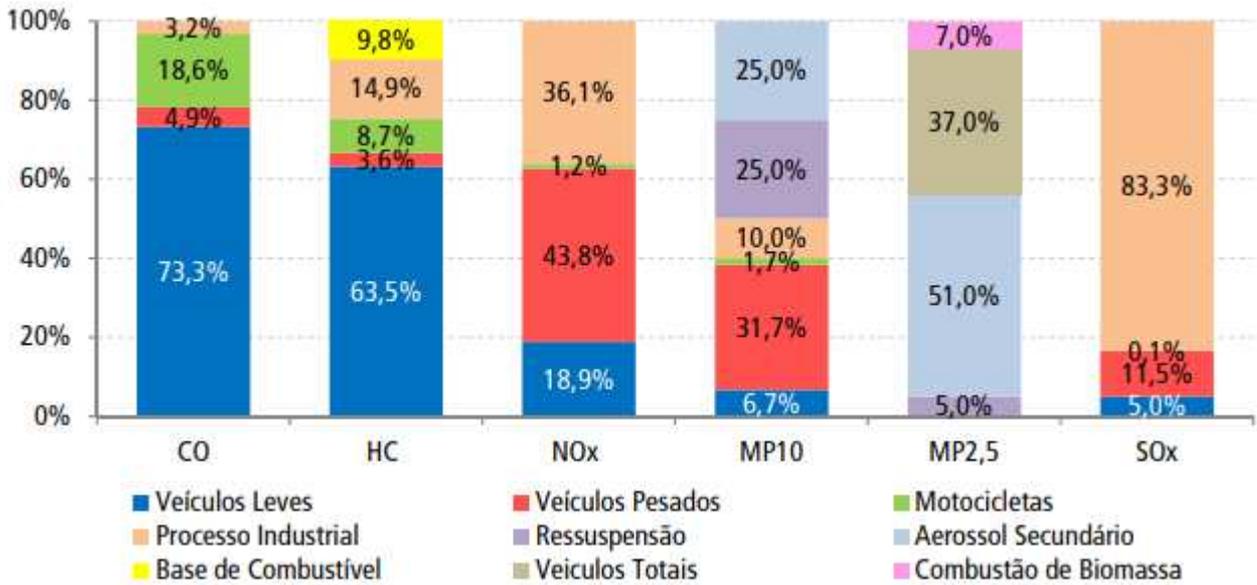


Figura 17 – Gráfico emissões relativas de gases

Fonte: CETESB (2019)

2.6.5 Dióxido de carbono

O dióxido de carbono apesar de ser um gás formado em decorrência de um processo natural, gás esse extremamente necessário à vida vegetal ao se realizar a fotossíntese, vem sendo a preocupação por governos no mundo por seu ascentuado aumento, nos últimos anos, por origens antropomórficas, e em decorrência de tal preocupação, montadoras de veículos vêm adequando seus automóveis produzidos a serem mais eficientes e de substituírem parte de seus automóveis convencionais com combustíveis derivados de petróleo por fontes elétricas, porém apesar do consumo da energia elétrica por tais automóveis não liberem diretamente gases CO_2 , há de se considerar a forma indireta no consumo da energia elétrica utilizada da liberação de CO_2 na atmosfera em sua geração, principalmente energia elétrica provida de fontes de petróleo e carvão, como termelétricas, como foi demonstrado por WNA *Report* (2011), e que podem ser conferido com os dados presentes da Tab.1 abaixo,

Fonte	Ton. CO_2 /GWh
Carvão	888
Petróleo	733
Gás Natural	499
Solar PV	85
Biomassa	45
Nuclear	29
Hidráulica	26
Eólica	26

Tabela 1 – Tabela com médias de emissões de CO_2 por fontes de matriz elétrica

2.7 MATRIZ ELÉTRICA

As fontes da matriz elétrica do país ou região é outro fator importante na consideração da substituição dos combustíveis pela energia elétrica, matrizes em que não há a predominância de fontes mais limpas de gases poluentes apenas alterariam a liberação dos tais gases dos automóveis plug-in para a liberação na geração de energia elétrica dos mesmos.

2.7.1 Matriz Elétrica Mundial

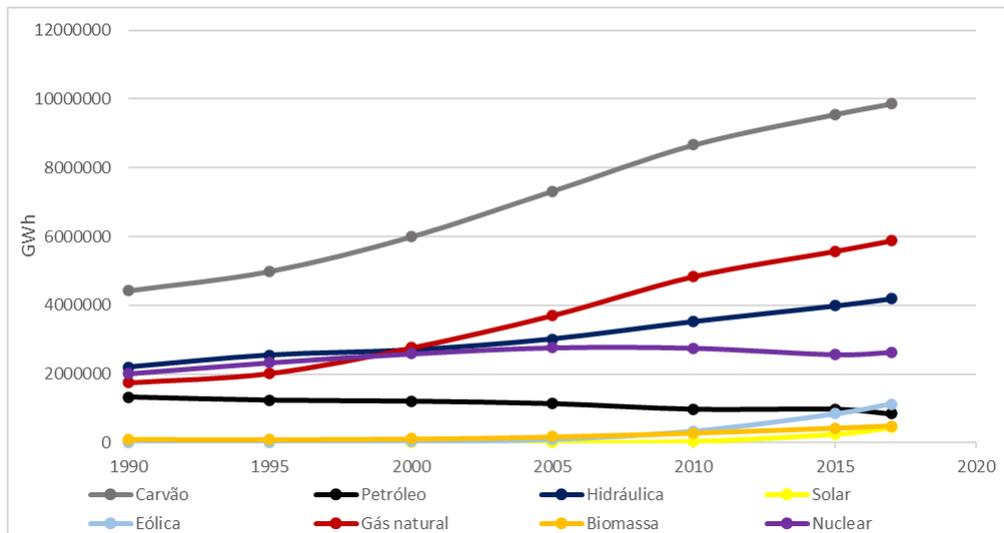


Figura 18 – Fontes da Matriz Elétrica Mundial

Fonte: IEA adaptado (2017)

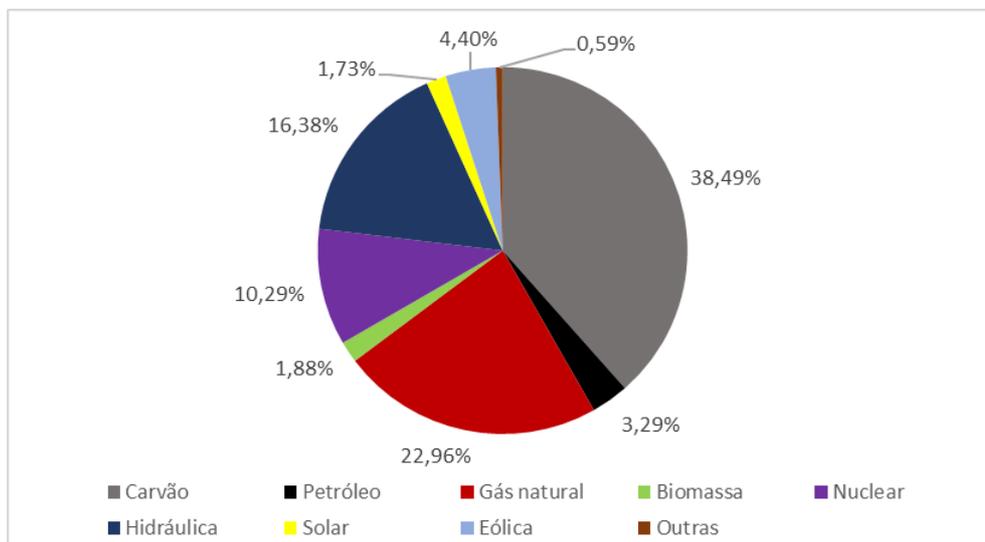


Figura 19 – Fontes da Matriz Elétrica Mundial em porcentagem

Fonte: IEA adaptado (2017)

As fontes de energia elétrica no mundo apesar dos esforços dos últimos anos ainda é predominante de fontes poluidoras como o carvão mineral, petróleo e gás natural por usinas termoeletricas.

2.7.2 Matriz Elétrica Brasileira

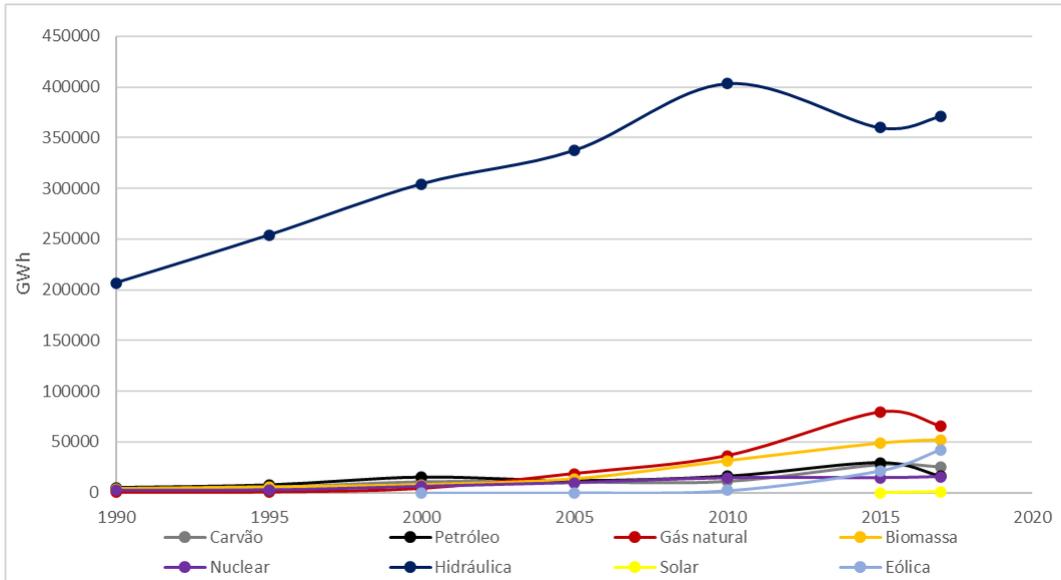


Figura 20 – Matriz Elétrica Brasileira

Fonte: IEA adaptado (2017)

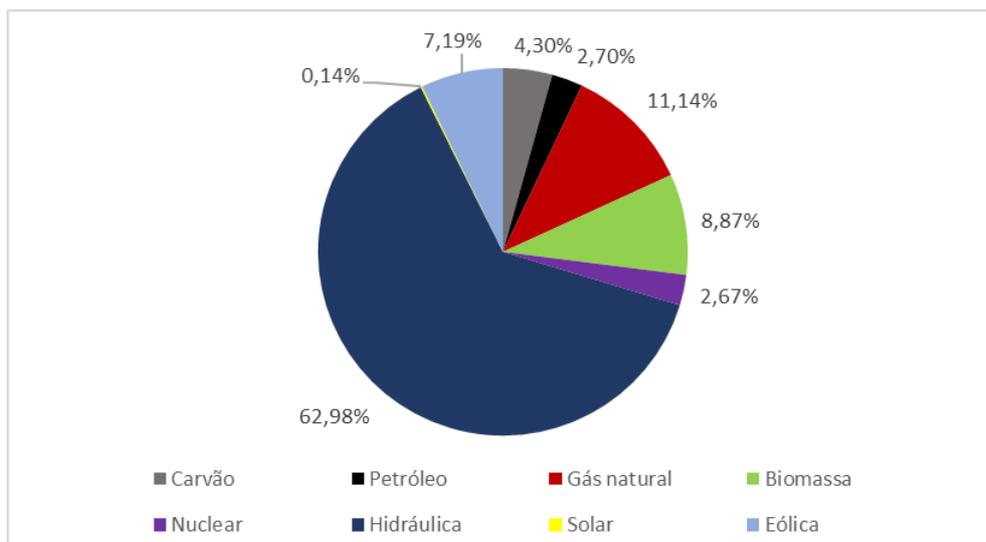


Figura 21 – Fontes da Matriz Elétrica Brasileira em porcentagem

Fonte: IEA adaptado (2017)

A matriz elétrica brasileira devido em grande parte a sua capacidade hidrológica possui uma matriz limpa com a maior parcela de sua capacidade gerada por energia hidráulica, além disso, há o crescimento da geração de outras fontes de energia elétrica limpas como a eólica e solar.

3 METODOLOGIA

Para este trabalho foi utilizado o método de pesquisa descritiva e de procedimento comparativo para sua realização.

No processo de escolha dos automóveis analisados e comparados, foi definido a escolha da categoria de automóveis sedãs médios, para que não houvesse a comparação de produtos com finalidades e propostas muito distintas e de distintos perfis consumidores.

Dessa forma, foi escolhido os automóveis híbridos Toyota Prius e Ford Fusion Hybrid, Prius pelo fato de ser o automóvel híbrido mais vendido no ano de 2018 e o seu concorrente de vendas da categoria de sedãs médios Fusion Hybrid, segundo dados da FEDERAÇÃO NACIONAL DE DISTRIBUIÇÃO DE VEÍCULOS AUTOMOTORES - FENABRAVE (2018). Na escolha do automóvel convencional foi definido o automóvel Toyota Corolla, pelo fato do veículo da mesma montadora e categoria possuir perspectivas de custo e de lucratividade bastante similares. Ambos os automóveis híbridos, Toyota Prius e Ford Fusion Hybrid, utilizam a arquitetura de automóvel híbrido misto ou combinado.

Para a obtenção do preço da gasolina, foi realizado o cálculo da média de preço da gasolina comum no Brasil para o ano de 2019, utilizando-se de dados disponibilizados pela AGÊNCIA NACIONAL DE PETRÓLEO - ANP (2019).

Utilizou-se dos dados de preço dos automóveis, consumo urbano, preço do combustível, custo do Imposto sobre a Propriedade de Veículos Automotores (IPVA), com alíquota dispobilizada pela SECRETARIA DE FAZENDA E PLANEJAMENTO DO ESTADO DE SÃO PAULO (2018), e preço de compra e mão de obra na instalação de novas baterias ao fim do ciclo de vida.

Segundo a AGÊNCIA BRASILEIRA DE VEÍCULOS ELÉTRICOS - ABVE, em sete estados brasileiros, os proprietários de veículos movidos por motor elétrico (ou de força motriz elétrica) são isentos do IPVA e, em três estados, os veículos elétricos têm alíquota do IPVA diferenciada. Neste estudo, para o cálculo comparativo de custo dos automóveis híbridos foi utilizado a taxa de IPVA do Estado de São Paulo, estado este mais populoso do Brasil, onde há o incentivo tributário na redução da alíquota de IPVA sobre automóveis híbridos de 50% em comparação às alíquotas de automóveis convencionais de mesmo preço.

Para o processo de construção dos gráficos optou-se por utilizar o programa Excel como ferramenta

3.1 Coleta de dados

Para a análise e construção dos gráficos comparativos, foi decidido utilizar de dados dos automóveis híbridos mais vendidos no Brasil da categoria de sedãs médios do ano de 2018, Toyota Prius e Ford Fusion Hybrid.

Dados	Toyota Prius
Ano	2018
Preço	R\$111.201
IPVA	R\$3.336
Câmbio	CVT
Cilindros	4 em linha
Cilindrada	1798 cm ³
Razão de compressão	13:1
Potência máxima (MCI)	98 cv a 5200 rpm
Torque máximo (MCI)	14,2 kgfm a 3600 rpm
Peso/potência (MCI)	14,29 kg/cv
Peso/torque (MCI)	98,59 kg/kgfm
Potência (ME)	72 cv
Potência combinada (ME)	123 cv
Torque (ME)	16,6 kgfm
Capacidade da bateria	1,3 kWh
Tipo de bateria	NiMH
Preço substituição baterias	R\$10.500
Velocidade máxima	165 km/h
Aceleração 0-100 km/h	11 s
Consumo urbano	18,9 km/l
Consumo Rodoviário	17 km/l
Liberação de CO ₂	0,071 kg/km
Liberação de CO	0,038 g/km
Liberação de NO _x	0,006 g/km
Liberação de NMHC	0,006 g/km

Tabela 2 – Tabela Toyota Prius

Dados	Ford Fusion Hybrid
Ano	2018
Preço	R\$139.487
IPVA	R\$4.185
Câmbio	CVT
Cilindros	4 em linha
Cilindrada	1999 cm ³
Razão de compressão	12.3:1
Potência máxima (MCI)	143 cv a 6000 rpm
Torque máximo (MCI)	17,8 kgfm a 4000 rpm
Peso/potência (MCI)	11,68 kg/cv
Peso/torque (MCI)	93,82 kg/kgfm
Potência (ME)	120 cv
Potência combinada (ME)	190 cv
Torque (ME)	18 kgfm
Capacidade da bateria	1,4 kWh
Tipo de bateria	Li-íon
Preço substituição baterias	R\$35.000
Velocidade máxima	180 km/h
Aceleração 0-100 km/h	9,3 s
Consumo urbano	16,8 km/l
Consumo Rodoviário	15,1 km/l
Liberação de CO ₂	0,081 kg/km
Liberação de CO	0,208 g/km
Liberação de NO _x	0,003 g/km
Liberação de NMHC	0,006 g/km

Tabela 3 – Tabela Ford Fusion

Dados	Toyota Corolla GLi Upper 1.8 AT
Ano	2018
Preço	R\$76.465
IPVA	R\$3.059
Câmbio	CVT
Cilindros	4 em linha
Cilindrada	1798 cm ³
Razão de compressão	12:1
Potência máxima (MCI)	139 cv a 6000 rpm
Torque máximo (MCI)	17,7 kgfm a 4000 rpm
Peso/potência (MCI)	8,92 kg/cv
Peso/torque (MCI)	69,09 kg/kgfm
Velocidade máxima	186 km/h
Aceleração 0-100 km/h	11 s
Consumo urbano	11,4 km/l
Consumo Rodoviário	13,2 km/l
Liberação de CO ₂	0,110 kg/km
Liberação de CO	0,460 g/km
Liberação de NO _x	0,020 g/km
Liberação de NMHC	0,023 g/km

Tabela 4 – Tabela Toyota Corolla

Dados	Volkswagen Golf GTE
Ano	2020
Preço	R\$199.990
IPVA	R\$6.000
Câmbio	Automatizado
Cilindros	4 em linha
Cilindrada	1395 cm ³
Razão de compressão	10:1
Potência máxima (MCI)	150 cv a 4500 rpm
Torque máximo (MCI)	25,5 kgfm a 1500 rpm
Peso/potência (MCI)	10,2 kg/cv
Peso/torque (MCI)	59,8 kg/kgfm
Potência (ME)	102 cv
Potência combinada (ME)	204 cv
Torque (ME)	33,6 kgfm
Capacidade da bateria	8,8 kWh
Tipo de bateria	Li-íon
Velocidade máxima	222 km/h
Aceleração 0-100 km/h	7,6 s
Consumo urbano	12,8 km/l
Consumo Rodoviário	13,3 km/l

Tabela 5 – Tabela Volkswagen Golf GTE

4 ANÁLISES E RESULTADOS

4.1 Análises e resultados de custos

Para a análise econômica foi decidido comparar o veículo híbrido Prius, com o veículo convencional a combustão Toyota Corolla GLi Upper 1.8 AT, por terem características de desempenho mais próximas, além de serem fabricados pela mesma fabricante. Então com os custos de compra, impostos e combustível para diferentes perfis de proprietários de automóveis que percorrem em média de 12 e 20 mil km anuais presentes nas tabelas 6 e 7, foram elaborados os gráficos das Fig.22 e Fig.23.

Automóvel	Preço Gas.(R\$)	Consumo (km/l)	Gas.(R\$/ano)	Custo Tot./ano
Prius	4,65	18,9	2952,38	6238,88
Corolla	4,65	11,4	4894,74	7953,74

Tabela 6 – Tabela custo para 12.000 km

Automóvel	Preço Gas.(R\$)	IPVA (R\$)	Gas.(R\$/ano)	Custo Tot./ano
Prius	4,65	3336,00	4920,63	8256,63
Corolla	4,65	3059,00	8157,89	11216,89

Tabela 7 – Tabela custo para 20.000 km

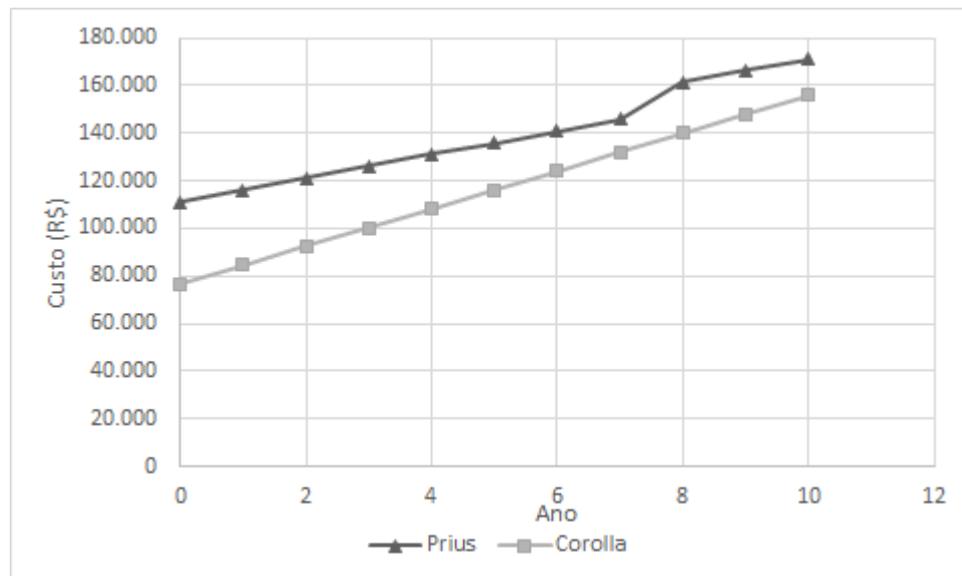


Figura 22 – Gráfico comparativo dos custos do Prius e Corolla para 12 mil km

Fonte: Própria

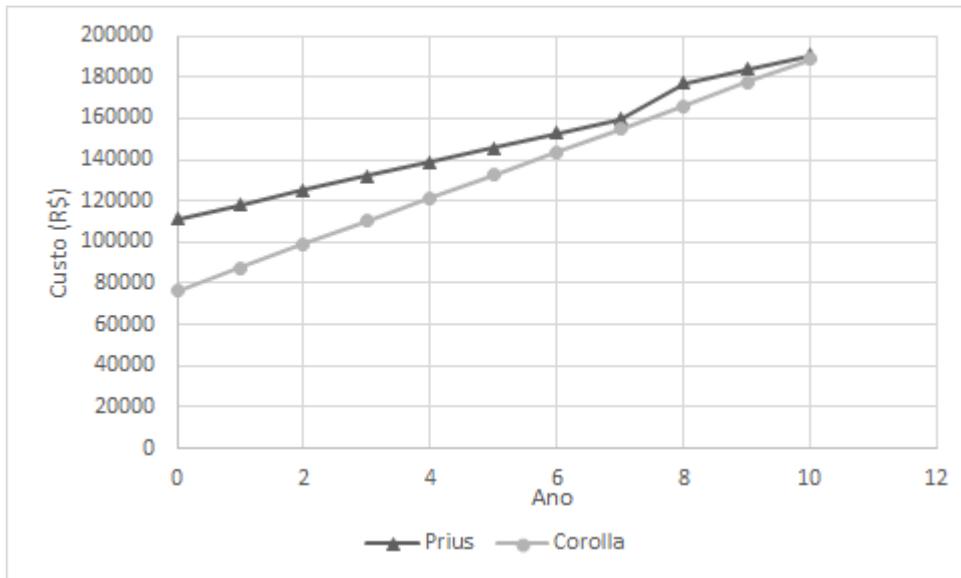


Figura 23 – Gráfico comparativo dos custos do Prius e Corolla para 20 mil km

Fonte: Própria

Nos gráficos das Fig.24 e Fig.25 abaixo, estão apresentado os resultados de custos anuais de impostos e combustíveis para os perfis de proprietários com médias de 12 e 20 mil km.

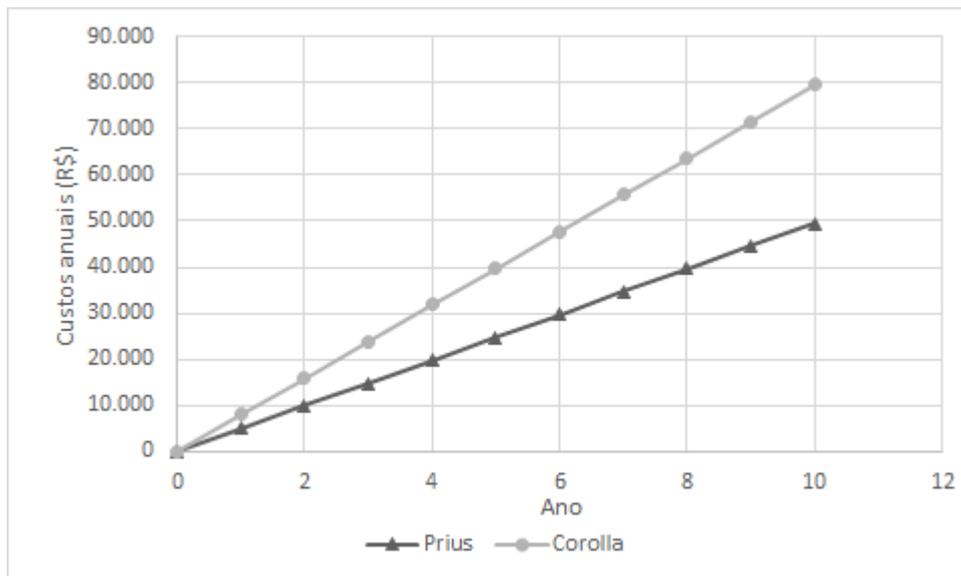


Figura 24 – Gráfico comparativo dos custos anuais de combustível e impostos dos automóveis Prius e Corolla para 12 mil km

Fonte: Própria

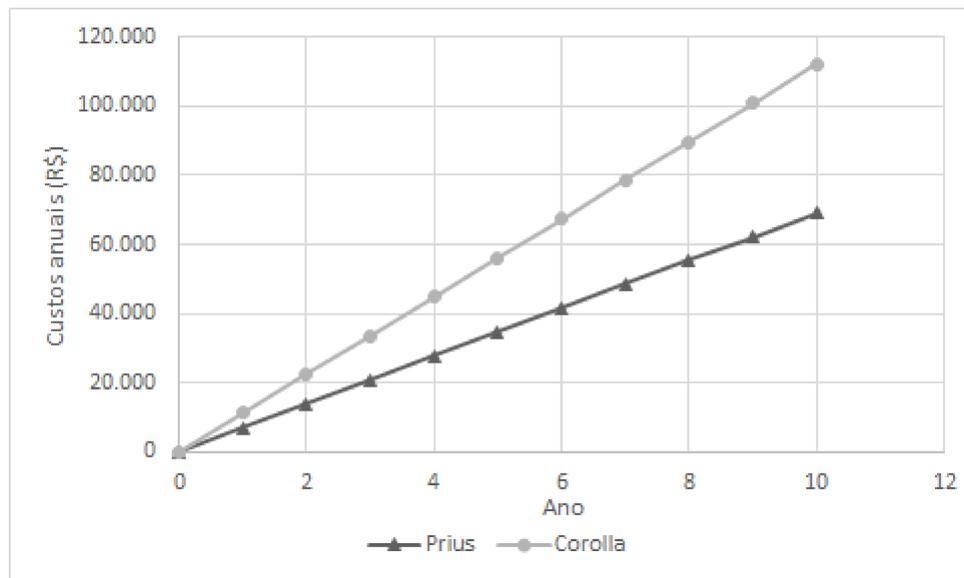


Figura 25 – Gráfico comparativo dos custos anuais de combustível e impostos dos automóveis Prius e Corolla para 20 mil km

Fonte: Própria

Com o intuito de melhorar avaliar os custos econômicos do automóveis se faz de analisar as desvalorizações dos mesmos no mercado. Utilizando-se de dados de indicadores de preços médios dos automóveis nos respectivos anos de 2019, 2020 e 2021, segundo a FUNDAÇÃO INSTITUTO DE PESQUISAS ECONÔMICAS (FIPE, 2018), pôde-se calcular as desvalorizações anuais dos automóveis presentes nas tabelas abaixo, e pôde-se realizar o gráfico da Fig.26 para a comparação dos custos totais líquidos na revenda do automóvel híbrido e convencional.

Dados	Prius
Ano 1	2,9%
Ano 2	8,13%
Ano 3	8,9%

Tabela 8 – Tabela desvalorização anual Prius

Dados	Corolla
Ano 1	6,25%
Ano 2	4,56%
Ano 3	-1,16%

Tabela 9 – Tabela desvalorização anual Corolla

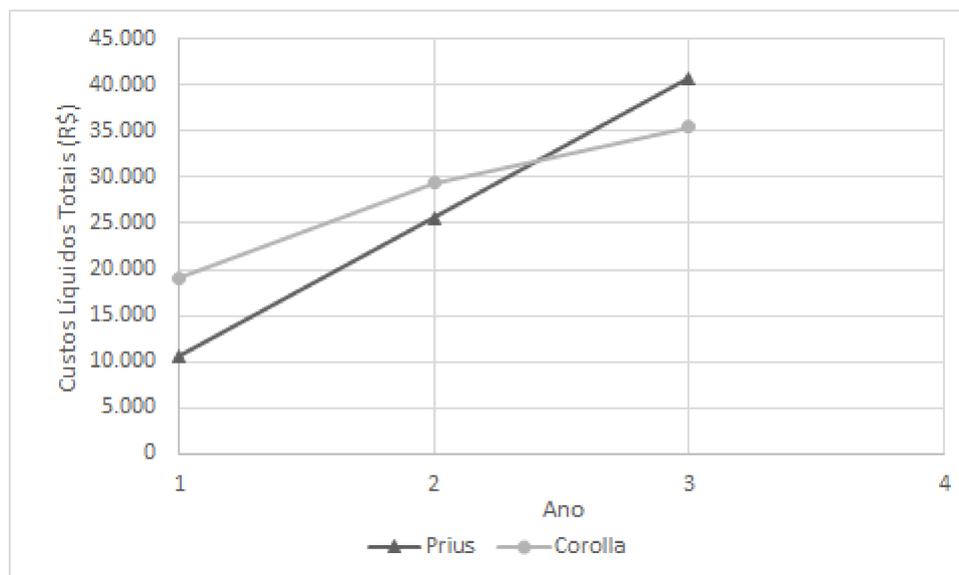


Figura 26 – Gráfico comparativo dos custos totais líquidos dos automóveis Prius e Corolla

Fonte: Própria

Por questões mercadológicas, pode-se perceber nos dados de desvalorização que no terceiro ano de uso o automóvel Toyota Corolla se valorizou em relação ao preço do seu segundo ano, o que fez com que no determinado ano, caso fossem feitas as vendas de ambos os veículos, o automóvel convencional teria um custo líquido mais baixo para seu proprietário, porém como o preço de mercado é influenciado por diversos fatores não é possível determinar se o custo mais baixo do mesmo continuaria nos anos posteriores em relação ao automóvel híbrido.

4.2 Análises e resultados das emissões de poluentes

Utilizando os dados de liberação de poluentes, disponibilizados pelo Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE), e considerando uma média de 12 mil km/ano, foram analisados, e calculados suas emissões de gases poluentes, dos automóveis híbridos Toyota Prius (2018), Ford Fusion Hybrid (2018) e do automóvel convencional Toyota Corolla, pôde-se elaborar os seguintes gráficos comparativos das Figuras 27, 28, 29 mostrados a seguir:

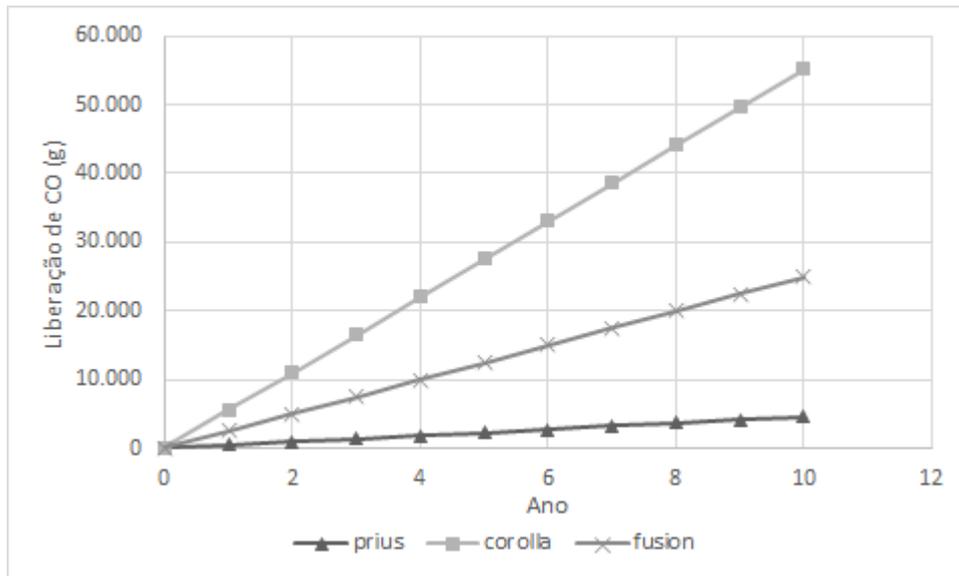


Figura 27 – Gráfico comparativo da liberação de CO

Fonte: Própria

A liberação de CO dos automóveis híbridos se mostram tendo uma redução de cerca de 55% e 92% na comparação entre o automóvel convencional Corolla, respectivamente. Isso se deve pelo fato dos automóveis híbridos, mais eficientes energeticamente, necessitarem de menores motores à combustão devido ao auxílio dos seus motores elétricos, na comparação dos resultados das emissões entre os automóveis híbridos, o automóvel híbrido Prius, híbrido menos potente e de menor consumo de combustível, a redução dos níveis de CO é reduzida de forma ainda mais drástica.

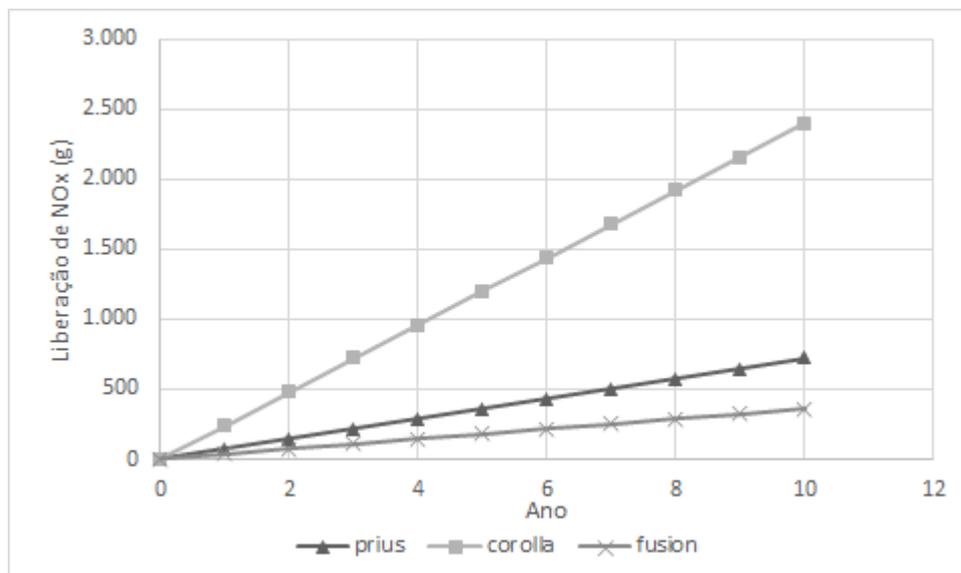


Figura 28 – Gráfico comparativo da liberação de NOx

Fonte: Própria

Na liberação de NOx os automóveis apresentam uma redução ainda maior se comparado ao automóvel convencional, o híbrido Prius apresenta uma redução de cerca de (70%) e o

automóvel híbrido Ford Fusion se apresenta ainda mais eficaz na redução, cerca de (85%) mesmo sendo um veículo mais potente aos demais, catalisador mais desenvolvido na redução de óxidos de nitrogênio.

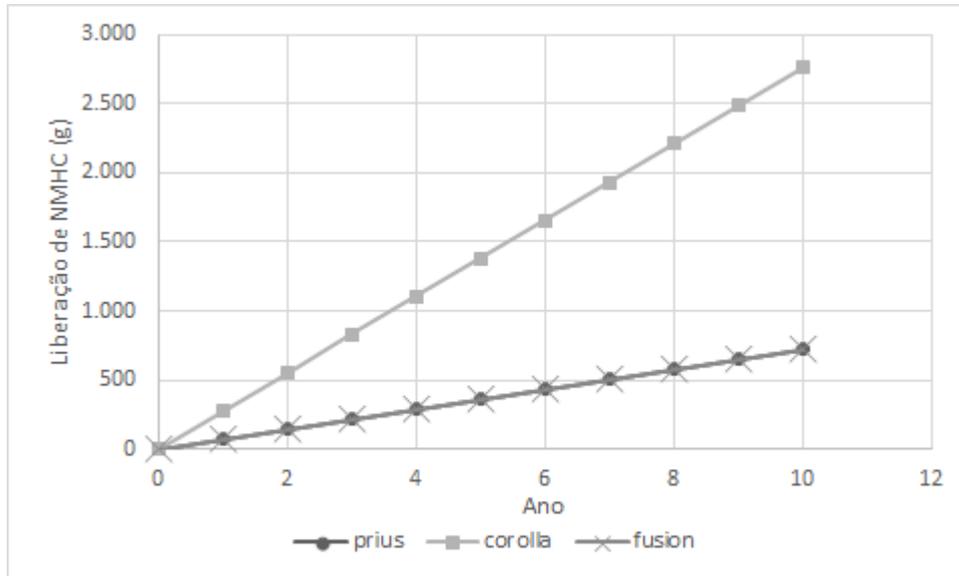


Figura 29 – Gráfico comparativo da liberação de NMHC

Fonte: Própria

E finalmente na análise da liberação dos não metano hidrocarbonetos ambos os automóveis híbridos apresentaram a redução de cerca de (74%) se comparado ao convencional.

Nos resultados de liberação de poluentes, se observa em todos os gráficos que o automóvel convencional Toyota Corolla libera na atmosfera maiores quantidades de gases poluentes, inclusive os gases nocivos à saúde humana resultantes da queima incompleta da gasolina devido ao seu maior consumo de combustível, mesmo que se comparado ao Ford Fusion Hybrid, automóvel de maior potência.

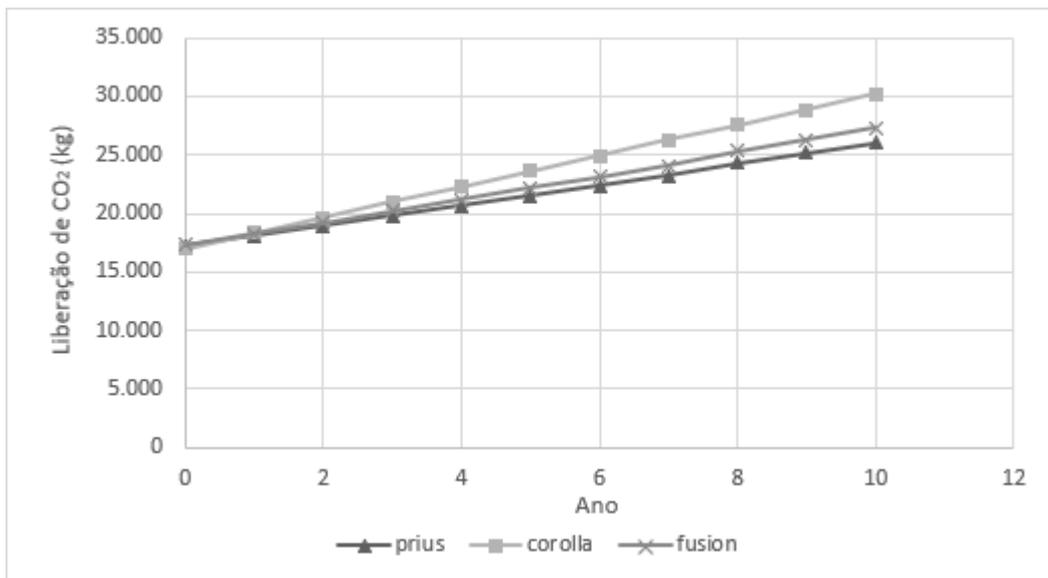


Figura 30 – Gráfico comparativo da liberação de CO₂

Fonte: Própria

A liberação de CO₂ na atmosfera dos automóveis híbridos se mostraram mais baixos que a do automóvel a combustão devido ao fato dos automóveis híbridos não necessitarem de baterias de altas capacidades, veículos híbridos plug-in, que em sua fabricação liberam mais quantidades de CO₂. Logo mesmo com o ligeiro aumento da liberação do gás na produção das baterias, o consumo mais eficiente os automóveis híbridos durante o ciclo analisado se mostra preponderante.

Um erro comum é considerar que caso o automóvel seja conduzido de forma elétrica, a liberação de CO₂ seja necessariamente menor ou até mesmo nula sem que se considere a fonte de tal energia elétrica consumida. Com os dados das emissões de CO₂ por fontes da matriz elétrica apresentados na Tab.1, segundo WNA *Report* (2011), pôde-se calcular as emissões totais de CO₂ das matrizes elétricas do Brasil e global e suas respectivas emissões por cada GWh gerado.

Dados	Matriz elétrica brasileira
Total CO ₂ (Ton)	$8,1 \times 10^7$
Ton. CO ₂ /GWh	136,831

Tabela 10 – Tabela emissões matriz elétrica brasileira

Fonte: Própria

Dados	Matriz elétrica mundial
Total CO ₂ (Ton)	$1,26 \times 10^{10}$
Ton. CO ₂ /GWh	491,373

Tabela 11 – Tabela emissões matriz elétrica mundial

Fonte: Própria

Dessa forma, com a utilização dos dados de ambas as matrizes elétricas, a análise da liberação de CO₂ do automóvel Golf GTE Plug-in no modo elétrico foi realizada e mostrada na Fig.31 abaixo,

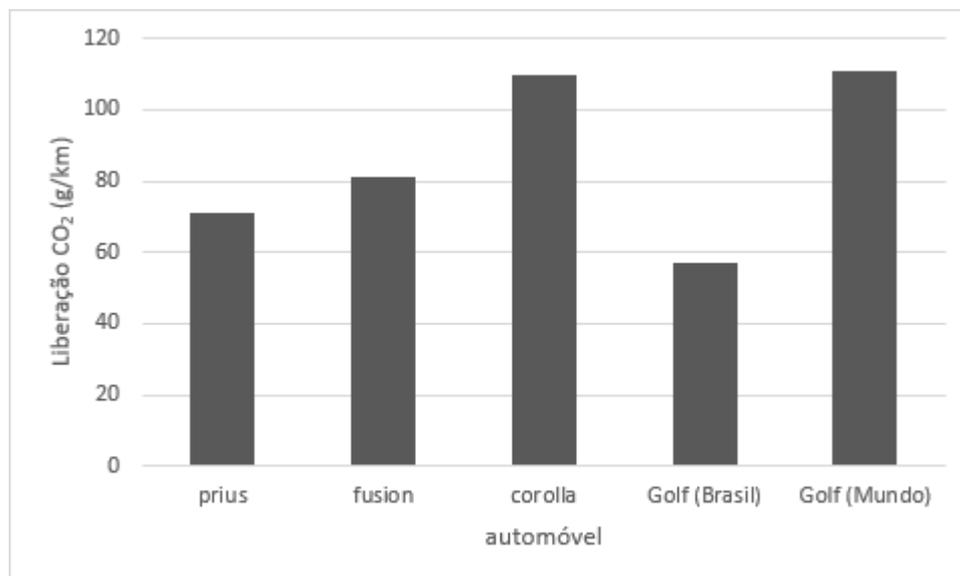


Figura 31 – Gráfico comparativo da liberação de CO₂ Golf GTE em diferentes matrizes elétricas

Fonte: Própria

Nota-se que, a liberação de CO₂ do automóvel Golf GTE no modo elétrico na matriz brasileira se mostra favorável a uma ainda maior redução de liberação de CO₂ se comparado aos automóveis também híbridos, Prius e Fusion, enquanto que na matriz elétrica global a liberação de CO₂ é até mesmo maior que a liberação do automóvel convencional à combustão, Toyota Corolla.

Foi realizado os gráficos presentes nas Figs. 32 e 33 abaixo, onde pode-se observar, as emissões diretas de CO₂ em decorrência do combustível ou indiretas pela energia elétrica utilizada.

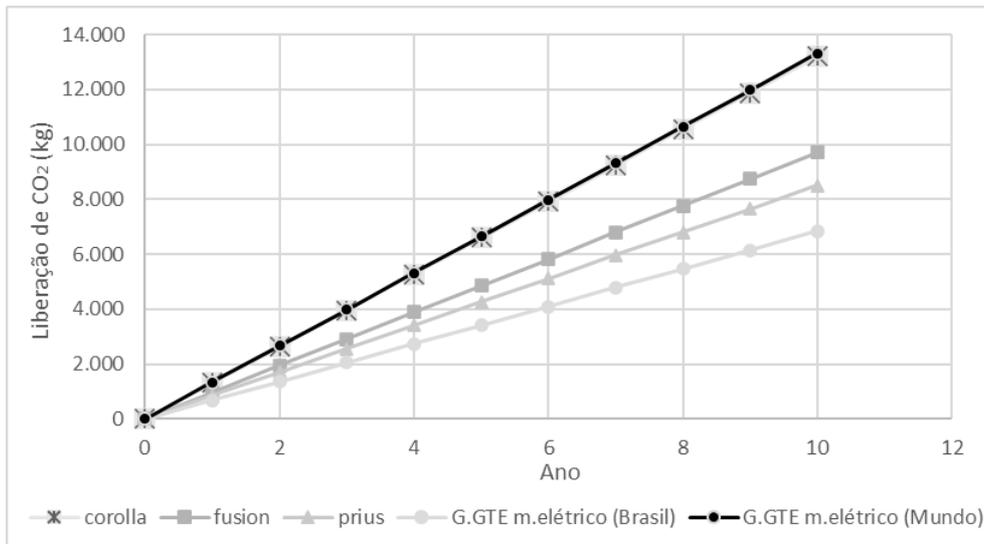


Figura 32 – Gráfico comparativo da liberação de CO₂ dos automóveis analisados para 12.000 km

Fonte: Própria

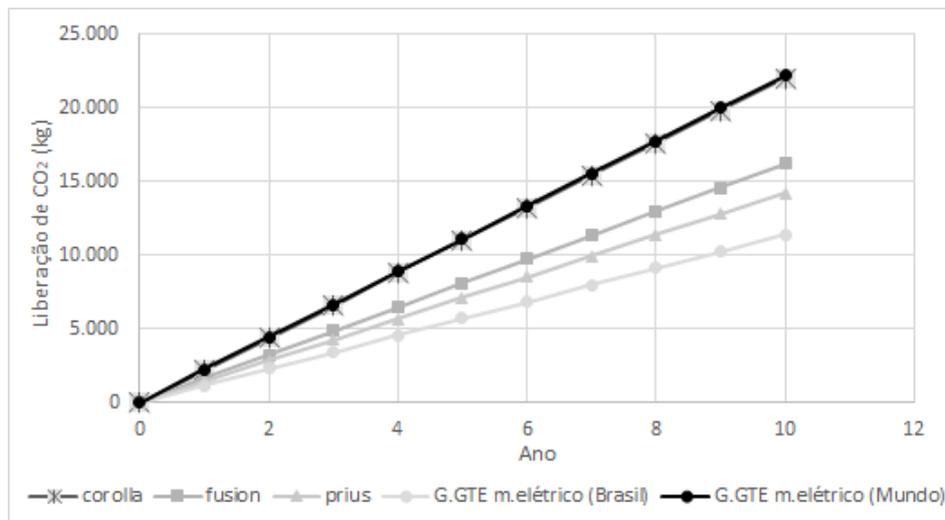


Figura 33 – Gráfico comparativo da liberação de CO₂ dos automóveis analisados para 20.000 km

Fonte: Própria

Observa-se a emissão reduzida de cerca de aproximadamente 3,5 e 4,7 toneladas de CO₂ dos automóveis híbridos Fusion e Prius, respectivamente, em comparação ao automóvel convencional Corolla e o automóvel híbrido Golf GTE no modo elétrico com a matriz global, e uma redução ainda maior das emissões, com o mesmo automóvel Golf modo elétrico, de cerca de 6,4 toneladas de CO₂ ao se utilizar em matriz brasileira, ao fim do período de 10 anos analisados para de 12.000 km.

5 CONCLUSÕES

Nos estudos, análises e resultados apresentados no trabalho, conclui-se que os automóveis híbridos, mais complexos, atualmente já mostram valores de eficiência energética superiores aos veículos convencionais e que já reflete nos melhores resultados da liberação de poluentes, e também pôde-se observar que em automóveis híbridos plug-in a redução da liberação de dióxido de carbono dependerá da matriz elétrica caso o mesmo seja recarregado pela rede elétrica.

Com as análises de custos conclui-se que, apesar de possuírem preço de venda mais elevado, o automóvel híbrido se mostrou mais atraente economicamente do que os convencionais devido à redução dos custos com um consumo de combustível mais eficiente, os altos preços de gasolina no período, e aos incentivos tributários sobre o IPVA. Principalmente, se comparados na utilização em grandes centros urbanos, regiões com o alto tráfego e congestionamento garantem a superioridade dos automóveis híbridos devido à frenagem regenerativa.

Então, conclui-se que as vantagens dos automóveis híbridos em comparação aos convencionais são de expressiva redução da liberação de poluentes atmosféricos danosos ao ser humano como CO, NOx e NMHC, e melhor custo econômico de médio e longo prazo em regiões com alto custo de compra de gasolina. Com o trabalho também pôde se perceber desvantagens como, alto custo de aquisição dos automóveis híbridos devido sua maior complexidade e componentes mais caros, e de dependência de melhores incentivos governamentais em comparação aos veículos convencionais.

6 SUGESTÃO PARA TRABALHOS FUTUROS

- É interessante se analisar também a emissão de outros gases e particulados no ciclo de vida do uso dos diferentes tipos de automóveis pois, tais gases são os que diretamente impactam a saúde da população urbana, meio este de maior concentração de automóveis.
- Análises de veículos elétricos também são importantes, pois apesar de não terem uma boa representatividade no setor automotivo no Brasil devido a falta de infraestrutura, já apresentam boas características competitivas pelo baixo custo da energia elétrica no Brasil em relação à gasolina.
- Além disso, seria interessante se realizar pesquisas a respeito de outras tecnologias que possam melhorar a eficiência dos automóveis convencionais ou híbridos como por exemplo, estudos sobre suspensão regenerativa e baterias.

REFERÊNCIAS

Mehrdad Ehsani, Yimin Gao, Sebastien E. Gay, Ali Emadi; *Modern Eletric, Hybrid Eletric, and Fuel Cells* New York: CRC Press, 2004.

CASTRO, B. H. R., BARROS, D. C., VEIGA, S. G.; *Baterias automotivas: panorama da indústria no Brasil, as novas tecnologias e como os veículos elétricos podem transformar o mercado global*, BNDES, 2013. Disponível em: http://www.bndes.gov.br/sitebndes/bndes/bndes-pt/institucional/publicacoes_consulta-expressa/tipo/bndes-setorial/201303-11.html

D.Linden; *Handbook of batteries* New York: CRC Press, 1995.

Chan, C.C., *The State of the Art of Electric, Hybrid, and Fuel Cell Vehicles* Proceedings of the IEEE, 2007.

E.H. Wakefield; *History of the Electric Automobile: Battery-Only Powered Cars*, Society of Automotive Engineers (SAE), Warrendale, PA, 1994.

Cenzi, Juliana Rangel; *Efeito da intoxicação por monóxido de carbono no comportamento exerético do corpo humano*, Campinas, SP, 2018.

Companhia ambiental do Estado de São Paulo; *Dados veículos leves*, SP, 2018 Disponível em: <http://pbeveicular.petrobras.com.br/TabelaConsumo.aspx>

Companhia ambiental do Estado de São Paulo; *Relatório da qualidade do ar do Estado de São Paulo*, SP, 2019. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/ar/publicacoes-relatorios/>

International Energy Agency; Paris. Disponível em: <https://www.iea.org/data-and-statistics?country=BRAZIL&fuel=Energy%20supply&indicator=Electricity%20generation%20by%20source>

International Energy Agency; Paris. Disponível em: <https://www.iea.org/data-and-statistics?country=WORLD&fuel=Electricity%20and%20heat&indicator=Electricity%20generation%20by%20source>

Agência Brasileira de Veículos Elétricos; São Paulo. Disponível em: <http://www.abve.org.br/ipva-para-veiculos-eletricos/>

Fundação Instituto de Pesquisas Econômicas; São Paulo. Disponível em: <https://veiculos.fipe.org.br/>

Federação Nacional de Distribuição de Veículos Automotores; São Paulo. Disponível em: www.fenabreve.org.br/

Secretaria de Fazenda e Planejamento do Estado de São Paulo; São Paulo. Disponível em: <https://portal.fazenda.sp.gov.br/servicos/ipva/Paginas/mi-aliquota.aspx>

Conselho Nacional do Meio Ambiente—CONAMA; Diário Oficial da União, 2018. *Padrões de qualidade do ar* Disponível em: https://www.in.gov.br/materia/-/asset_publisher/Kujrw0TZC2Mb/content/id/51058895/do1-2018-11-21-resolucao-n-491-de-19-de-novembro-de-2018-51058603

Agência Nacional do Petróleo; Site; São Paulo, 2020. *Preços combustíveis líquidos* Disponível em: <https://www.gov.br/anp/pt-br/assuntos/precos-e-defesa-da-concorrenca/precos/precos-de-distribuicao-de-combustiveis>

WNA Report; *Comparison of Lifecycle Greenhouse Gas Emissions of Various Electricity Generation Sources*, World Nuclear Association, 2011

ANEXO A – TERMO DE AUTENTICIDADE



UNIVERSIDADE FEDERAL DE JUIZ DE FORA
FACULDADE DE ENGENHARIA

Termo de Declaração de Autenticidade de Autoria

Declaro, sob as penas da lei e para os devidos fins, junto à Universidade Federal de Juiz de Fora, que meu Trabalho de Conclusão de Curso do Curso de Graduação em Engenharia Mecânica é original, de minha única e exclusiva autoria. E não se trata de cópia integral ou parcial de textos e trabalhos de autoria de outrem, seja em formato de papel, eletrônico, digital, áudio-visual ou qualquer outro meio.

Declaro ainda ter total conhecimento e compreensão do que é considerado plágio, não apenas a cópia integral do trabalho, mas também de parte dele, inclusive de artigos e/ou parágrafos, sem citação do autor ou de sua fonte.

Declaro, por fim, ter total conhecimento e compreensão das punições decorrentes da prática de plágio, através das sanções civis previstas na lei do direito autoral¹ e criminais previstas no Código Penal², além das cominações administrativas e acadêmicas que poderão resultar em reprovação no Trabalho de Conclusão de Curso.

Juiz de Fora, 27 de Março de 2021.

João Henrique Gonçalves de Souza
NOME LEGÍVEL DO ALUNO (A)

201371096

Matrícula

João Henrique Gonçalves de Souza
ASSINATURA

099817886-19

CPF

¹ LEI N° 9.610, DE 19 DE FEVEREIRO DE 1998. Altera, atualiza e consolida a legislação sobre direitos autorais e dá outras providências.

² Art. 184. Violar direitos de autor e os que lhe são conexos: Pena - detenção, de 3 (três) meses a 1 (um) ano, ou multa.