



**INSTITUTO SUPERIOR DE ENGENHARIA DE LISBOA**

**Área Departamental de Engenharia Mecânica**

**ISEL**



## **Análise do desempenho do automóvel híbrido face ao de combustão interna**

**JOÃO FILIPE GONÇALVES APOLINÁRIO**  
Licenciado em Engenharia Mecânica

Trabalho Final de Mestrado para obtenção do grau de Mestre  
em Engenharia Mecânica

Orientador: Doutora Cláudia Sofia Séneca da Luz Casaca  
Coorientador: Doutor Mário José Gonçalves Cavaco Mendes

Júri:

Presidente: Doutor João Carlos Quaresma Dias

Vogais:

Mestre Jorge Zózimo da Fonseca

Doutor Jorge Mendonça e Costa

Doutora Cláudia Sofia Séneca da Luz Casaca

Doutor Mário José Gonçalves Cavaco Mendes

**Dezembro de 2012**

---

## RESUMO

Os veículos híbridos são parte da solução atual para reduzir o consumo de combustível e emissões de gases de escape, são reconhecidos pela sociedade e contribuem para o desenvolvimento da mobilidade de uma forma ambientalmente sustentável, despertando a consciência coletiva para a correta utilização dos recursos energéticos.

Este trabalho descreve um estudo sobre três automóveis, que têm de comum o mesmo bloco de motor de combustão, mas utilizam-no associado a tecnologias diferentes, sendo um convencional, um de tecnologia não completamente híbrido (híbrido mínimo), e outro de tecnologia completamente híbrido (híbrido total).

Inicialmente foi efetuada uma pesquisa sobre a tecnologia e modo de funcionamento do automóvel híbrido. Soluções como recuperação de energia dissipada pela travagem, paragem automática do motor de combustão interna ao ralenti, desativação parcial ou total de cilindros motor para poupar combustível, estão associadas aos automóveis híbridos estudados, permitindo mesmo quando aplicadas aos automóveis convencionais modernos torná-los mais eficientes e menos poluentes.

De modo a identificar as principais diferenças entre os três automóveis foram realizados testes de estrada, reproduzindo uma utilização real baseada no Novo Ciclo de Condução Europeu, com uma recolha representativa e significativa de condições reais de condução. Foram considerados fatores como passividade/agressividade de condução ao volante do condutor, perfis de velocidade, aceleração, eficiência da transmissão, resistência ao rolamento coeficiente de resistência aerodinâmica com condições variáveis de vento junto ao mar e serra. Registou-se a influência do peso e hábitos de condução no consumo de combustível, possibilitando identificar desvios, intervalos e limites expectáveis de desempenho e consumo para cada um dos carros.

Esta tese permitiu desenvolver conhecimentos para melhor entender as vantagens e condicionantes de utilização do automóvel híbrido, onde a redução de consumo de combustível e custo de exploração é a recompensa, pela utilização da mais-valia tecnológica.

**Palavras-chave:** Veículo Híbrido, Híbrido Mínimo e Total, Motor de Assistência Integrado, Estado de Carga da Bateria, Consumo de combustível.

---

## ABSTRACT

Hybrid cars are part of the current solution to reduce fuel consumption and exhaust emissions, they are recognized by society and contribute to the development of mobility in an environmentally sustainable, awakening the collective conscience for the correct use of energy resources.

This work describes a study of three cars, which have in common the same combustion engine block, but with different technologies associated, a conventional, a technology not fully hybrid (hybrid minimum), and other technology completely hybrid (hybrid total).

This study began with research on the technology and usage of the hybrid car. Solutions such as energy recovery dissipated by braking, automatic idle stop for the combustion engine, partial or total shutdown of engine cylinders to save fuel, are linked to hybrid cars, allowing even when applied to modern conventional cars to make them more efficient and with less emissions.

Follows the identification of the differences among the three cars, performing driving tests, based on the New European Driving Cycle, with a representative collection of significant and real driving conditions. Factors such as passive / aggressive driving styles have been considered as well as velocity, acceleration, transmission efficiency, rolling resistance, coefficient of aerodynamic drag with variable wind conditions near the sea and mountains. Factors such as weight and driving habits that have influence on fuel consumption have been identified in this study, as well as deviations from expected ranges and limits of fuel consumption for each of the cars.

This thesis has allowed developing knowledge to better understand the advantages and limitations using hybrid cars, where the reduction of fuel consumption and operating cost is the reward for the use of added-value technology.

**Keywords:** Hybrid Vehicle, Hybrid Minimum and Total, Integrated Motor Assist, State of Charge, Fuel consumption.

---

## **Agradecimentos**

Agradeço à minha orientadora de tese, Professora Doutora Cláudia Sofia Séneca da Luz Casaca, ao coorientador de tese Professor Doutor Mário José Gonçalves Cavaco Mendes, a dedicação, os dias de trabalho e as preciosas sugestões efetuadas para melhoria deste trabalho.

Agradeço à minha família, aos amigos e colegas o apoio, o estímulo a disponibilidade e a amizade.

---

## Índice

RESUMO	i
Palavras-chave	i
ABSTRACT	ii
Keywords	ii
Agradecimentos	iii
Índice	iv
Lista de figuras	vi
Lista de tabelas e gráficos	viii
Lista de abreviaturas	ix
1. Introdução	2
1.1. O constrangimento das emissões de gases no desenvolvimento do automóvel convencional e a alternativa pelos veículos híbridos	2
1.2. Motivação e objetivos	7
1.3. Contribuição da Tese	8
1.4. Organização da Tese	8
2. Estado da arte dos sistemas híbridos da Honda	11
2.1. Introdução	11
2.2. O conjunto motor combustão interna e o sistema híbrido	12
2.2.1. Especificações do motor por modelo	13
2.2.2. Redução de atrito do motor do Civic Mild Hybrid e do Civic Full Hybrid	16
2.2.3. Redução de consumo específico de combustível	17
2.2.4. Sistema de desativação dos cilindros	18
2.2.4.1. O sistema de desativação dos cilindros no Civic Mild Hybrid	18
2.2.4.2. O CIS no Honda Civic Full Hybrid	22
2.3. O sistema IMA e a gestão de energia nos Civic Hybrid	26
2.3.1. O motor elétrico IMA	27
2.3.2. A unidade inteligente de potência	30
2.3.3. O Sistema de Carga	33
2.3.4. O sistema de monitorização	33
2.3.4.1. Módulo de controlo do motor de combustão interna	33
2.3.4.2. Módulo de controlo do motor elétrico IMA	34
2.4. Estado de carga da bateria e a gestão da energia	35

---

2.5.	Utilização do veículo em modo elétrico	37
2.5.1.	Servo freio hidráulico	37
2.5.2.	Ar condicionado híbrido	39
3.	Caso de estudo	41
3.1.	Introdução	41
3.2.	A utilização real dos automóveis	41
3.3.	Ciclos e condições de ensaio de referência	43
3.4.	Ciclos e condições utilizadas nos testes efetuados	44
3.5.	A influência do comportamento do condutor no consumo de combustível	46
3.5.1.	A condução do automóvel híbrido	47
3.5.2.	A instrumentação disponível para facilitar a utilização	48
4.	Resultados	51
4.1.	Introdução	51
4.2.	Balanço dos resultados obtidos	51
4.2.1.	O consumo de combustível	52
4.2.2.	A influência do peso no consumo de combustível	57
4.2.3.	O benefício de utilização do híbrido em circuitos extra urbanos	58
4.2.4.	A caixa de velocidades e a influência no consumo de combustível	59
4.3.	A regulação híbrida em paralelo e a influência do SOC	60
4.4.	A confirmação dos valores obtidos	62
5.	Conclusões e trabalho futuro	68
5.1.	Conclusões	68
5.2.	Trabalho futuro	69
	Referências	71

---

## Lista de figuras

Figura 1 -	Definição veículo híbrido [5].	4
Figura 2 –	Híbrido Série [5].	5
Figura 3 –	Híbrido Paralelo [5].	5
Figura 4 –	Honda Jazz o automóvel e o motor convencional de combustão interna [1].	7
Figura 5 -	Honda Civic IMA de 2003 identificado como Civic Mild Hybrid [1].	7
Figura 6 -	Honda Civic Hybrid de 2006 identificado como Civic Full Hybrid [1].	8
Figura 7–	Honda Insight [1].	11
Figura 8 -	Vista de conjunto: Motor de combustão interna, motor elétrico IMA, e transmissão de variação contínua CVT.	12
Figura 9 -	Características de potência e binário [10].	15
Figura 10 -	Polimento em "planalto" polimento rugoso [10].	16
Figura 11 -	Polimento de acabamento [10].	16
Figura 12 -	Propagação e temperatura da frente de chama com a ignição sequencial [11].	17
Figura 13 -	Acréscimo da pressão máxima no cilindro com o sistema i-DSI [11].	17
Figura 14 -	Redução em 50% do atrito por bombagem pela utilização do CIS [12].	19
Figura 15 -	Influência do atrito por bombagem do ICE na energia regenerada [12].	19
Figura 16 -	Configuração do CIS e circuito hidráulico de acionamento no VTEC de 2 estágios [12].	20
Figura 17 -	CIS e construção dos balanceiros atuadores das válvulas [13].	20
Figura 18 -	Condições de funcionamento em cinco etapas de condução no Civic Mild Hybrid [14].	21
Figura 19 -	Redução do atrito por bombagem pela utilização do CIS nos 4 cilindros do Civic Full Hybrid [10].	23
Figura 20 –	Influência do atrito por bombagem do ICE, na energia regenerada [10].	23
Figura 21 -	Configuração do sistema i-VTEC 3 estágios combinando o CIS com o VTEC [15].	24
Figura 22 –	Os 8 modos de funcionamento obtidos através da ativação combinada das 2 electroválvulas [10].	25
Figura 23 -	Constituição do sistema IMA [15].	26
Figura 24 -	Motor elétrico IMA “DC Brushless” [15].	27

---

Figura 25 -	Tecnologias para melhorar o desempenho do Motor IMA do Civic Full Hybrid [15].	28
Figura 26 -	Construção de estator e rotor SPM [15].	29
Figura 27 -	Construção de estator e IPM rotor [15].	30
Figura 28 -	A unidade inteligente de potência [15].	30
Figura 29 -	Características da tensão de saída das baterias [15].	32
Figura 30 -	Constituição da célula de Níquel - Metal Hidreto [15].	32
Figura 31 -	Arranjo mais compacto da bateria usada no Civic Full Hybrid [15].	33
Figura 32 -	Controlo do sistema IMA e SOC da bateria [17].	34
Figura 33 -	Informação do SOC da bateria no painel de instrumentos.	35
Figura 34 -	SOC e limites de utilização da bateria de Ni-MH [17].	35
Figura 35 -	SOC Flutuação de tensão e erro de controlo [17].	36
Figura 36 -	SOC gestão de energia [17].	37
Figura 37 -	Servo freio hidráulico e bomba de alta pressão [15].	38
Figura 38 -	Influência da utilização do servo freio hidráulico na travagem regenerativa [18].	38
Figura 39 -	Compressor do A/C híbrido, com acionamento mecânico e elétrico [15].	39
Figura 40 -	Computador portátil e software utilizado para o registo de dados.	42
Figura 41 -	Percurso utilizado para testes de consumo de combustível em estrada.	45
Figura 42 -	A condução do Civic Full Hybrid [15].	47
Figura 43 -	Painel de instrumentos com informação de consumo de combustível.	49
Figura 44 -	Painel de instrumentos com informação de modo de Carga e Assistência (Charge/Assist) e SOC.	49
Figura 45 -	Valores de consumo de combustível em função da aceleração e velocidade ( adaptado de [22]).	60
Figura 46 -	Reposição do valor SOC no fim do percurso [18].	61
Figura 47 -	Aumento de eficiência do conjunto ICE + IMA e a redução do consumo de combustível [10].	62

---

## Lista de tabelas e gráficos

### Tabelas

Tabela 1-	Honda Hybrid Vendas por Região [8].	12
Tabela 2 –	Especificações do motor por modelo [9].	14
Tabela 3 –	Condições de funcionamento para o CIS no Honda Civic Mild Hybrid.	21
Tabela 4 –	Condições de funcionamento para o CIS no Civic Full Hybrid [15].	26
Tabela 5 –	Especificações do motor elétrico IMA.	27
Tabela 6 –	Bateria do sistema IMA.	31
Tabela 7 –	Parâmetros dos testes ECE 15 e EUDC para realizar o teste NEDC [24].	43
Tabela 8 –	Parâmetros dos testes FUDS e FHDS para realizar o teste EPA [19], [20].	44
Tabela 9 –	Resumo dos testes efetuados.	46
Tabela 10 –	Acréscimo de custo em combustível para um valor de 20000 km/ano.	52
Tabela 11 -	Testes de consumo de combustível em estrada.	53
Tabela 12 –	Estatística dos testes de consumo de combustível em estrada.	57
Tabela 13 –	O benefício da utilização do híbrido em circuitos extra urbanos.	59

### Gráficos

Gráfico 1 –	Comparação entre o consumo de combustível obtido nos testes de estrada e o consumo combinado de combustível anunciado pela Honda em catálogo.	51
Gráfico 2 –	Desvio entre o consumo real obtido nos testes de estrada e o consumo combinado de combustível anunciado pela Honda em catálogo.	52
Gráfico 3 –	Desvio entre o consumo de combustível obtido nos testes de estrada e o consumo combinado de combustível anunciado para o Jazz 1.4.	54
Gráfico 4 –	Desvio entre o consumo de combustível obtido nos testes de estrada e o consumo combinado de combustível anunciado para o Civic Mild Hybrid.	55
Gráfico 5 –	Desvio entre o consumo de combustível obtido nos testes de estrada e o consumo combinado de combustível anunciado para o Civic Full Hybrid.	56
Gráfico 6 –	Comparação entre os testes de consumo e a extrapolação de consumo de combustível em relação ao Civic Full Hybrid.	58
Gráfico 7 -	Extrapolação do aumento do consumo de combustível se todos os automóveis tivessem o peso do Civic Full Hybrid.	58
Gráfico 8 –	Perspetiva de conjunto do global dos desvios encontrados nos testes de consumo de combustível realizados aos 3 automóveis em estudo.	64

### Lista de abreviaturas

A/C	Air Conditioning (Ar condicionado)
AC	Alternate Current (Corrente alterna)
ADVISOR	Advanced Vehicle Simulator
CIS	Cylinder Idling System (Sistema de desativação dos cilindros)
CC	Corrente Contínua
CO <sub>2</sub>	Dióxido de Carbono
CVCC	Compound Vortex Controlled Combustion (Combustão controlada por vórtice composto)
CVT	Continuously Variables Transmition (Transmissão de variação contínua)
DC	Direct Current (Corrente contínua)
DC Brushless	DC Brushless Motor (Motor tipo DC Brushless)
ECE	European Comission Environment (Comissão europeia ambiente)
ECU	Eletronic Control Unit (Unidade de controlo eletrónico)
EEC	European Emission Control (Controlo de emissões europeu)
EDC	European Driving Cycle (Ciclo de condução europeu)
EGR	Exhaust Gas Recirculation (Recirculação de gases de escape)
EPA US	US Environmental Protection Agency (Agência de proteção ambiental dos Estados Unidos)
EV	Electric Vehicle (Veículo elétrico)
EUDC	Extra Urban Driving Cycle (Ciclo de condução extra urbano)
FET	Field Effect Transistor (Transístor de efeito de campo)
FHDS	Federal Highway Driving Schedule (Programa federal de condução em via rápida)
FUDS	Federal Urban Driving Schedule (Programa federal de condução urbana)
GPS	Global Positioning System (Sistema de posicionamento global)
HEV	Hybrid Electric Vehicle (Veículo híbrido elétrico)
HIM	Honda Interface Module (Módulo de interface Honda)
i-DSI	Intelligent Dual & Sequential Ignition (Ignição dupla e sequencial inteligente)

---

i-VTEC	Intelligent Variable Timing and Lift Electronic Control (Sistema de controlo eletrónico de abertura e elevação variável das válvulas inteligente )
ICE	Internal Combustion Engine (Motor de combustão interna)
Idle Stop	Idle Stop (Paragem automática do motor de combustão ao ralenti)
IGBT	Insulated Gate Bipolar Transistor (Transistor bipolar de porta isolada)
IMA	Integrated Motor Assist (Motor de assistência integrado)
IPM	Internal Permanent Magnet (Ímanes permanentes internos)
IPU	Intelligent Power Unit (Unidade de potência inteligente)
LEV	Low Emission Vehicle (Veículo de emissões baixas)
MCM	Motor Control Module (Módulo de controlo do motor elétrico IMA)
NEDC	New European Driving Cycle (Novo ciclo de condução europeu)
Ni-MH	Nickel–metal hydride (Níquel– Metal hidreto)
NREL's	National Renewable Energy Laboratory's (Laboratório nacional de energia renováveis)
OBD	On Board Diagnosis (Diagnóstico a bordo)
PCM	Power Control Module (Módulo de controlo do motor de combustão interna)
PCV	Positive crankcase ventilation valve (Válvula de ventilação positiva do cárter)
PGM-FI	Programmed Fuel Injection (Injeção de gasolina programada)
SOC	State of Charge (Estado de carga da bateria)
SOHC	Single Overhead Camshaft (Uma árvore de cames à cabeça)
SPM	Surface Permanent Magnet (Ímanes permanentes à superfície)
UNECE	United Nations Economic Commission for Europe (Comissão económica das nações unidas para a Europa)
ULEV	Ultra Low Emission Vehicle (Veículo de emissões ultra baixas)
VCM	Variable Cylinder Management (Sistema de gestão variável dos cilindros)
VTEC	Variable Timing and Lift Electronic Control (Sistema de controlo eletrónico de abertura e elevação variável das válvulas)
VTEC-E	Variable Timing and Lift Electronic Control (Sistema de controlo eletrónico de abertura e elevação variável das válvulas)
ZLEV	Zero Level Emission Vehicle (Veículo com nível zero de emissões)

---

# 1

## Introdução

---

## 1. Introdução

Com o objetivo de preservar os recursos naturais e a qualidade do ar, o projeto híbrido alterou profundamente a indústria automóvel e a sociedade.

O projeto híbrido, para a indústria automóvel, transformou o comportamento dos automóveis de grande consumo, tornando-os mais económicos e dando-lhes responsabilidade social de veículos emissores de baixas emissões poluentes.

Para a sociedade o projeto híbrido despertou a consciência coletiva para a correta utilização dos recursos energéticos, recuperação de energia perdida, e proteção do ambiente.

### 1.1. O constrangimento das emissões de gases no desenvolvimento do automóvel convencional e a alternativa pelos veículos híbridos

A crise do petróleo dos anos 70 contribuiu para uma evolução importante do automóvel com motor de combustão interna a gasolina. A redução da cilindrada dos motores de combustão interna (ICE), assim como novas soluções para câmaras de combustão e admissões de ar para aumentar a eficiência de combustão permitiram diminuir consumos de combustível e melhorar o rendimento do motor.

Em 1975, o motor Honda de combustão controlada por vórtice composto (CVCC) [1], foi o primeiro motor a utilizar o conceito de carga estratificada sem catalisador. Ao utilizar o conceito de carga estratificada, onde a relação ar/combustível não é homogénea em toda a câmara de combustão permitiu à Honda cumprir os standards de emissões para automóveis sem catalisador e estar em conformidade com a legislação federal americana de controlo do ar e poluição o US Clean Air Act [2].

Nos anos 80 e 90, com o aquecimento global do planeta houve a necessidade de encontrar novas soluções de controlo de emissões de gases.

Uma das soluções encontradas foi dirigir para a admissão os vapores de cárter, libertados durante o funcionamento do motor, de forma a serem queimados de novo com conseqüente eliminação. A introdução da válvula de ventilação positiva do cárter, (PCV) permitiu controlar a passagem para a admissão dos vapores de cárter libertados indo abrir somente em condições de funcionamento do motor que garantam a queima correta dos gases libertados pelo cárter, permitindo desta forma baixar o valor de emissões de monóxido de carbono (CO) e hidrocarbonetos não queimados (HC).

---

Outra solução foi canalizar para admissão, vapores de gasolina provenientes do depósito de combustível para poderem ser queimados. A utilização do “Canister” permite fazer a recolha de vapores, proveniente do depósito de combustível. O “Canister” é um recipiente contendo um absorvedor, quando colocado sob vácuo permite a passagem de ar fresco pelo absorvedor arrastando os vapores de combustível nele contido para a admissão para serem queimados pelo motor e permitir baixar o valor de emissões de HC.

Solução semelhante às anteriores foi utilizada para os óxidos de azoto ( $\text{NO}_x$ ) formados por temperaturas elevadas de queima sobretudo com misturas pobres, e que passaram a ser canalizados para a admissão e voltando a ser queimados no motor. A utilização da válvula de recirculação de gases de escape (EGR) permite a reintrodução dos gases de escape na admissão baixando o valor de emissões de  $\text{NO}_x$ .

No final dos anos 80 surgiram, para os automóveis de grande produção, os sistemas de injeção de combustível programados eletronicamente em substituição do carburador. Os novos sistemas de injeção de combustível combinada com catalisadores permitiram reduzir o consumo de combustível e emissões de gases emitidos para a atmosfera, cumprindo as normas restritivas da Europa, dos Estados Unidos e Japão.

A evolução em termos de consumo de combustível passou por utilizar sistemas de distribuição variável. Em 1989 surgiu o sistema de controlo eletrónico do comando e abertura variável das válvulas (VTEC) permitindo aos carros terem dois comportamentos com um único motor de combustão. O motor em funcionamento a baixa rotação é um motor convencional com baixo consumo de combustível e emissões de gases e em funcionamento a alta rotação o mesmo motor passa a ter um comportamento mais desportivo onde a prioridade é o desempenho e consequente aumento do consumo de combustível e emissões [3].

A evolução em termos de controlo de emissões, passou pela utilização de catalisadores e filtros de partículas, acompanhada com o desenvolvimento de novos motores de combustão mais eficazes.

O desenvolvimento dos novos motores incorporou tecnologia de redução de atrito, com menores necessidades de lubrificação e arrefecimento utilizando novas ligas metálicas, para redução de peso, dimensões, e massas em movimento. Novos segmentos de baixa tenacidade para diminuir atrito nas paredes do cilindro, novos óleos de baixo índice de viscosidade que permitem reduzir consumo de combustível, e utilização de misturas ar/gasolina pobres permitiram cumprir normas de emissões cada vez mais restritivas.

Em 1992 o motor Honda com sistema de controlo eletrónico de abertura e elevação variável das válvulas (VTEC-E), especialmente projetado para economia de combustível, utilizou novamente o conceito de carga estratificada a baixo regime de rotação com relações ar combustível superiores a 1/20 e a médio e alto regime a relação estequiométrica de 1/14,7.

---

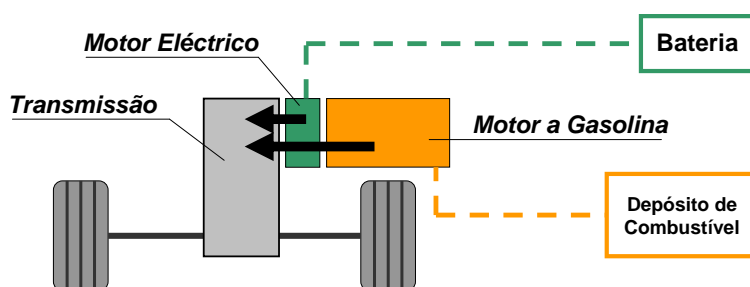
Em busca de novas soluções e antecipando a legislação, a Honda em 1996, comercializou automóveis com os padrões de veículo de emissões baixas (LEV). Em 1998 foram comercializados automóveis conformes com os padrões de veículo de emissões ultra baixas (ULEV), e veículos com nível zero de emissões (ZLEV), que atingem emissões menores que um décimo dos padrões ULEV.

A crescente preocupação com o ambiente e recursos naturais sentido no final dos anos 90, mobilizou alguns construtores para a pesquisa e desenvolvimento de soluções alternativas ao automóvel convencional.

Os veículos híbridos gasolina/elétricos conhecidos desde 1901 foram inicialmente vistos como projetos tecnologicamente avançados mas pouco interessantes economicamente, devido ao baixo valor do petróleo no mercado e acréscimo de custo na produção do automóvel híbrido. O custo crescente do petróleo e as emissões de gases poluentes sempre mais restritivas foram consideradas como uma oportunidade para relançar o projeto híbrido.

O projeto híbrido surge para a indústria automóvel como a solução vanguardista, tecnologicamente avançada e economicamente viável capaz de reduzir ainda mais o consumo de combustível e emissões e responder às preocupações e necessidades da sociedade no momento.

Segundo a United Nations Economic Commission for Europe (UNECE) o veículo híbrido utiliza pelo menos duas fontes diferentes de energia, um motor de combustão e um motor elétrico, para movimentar o veículo [4]. Adicionalmente o veículo híbrido utiliza dois sistemas diferentes de armazenamento de energia no veículo, um depósito de combustível e uma bateria, para alimentar os motores ver figura 1.

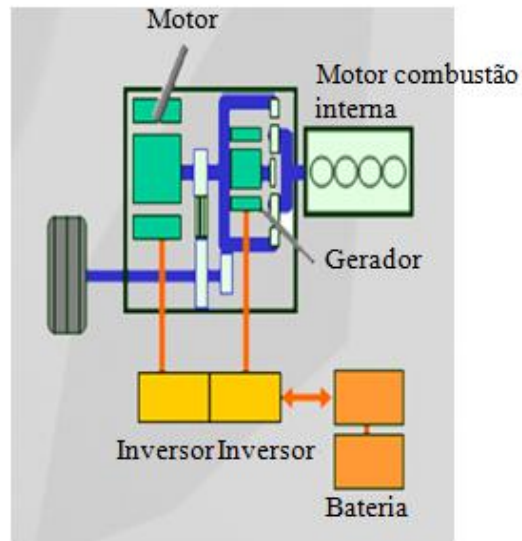


**Figura 1 - Definição veículo híbrido [5].**

A produção em série, dos veículos híbridos somente surgiu no mercado no fim dos anos 90 com três soluções distintas, o híbrido série, o híbrido paralelo e o híbrido série/paralelo.

---

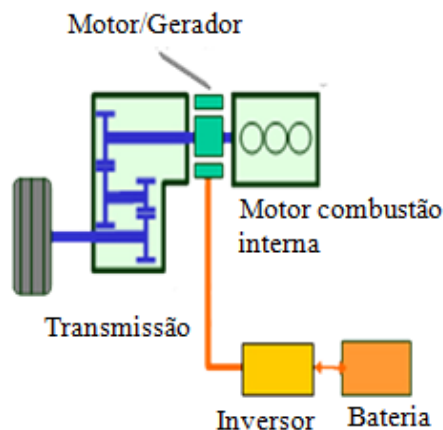
A solução híbrido série iniciou a sua produção no ano 1997 com a marca e modelo Toyota Coaster [6]. O nome híbrido série vem do tipo de ligação do motor elétrico e ICE que é efetuada em série, ver figura 2.



**Figura 2 – Híbrido Série [5].**

O ICE movimenta o gerador e a eletricidade gerada é fornecida ao motor elétrico que movimenta as rodas do automóvel. O sistema híbrido série tem a desvantagem de em caso de avaria do sistema híbrido implica a paragem do veículo.

A solução híbrido paralelo iniciou a sua produção no ano 1999 com a marca e modelo Honda Insight [7]. Híbrido paralelo significa que ambos os motores, elétrico e combustão interna movimentam as rodas em simultâneo ou individualmente para obter a máxima eficiência, ver figura 3.



**Figura 3 – Híbrido Paralelo [5].**

---

O motor/gerador elétrico tem função de tração e carga das baterias. As baterias carregadas fornecem energia ao motor elétrico que assim movimentam as rodas. O sistema híbrido em paralelo tem a vantagem de ser leve comparativamente com a solução série e em caso de avaria do sistema híbrido, não implicar a paragem do veículo.

A solução híbrido série/paralelo iniciou a sua produção no ano 1997 com a marca e modelo Toyota Prius [6]. O Híbrido Série/Paralelo apresenta as vantagens do sistema Série e do sistema Paralelo. O sistema permite movimentar as rodas e ao mesmo tempo gerar eletricidade usando o gerador. Apesar do custo elevado da tecnologia as emissões são bastante baixas.

Paralelamente à qualificação do tipo de ligação entre o motor elétrico e o ICE surgiu a necessidade de identificar a capacidade do automóvel se deslocar somente com tração elétrica caso do híbrido total (*Full Hybrid*, na literatura inglesa) ou não como o caso do híbrido mínimo (*Mild Hybrid*, na literatura inglesa) e híbrido micro (*Micro Hybrid*, na literatura inglesa).

Os sistemas híbridos utilizam um motor/gerador com possibilidade de produzir energia elétrica por travagem regenerativa. A utilização da energia acumulada na bateria é utilizada de modo distinto nos Micro, Mild e Full Hybrid.

O sistema híbrido micro, utiliza a energia acumulada na bateria para o arranque do motor de combustão interna, mas o pequeno motor elétrico utilizado impede de fornecer tração motora.

O sistema híbrido mínimo, utiliza a energia acumulada na bateria para o arranque do ICE e fornece tração motora, mas o motor gerador de baixa/média potência impossibilita a condução do automóvel somente em modo elétrico. Os veículos híbrido mínimo não são completamente híbridos, podem deslocar-se recorrendo a duas fontes de energia gasolina e eletricidade. A deslocação somente em modo elétrico não é possível, implicando a imobilização do veículo em caso de avaria do ICE.

O sistema híbrido total, utiliza a energia acumulada na bateria para o arranque do ICE e para fornecer tração motora. O motor gerador de média/grande potência no sistema totalmente híbrido permite a condução somente em modo elétrico.

Os veículos com sistema totalmente híbridos, como o próprio nome indica são veículos completamente híbridos, podem deslocar-se recorrendo a uma só fonte de energia, gasolina ou eletricidade ou recorrendo às duas em simultâneo. Em modo elétrico o veículo somente utiliza o motor elétrico para se deslocar, com autonomia crescente, reflexo do incremento da componente elétrica no automóvel híbrido total.

---

## 1.2. Motivação e objetivos

Este estudo contribuiu para aprofundar conhecimentos sobre a tecnologia do automóvel híbrido e sua gestão eletrônica. A investigação foi altamente motivadora, não só pelo carácter vanguardista da tecnologia e da previsão de uma aplicação generalizada no futuro, mas também pela satisfação e mais valia pessoal dos conhecimentos adquiridos.

Para o estudo comparativo do automóvel híbrido face ao automóvel de combustão interna foram utilizados três automóveis Honda que partilham o mesmo bloco motor mas com diferenças mecânicas, elétricas e objetivos de desenvolvimento.

O Jazz, ver figura 4, é o automóvel com ICE convencional, cujo bloco de motor serviu de base para o desenvolvimento dos motores dos híbridos utilizados nos Civic Hybrid do estudo.



**Figura 4 – Honda Jazz o automóvel e o motor convencional de combustão interna [1].**

O Honda Civic IMA de 2003 é um automóvel híbrido em paralelo que tem um pequeno motor elétrico de baixa potência impossibilitando a condução somente em modo elétrico (figura 5). Este automóvel foi comercializado em alguns países com o nome de Honda Civic Hybrid, e será futuramente referenciado nesta tese como Civic Mild Hybrid para facilitar a identificação dos híbridos em estudo.



**Figura 5 - Honda Civic IMA de 2003 identificado como Civic Mild Hybrid [1].**

---

O Honda Civic Hybrid de 2006 é o automóvel híbrido em paralelo que tem um motor elétrico potente, permitindo a condução somente em modo elétrico (figura 6). Este automóvel será futuramente referenciado nesta tese como Civic Full Hybrid para facilidade de identificação dos híbridos em estudo.



**Figura 6 - Honda Civic Hybrid de 2006 identificado como Civic Full Hybrid [1].**

### **1.3. Contribuição da Tese**

O automóvel moderno é visto pela sociedade como uma forma de mobilidade necessária. No entanto o automóvel convencional é encarado como poluidor ao qual se exige medidas ambientais cada vez mais restritivas.

A vontade de alguns construtores em investir em tecnologias alternativas ao petróleo é apoiada pela sociedade em geral, mas a par das vantagens anunciadas pela utilização de veículos alternativos, como os híbridos, fica a dúvida da decisão de compra ser um dever moral, social ou um benefício real.

A tese pretende contribuir para o conhecimento do automóvel híbrido. Neste estudo é efetuado o enquadramento social da tecnologia do automóvel híbrido, as diferenças técnicas face ao automóvel convencional, a utilização real dos automóveis, e o compromisso de utilização exigido ao condutor para obtenção dos seus benefícios.

### **1.4. Organização da Tese**

A presente tese desenvolve-se em cinco capítulos, dos quais o presente constitui a introdução.

O capítulo dois apresenta o estado de arte do veículo híbrido, o sistema IMA, os seus componentes e funcionamento.

---

O capítulo três apresenta o caso de estudo, a descrição dos testes de consumo de combustível realizados, e a perspectiva de uma utilização real do automóvel convencional e híbrido, considerando diferentes condutores e perfis de velocidade.

Fatores como passividade e agressividade na condução, utilização do automóvel com conhecimento da sua tecnologia, foram levados em conta no capítulo quatro onde se apresenta os resultados obtidos.

As conclusões são apresentadas no capítulo cinco onde igualmente são efetuadas sugestões para um trabalho futuro.

---

# 2

## Estado da arte dos sistemas híbridos da Honda

---

## 2. Estado da arte dos sistemas híbridos da Honda

### 2.1. Introdução

Na Honda a tecnologia do automóvel híbrido, é conhecida como Integrated Motor Assist (IMA). O sistema híbrido utilizado tem a configuração híbrido em paralelo em que ambos os motores, elétrico e ICE, movimentam as rodas ao mesmo tempo.

Em 1999 o modelo Honda Insight foi o primeiro Honda a ser produzido em série com a tecnologia IMA [1]. O modelo Insight, ver figura 7, foi o híbrido utilizado para lançar a tecnologia IMA, criar imagem e conquistar mercado.



**Figura 7– Honda Insight [1].**

Na tabela 1 é possível observar as vendas por região e totais do Honda Insight desde o início de comercialização no Japão em Novembro de 1999 e do Civic Hybrid [7].

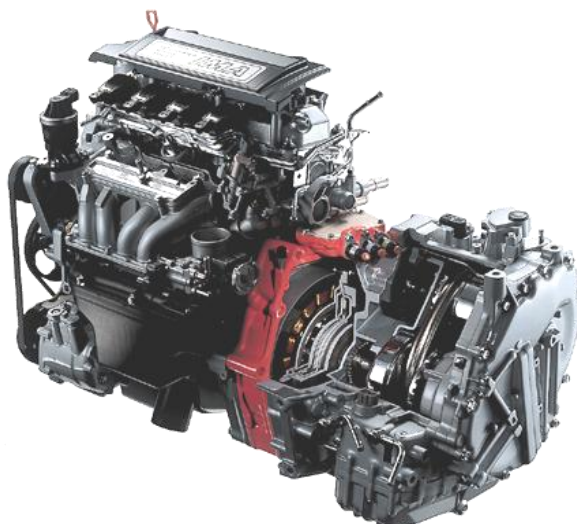
A aposta da Honda na tecnologia IMA e o reconhecimento da validade e fiabilidade da tecnologia permitiu atingir, doze anos e onze meses depois do lançamento do modelo Insight, um milhão de vendas acumuladas de veículos híbridos [8].

Modelo	Região	Ínicio das vendas	Acumulado de vendas	Percentagem de mercado
<b>Insight</b>				
	Japão	Novembro 99	2340	13,75%
	América do Norte	Dezembro 99	14288	83,95%
	Europa	Março 00	392	2,30%
<b>Total Insight</b>	<b>Global até</b>	<b>Setembro 06</b>	<b>17020</b>	<b>100%</b>
<b>Civic Hybrid</b>				
	Japão	Dezembro 01	22899	8,97%
	América do Norte	Março 02	191493	75,02%
	Europa	Maio 03	34757	13,62%
	Asia/Oceania	Fevereiro 04	5514	2,16%
	China	Novembro 07	280	0,11%
	Outros	Maio 06	306	0,12%
<b>Total Civic Hybrid</b>	<b>Global até</b>	<b>Janeiro 09</b>	<b>255249</b>	<b>100%</b>
<b>Total Honda Hybrid</b>	<b>Global até</b>	<b>Outubro 12</b>	<b>1000000</b>	

**Tabela 1- Honda Hybrid Vendas por Região [8].**

## **2.2. O conjunto motor combustão interna e o sistema híbrido**

O sistema híbrido IMA utiliza um motor elétrico AC síncrono trifásico do tipo “DC brushless”. Na figura 8 é possível identificar o motor elétrico IMA pintado a vermelho e localizado entre o motor de combustão e a caixa de velocidades [3].



**Figura 8 - Vista de conjunto: Motor de combustão interna, motor elétrico IMA, e transmissão de variação contínua CVT.**

---

O motor elétrico IMA é usado como uma fonte de energia suplementar durante a aceleração. Em desaceleração é utilizada a travagem regenerativa para carregar a bateria do sistema híbrido.

Para os Honda Civic Hybrid foram desenvolvidos motores novos baseados no motor Jazz de 4 cilindros com 1339 cm<sup>3</sup> de uma árvore de cames à cabeça (SOHC), ignição dupla e sequencial inteligente (i-DSI) e com 2 velas de ignição por cilindro. A utilização de 2 velas de ignição por cilindro do sistema i-DSI permite variar o avanço e tempo de ignição da vela de acordo com o regime de rotação de modo a obter uma queima mais lenta ou mais rápida do combustível injetado na câmara de combustão.

A cabeça destes novos motores é desenho exclusivo para os Civic Mild Hybrid e Civic Full Hybrid. Ambas as cabeças de motor incorporam o sistema de controlo eletrónico de abertura e elevação variável das válvulas (VTEC) com possibilidade de desativação de cilindros através do sistema de gestão variável dos cilindros (VCM).

### **2.2.1. Especificações do motor por modelo**

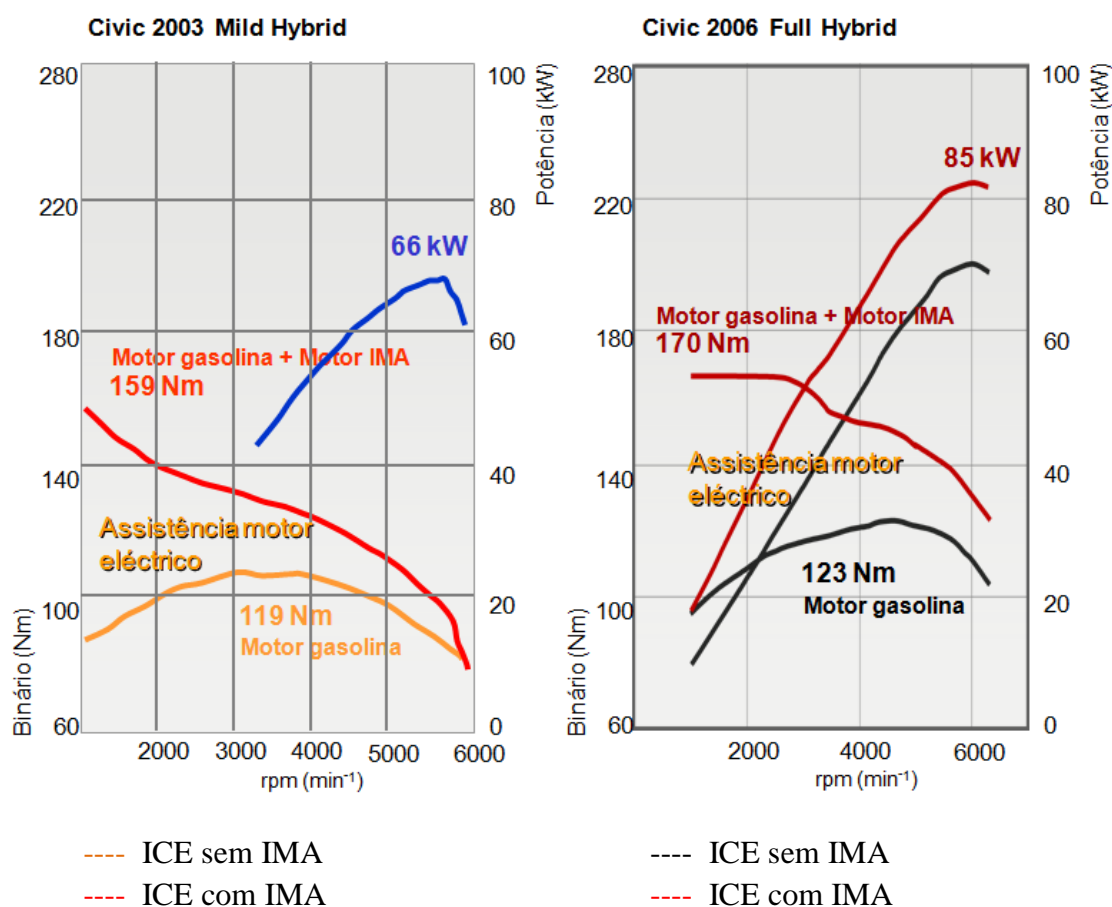
As especificações base do motor utilizado pelos três automóveis em estudo estão resumidas na tabela 2 [9]. De notar que as especificações comuns do motor de combustão interna, da relação de compressão, do sistema de ignição i-DSI, do sistema de injeção de combustível (PGM-Fi) e catalisador de três vias.

Modelo	Jazz 2002	Civic 2003 Mild Hybrid	Civic 2006 Full Hybrid
Motor	Motor a gasolina arrefecido a água, 4 tempos SOHC i-DSI Disposição dos cilindros 4 em linha, transversal Diâmetro e curso 73,0 mm x 80,0 mm Cilindrada 1339 cm <sup>3</sup>		
Potência máxima (sem IMA)	61 Kw, 83 CV às 5700 rpm (sem IMA)	63 Kw, 86 CV às 5700 rpm (sem IMA)	70 Kw, 95 CV às 6000 rpm (sem IMA)
Binário máximo (sem IMA)	119 Nm às 2800 rpm (sem IMA)	119 Nm às 3300 rpm (sem IMA)	123 Nm às 4500 rpm (sem IMA)
Potência máxima (com IMA)	0 Kw, 0 CV (com IMA)	66 Kw, 90 CV às 5700 rpm (com IMA)	85 Kw, 115 CV às 6000 rpm (com IMA)
Binário máximo (com IMA)	0 Nm (com IMA)	159 Nm às 1000 rpm (com IMA)	170 Nm às 2500 rpm (com IMA)
Relação de compressão 10,8:1	Relação de compressão 10,8:1		
Cabeça do motor	Cabeça do motor, SOHC, 2 válvulas por cilindro	SOHC, 2 válvulas por cilindro com VTEC VCM e CIS	SOHC, 2 válvulas por cilindro com i-VTEC VCM e CIS
Sistema de Ignição	Sistema de Ignição; i-DSI Ignição dupla e sequencial		
Sistema de alimentação de gasolina	Sistema de alimentação de gasolina; PGM-FI Injecção electrónica multi-ponto		
Combustível	Combustível; gasolina SEM CHUMBO com índice de octano 95 ou superior		
Consumo combinado de combustível	5,7 l/100km ( UDC + EUDC )	4,9 l/100km ( UDC + EUDC )	4,6 l/100km ( UDC + EUDC )
Catalizador de 3 vias	Catalizador de 3 vias, platina, paládio e ródio		
Emissões de CO2	134 g CO2/100 km	116 g CO2/100 km	109 g CO2/100 km
Tara	980 kg	1260 kg a 1280 kg de acordo com opção de equipamento	1297 kg a 1324 kg de acordo com opção de equipamento

**Tabela 2 – Especificações do motor por modelo [9].**

O redimensionamento dos motores (*downsizing*, na literatura inglesa), a diminuição da cilindrada e tamanho do motor, é eficaz na redução do consumo de combustível mas afeta os desempenhos e agradabilidade de utilização do veículo. Para que o utilizador aceite uma nova tecnologia como a híbrida, que utiliza um ICE de baixa cilindrada, os resultados de desempenho e agradabilidade de condução do veículo são muito importantes. A correta gestão de funcionamento do conjunto ICE e IMA são fundamentais para atingir o objetivo de satisfação do utilizador.

A figura 9 mostra os comparativos das curvas características de potência e binário motor para o Civic Mild Hybrid à esquerda e para o Civic Full Hybrid à direita [10].



**Figura 9 - Características de potência e binário [10].**

Para o Civic Mild Hybrid a curva de binário, a laranja, corresponde ao binário do ICE sem a contribuição do IMA com 119 Nm às 3300 rpm, e a vermelho é a correspondente ao ICE e IMA a trabalharem em conjunto com 159 Nm às 1000 rpm.

Para o Civic Full Hybrid a curva de binário, a preto, corresponde ao binário do ICE sem a contribuição do IMA com 123 Nm às 4500 rpm, e a vermelho é a correspondente ao ICE e IMA a trabalharem em conjunto com 170 Nm às 2500 rpm.

---

Analisando os gráficos importa referir o acréscimo de binário, em 40 Nm para o Civic Mild Hybrid e 47 Nm para o Civic Full Hybrid, pela utilização conjunta do ICE e do IMA.

### 2.2.2. Redução de atrito do motor do Civic Mild Hybrid e do Civic Full Hybrid

Ao bloco do motor do Jazz foram adicionadas algumas tecnologias de redução de atrito e peso, tais como o polimento em "planalto" dos cilindros que reduz o nível de atrito e as paredes do cilindro com camisas finas, respetivamente.

O polimento em "planalto" dos cilindros é uma operação realizada em duas etapas. Na primeira etapa o polimento é rugoso, como mostra a figura 10, recorrendo a pedras de polir macias e de grão aberto.

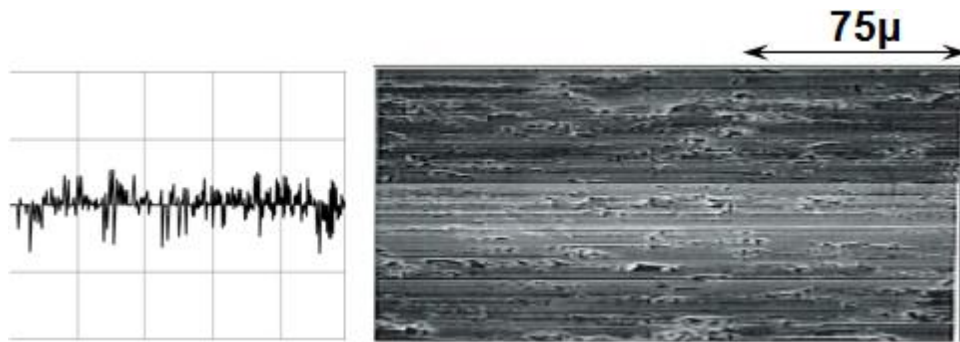


Figura 10 - Polimento em "planalto" polimento rugoso [10].

Na segunda etapa, o polimento de acabamento é efetuado com uma pedra de polir fina permitindo o acabamento como mostra a figura 11.

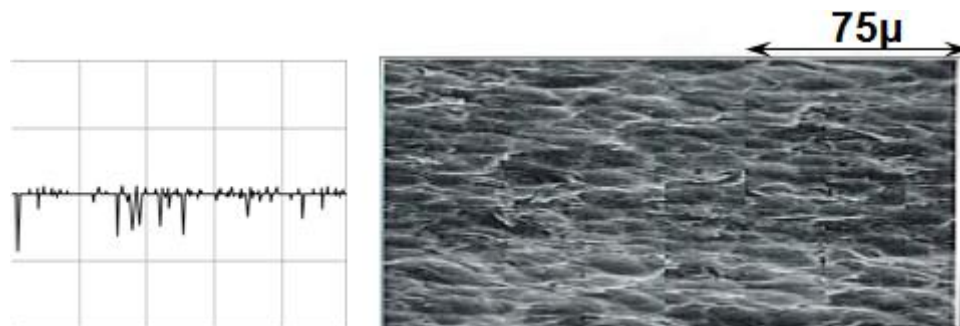


Figura 11 - Polimento de acabamento [10].

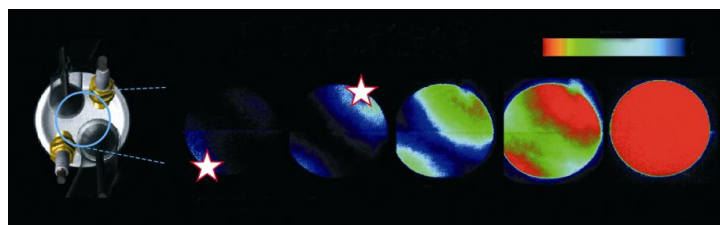
As profundidades da superfície polida retêm o óleo e asseguram uma lubrificação adequada em todas as condições de funcionamento.

---

O polimento em “planalto” e consequente polimento de acabamento consegue uma redução de 8% em atrito a 1500 rpm.

### 2.2.3. Redução de consumo específico de combustível

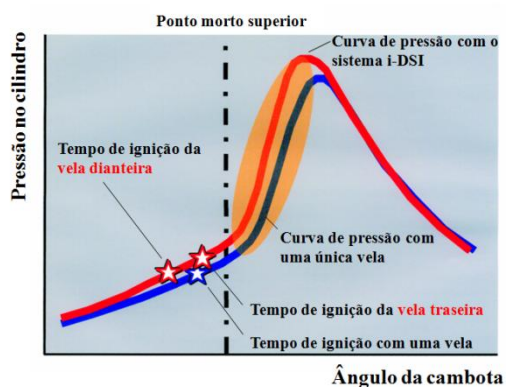
O conceito de combustão adotado pelo motor do Jazz i-DSI que utiliza duas velas por cilindro com pontos de ignição de controlo individual é também utilizado para os Civic Hybrid. A utilização de duas velas reduz o tempo de dispersão da chama, enquanto o controlo do ponto assegura a melhor combustão como se observa na figura 12. A mistura homogénea de ar-combustível permite obter baixas emissões de gases poluentes, elevada potência e baixo consumo de combustível.



**Figura 12 - Propagação e temperatura da frente de chama com a ignição sequencial [11].**

A redução do consumo específico de combustível resulta de valores maiores da taxa de compressão e redução de atrito nos componentes móveis do motor. Para aumentar a taxa de compressão do motor, o desenho da câmara de combustão combinado com a utilização do sistema i-DSI permite uma maior eficiência térmica com pressão de combustão mais elevada e consequentemente diminuição de emissões [11].

Na figura 13 é analisado o acréscimo da pressão máxima no cilindro com a utilização do sistema i-DSI, sendo visível na curva a vermelho, o aumento da pressão máxima com a utilização das duas velas do sistema i-DSI, quando comparada com a curva a azul obtida com a utilização de uma só vela.



**Figura 13 - Acréscimo da pressão máxima no cilindro com o sistema i-DSI [11].**

---

## 2.2.4. Sistema de desativação dos cilindros

A característica comum aos Civic Hybrid é o sistema de desativação dos cilindros (CIS).

Associado ao sistema de acionamento das válvulas VTEC o CIS permite em desaceleração, imobilizar as válvulas de admissão e escape em posição ligeiramente abertas. A abertura ligeira das válvulas, em conjunto com o corte de combustível em desaceleração, vai permitir diminuir o esforço do pistão, que deixa de comprimir, permitindo à cambota rodar mais solta.

O motor elétrico IMA dos Civic Hybrid, que também atua como gerador elétrico em desaceleração, está ligado diretamente à cambota do ICE. A diminuição do esforço do pistão e cambota quando o CIS está atuado, permite que o gerador produza o máximo de energia possível no menor espaço de tempo para carregar as baterias. Com a acumulação da energia regenerada, existe energia disponível para assistência do ICE durante a aceleração, resultando assim na diminuição do consumo de combustível.

Assim sendo, a utilização do CIS reduz o atrito de funcionamento do ICE e permite ao motor elétrico IMA recuperar o máximo possível de energia durante a desaceleração do veículo cumprindo o principal objetivo da travagem regenerativa.

### 2.2.4.1. O sistema de desativação dos cilindros no Civic Mild Hybrid

O CIS no Civic Mild Hybrid, é um sistema que imobiliza o funcionamento das válvulas de admissão e escape em 3 dos 4 cilindros. A utilização do CIS somente em 3 cilindros impossibilita a utilização independente do sistema elétrico de tração deste veículo classificando-o em híbrido mínimo.

Com o acelerador totalmente fechado, o CIS conjuntamente com o corte de combustível em desaceleração, possibilita que os pistões se movam mais livremente dentro dos cilindros. A redução em 50% do atrito por bombagem (*pumping loss*, na literatura inglesa) que anteriormente travava o ICE, é utilizado pelo motor elétrico IMA para carga de energia na desaceleração do veículo. Com a acumulação da energia regenerada, existe energia disponível para assistência do ICE durante a aceleração, resultando na diminuição do consumo de combustível.

Em condições de desaceleração com o acelerador totalmente fechado o atrito por bombagem do ICE é reduzido em aproximadamente 50% pelo CIS como se pode ver na figura 14.

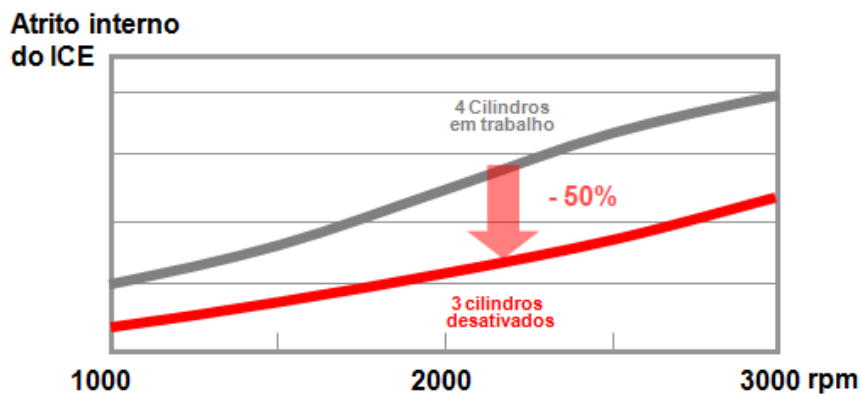


Figura 14 - Redução em 50% do atrito por bombagem pela utilização do CIS [12].

Na figura 15 é possível observar o acréscimo de 20% em energia regenerada pela redução em 50% do atrito por bombagem do motor de combustão interna. A energia regenerada pelo motor de combustão sem o CIS passa de 37% para 57% no mesmo motor de combustão com o CIS a funcionar.

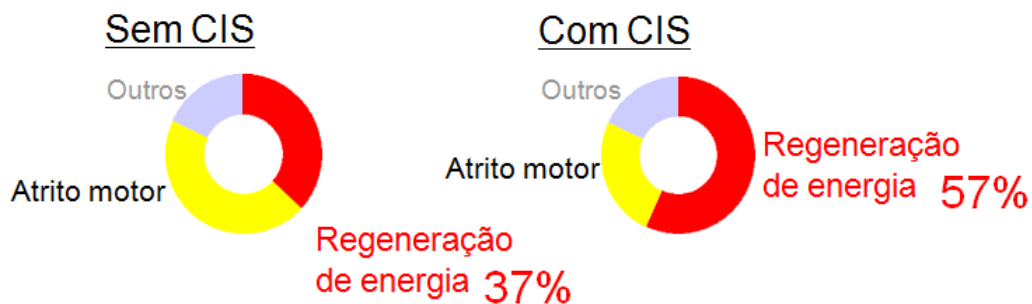


Figura 15 - Influência do atrito por bombagem do ICE na energia regenerada [12].

O CIS utiliza a tecnologia Honda VTEC com pistões sincronizadores que entram e saem dos balanceiros por intermédio da pressão do óleo. A pressão de óleo para os balanceiros, é controlada por uma electroválvula de 3 vias, que direciona o óleo, para os pistões sincronizadores e conseqüentemente a entrada e saída de funcionamento do CIS.

A figura 16 mostra a configuração do CIS e o circuito hidráulico de acionamento no VTEC de 2 estágios. As duas passagens de óleo controladas pela electroválvula estão representadas na cor amarela e rosa.

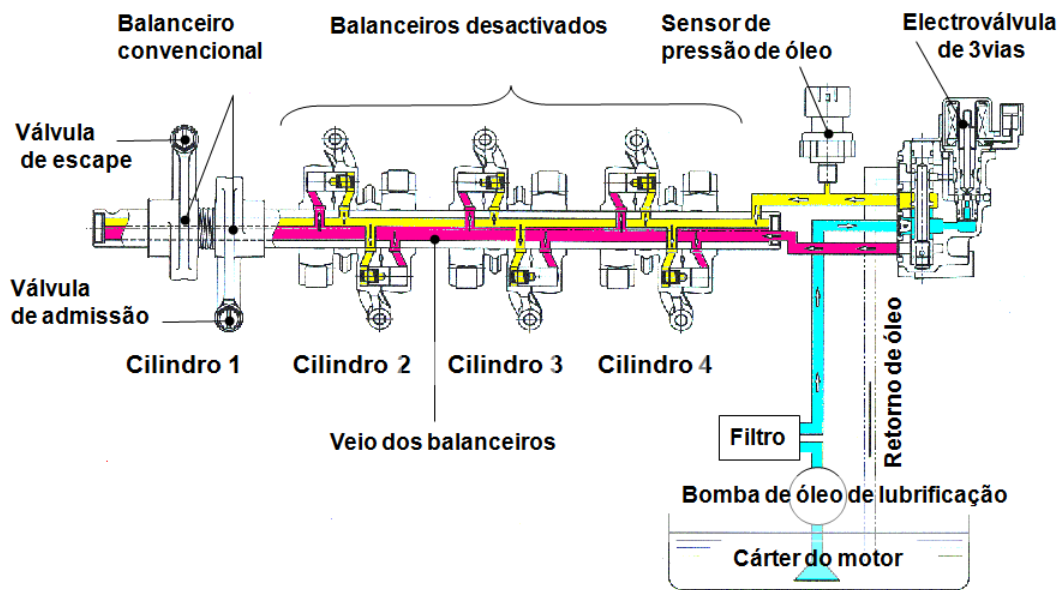


Figura 16 - Configuração do CIS e circuito hidráulico de acionamento no VTEC de 2 estágios [12].

Em funcionamento normal as came de admissão e escape impulsionam os balanceiros. Os balanceiros são constituídos por duas metades, uma acionada pela came e a outra fixa à válvula, como se pode ver na figura 17. As duas metades do balanceiro são unidas por um pistão, que é empurrado e mantido em posição pela pressão de óleo a amarelo. O balanceiro trancado pelo pistão consegue transmitir o movimento da came às válvulas de admissão e escape abrindo-as e fechando-as.

A electroválvula ao ser ativada pelo CIS comuta a pressão de óleo, a amarelo na figura 16, para pressão de óleo representada a cor de rosa destrancando os balanceiros dos cilindros 2, 3, e 4 que deixam de transmitir o movimento das came às válvulas.



Figura 17 - CIS e construção dos balanceiros atuadores das válvulas [13].

O cilindro 1 nunca é desbloqueado por razões de comando do ICE impossibilitando o veículo ser conduzido exclusivamente em modo elétrico e esta é a razão da atribuição da classificação híbrido mínimo para este Civic.

As condições de funcionamento para o sistema de desativação dos cilindros CIS do Civic Mild Hybrid estão descritas na tabela 3.

CIS Condições de funcionamento Civic Mild Hybrid	
Rpm do motor	900 - 3.200 rpm
Velocidade com acelerador fechado	24 - 130 km/h
Temperatura do óleo	25 - 110° C
Temperatura do líquido de arrefecimento	20 - 110° C
Temperatura do ar da admissão	10° C ou mais
Pressão absoluta no coletor de admissão	28 kPa – 80 kPa
Pressão atmosférica	561 - 770 mmHg
Estado de carga SOC do IMA	30 - 55 %
Temperatura da bateria IMA	0 - 45° C
Tensão da bateria	10,5 V ou mais

Tabela 3 –Condições de funcionamento para o CIS no Honda Civic Mild Hybrid.

Note-se que só com todas as condições de funcionamento presentes a electroválvula do CIS comuta de estado para ON, desbloqueando o balanceiro. De referir que o CIS está ativo com corte de combustível em desaceleração até aos 24 km/h. Abaixo dos 24 km/h o CIS passa a desativo, passando o motor a trabalhar normalmente com os 4 cilindros.

A figura 18 mostra cinco etapas da condução do Civic Mild Hybrid e a influência na diminuição de velocidade do automóvel pela entrada em funcionamento do corte de combustível, regeneração de energia, entrada em funcionamento do CIS e utilização do travão.

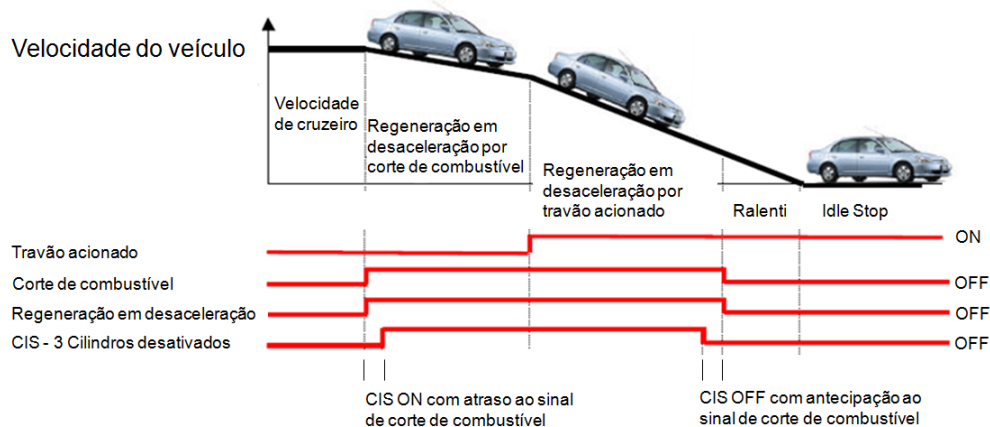


Figura 18 - Condições de funcionamento em cinco etapas de condução no Civic Mild Hybrid [14].

---

A primeira etapa corresponde ao funcionamento normal do automóvel em velocidade de cruzeiro.

A segunda etapa mostra a influência da entrada em funcionamento do corte de combustível em desaceleração, simultâneo com o efeito magnético do motor elétrico para regeneração de energia provocando uma ligeira diminuição de velocidade. Na segunda etapa é visível uma decalagem de tempo entre o início da regeneração, e a entrada em funcionamento do CIS. O início da regeneração produz um efeito de travão motor, por geração de campo magnético, com o funcionamento do motor elétrico IMA. A entrada em funcionamento do CIS solta subitamente o carro, porque diminui o atrito de motor causando uma sensação desagradável de escorregamento, com consequente aumento de velocidade por se encontrar a descer. O objetivo da decalagem de tempo, é evitar que o utilizador desprevenido se assuste, com o efeito súbito de escorregamento originado pela entrada em funcionamento do CIS.

A terceira etapa mostra uma acentuada perda de velocidade com a utilização do travão. O CIS é desativado por antecipação à paragem do motor de combustão interna. Como se pode ver na figura 18, ao desativar o CIS por antecipação à paragem do motor de combustão interna, o arranque após a paragem automática ao ralenti (*idle stop*, na literatura inglesa) encontra-se facilitado com rápida identificação dos cilindros e do ponto morto superior necessário para o comando da injeção e ignição.

A quarta etapa mostra a continuidade na utilização do travão e com a aproximação da imobilização do automóvel o motor elétrico deixa de efetuar a regeneração de energia e o sistema de injeção de combustível começa a funcionar.

A quinta etapa refere-se à condição de paragem automática do ICE ao ralenti onde nesta situação o motor de combustão está num modo adormecido pronto a funcionar, bastando carregar na embraiagem para que o ICE arranque embalado pelo motor elétrico IMA sem necessidade de motor de arranque auxiliar.

#### **2.2.4.2. O CIS no Honda Civic Full Hybrid**

O CIS no Civic Full Hybrid é um sistema que imobiliza o funcionamento das válvulas de admissão e escape nos 4 cilindros. A utilização do CIS nos 4 cilindros permite a utilização do sistema elétrico de tração independente do ICE classificando-o em híbrido total.

O CIS em conjunto com melhorias de atrito interno do motor permite passar a redução do atrito por bombagem, dos 50% do Civic Mild Hybrid para os 66% no Civic Full Hybrid como se pode verificar na figura 19.

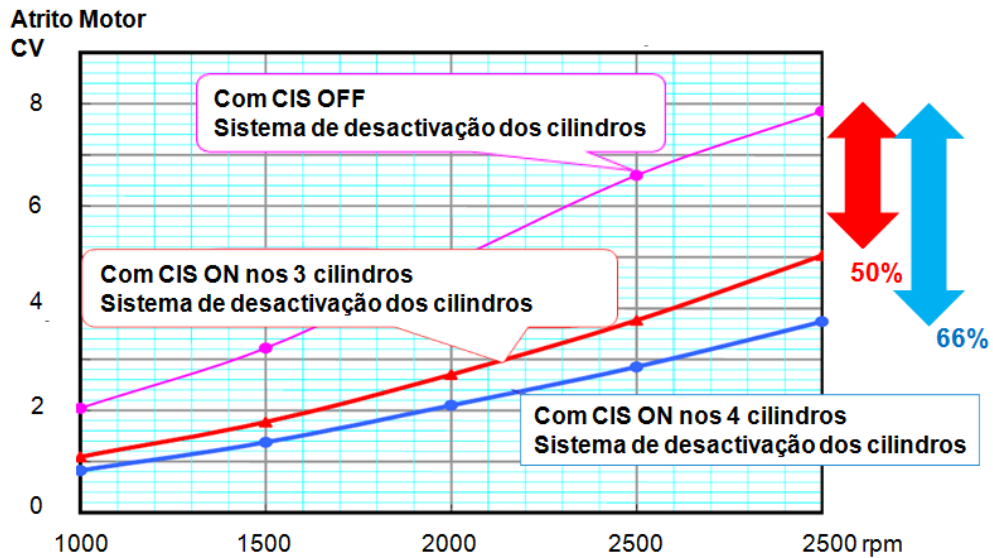


Figura 19 - Redução do atrito por bombagem pela utilização do CIS nos 4 cilindros do Civic Full Hybrid [10].

Alguns sistemas como o servo freio hidráulico, o compressor do A/C híbrido, elétrico e mecânico foram alterados para que em conjunto com a redução do atrito interno do motor de combustão, reduzam as perdas do motor e o consumo de combustível.

A figura 20 mostra o acréscimo de 28% em energia elétrica regenerada pelo motor elétrico IMA, passando dos 38% para os 66%, quando o CIS entra em funcionamento.

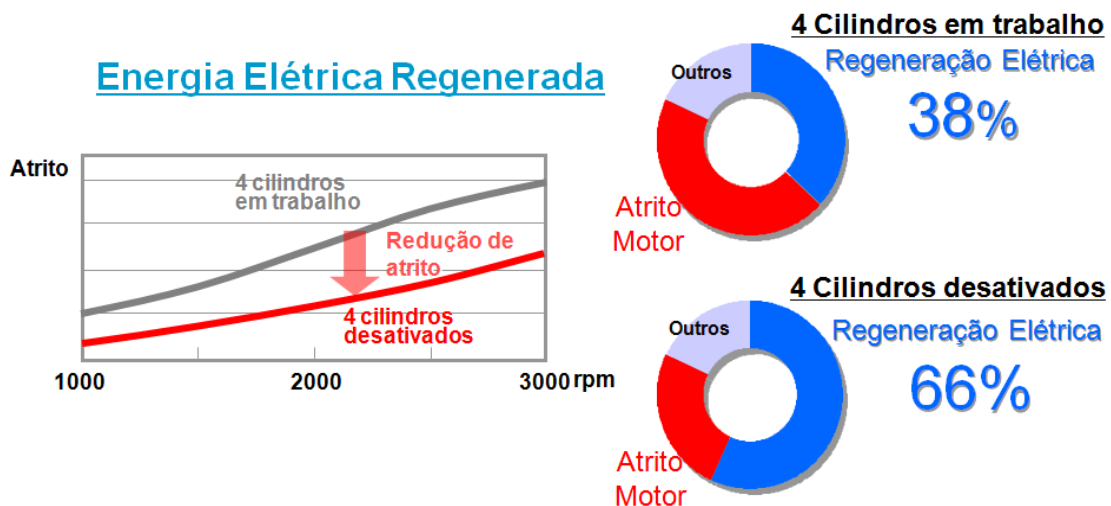


Figura 20 – Influência do atrito por bombagem do ICE, na energia regenerada [10].

A entrada em funcionamento do CIS solta o ICE por redução de atrito interno que passa de 66% para 38%. A ligação mecânica entre a cambota do ICE e o motor elétrico IMA permite estabelecer uma relação direta entre a redução de atrito de 28% e a disponibilidade do motor elétrico IMA para regenerar mais energia em desaceleração sendo neste caso um acréscimo de 28% de energia regenerada.

A configuração do sistema de controlo eletrónico de abertura e elevação variável das válvulas inteligente (i-VTEC), visível na figura 21, combina o sistema de desativação dos cilindros CIS com o VTEC para o Civic Full Hybrid.

O sistema i-VTEC é utilizado para os quatro cilindros e apesar de mais complexo que o CIS utiliza de igual forma pistões sincronizadores para bloquear e desbloquear os balanceiros permitindo transmitir ou imobilizar o movimento da árvore de cames às válvulas.

Observando a figura 21 é possível identificar por cilindro três cames de admissão com um balanceiro construído por três elementos e duas cames de escape com um balanceiro construído por dois elementos.

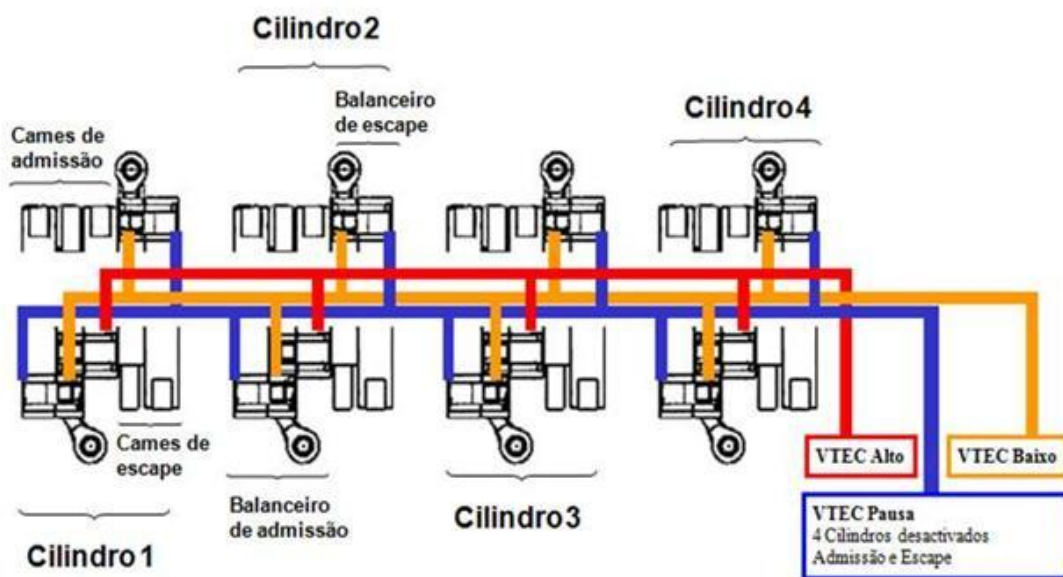


Figura 21 - Configuração do sistema i-VTEC 3 estágios combinando o CIS com o VTEC [15].

O funcionamento normal do ICE é garantido com a posição VTEC Baixo que direciona a baixa pressão hidráulica, representada a amarelo, para os balanceiros trancando-os e permitindo utilizar a came de perfil médio da admissão e de perfil médio do escape.

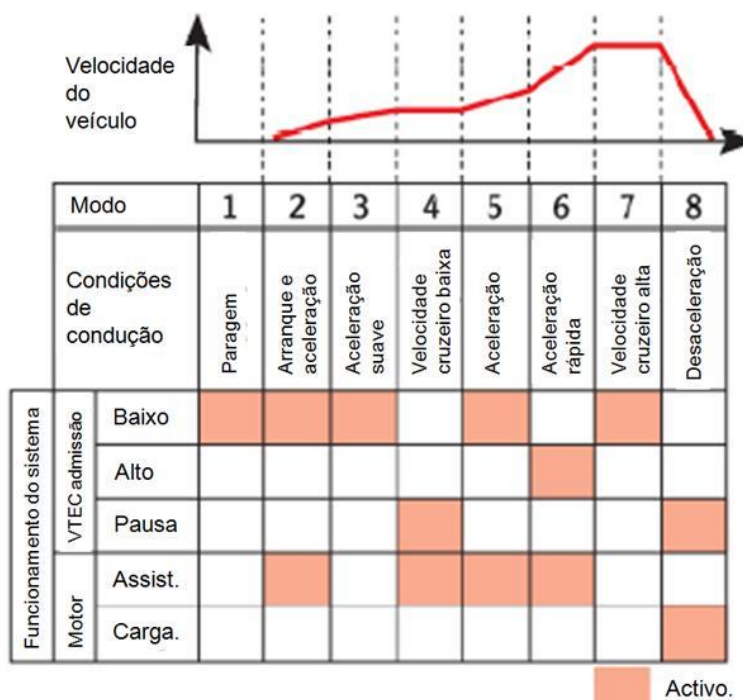
Se for pedido uma condução mais rápida, maior que 4600 rpm, a posição VTEC Alto direciona a alta pressão hidráulica, representada a vermelho, para os balanceiros da admissão trancando-os e permitindo utilizar a came de perfil maior da admissão e de

perfil médio do escape, possibilitando uma maior abertura da válvula de admissão para entrada de mais ar e consequentemente maior potência.

A posição VTEC Pausa, corresponde à situação de CIS em que a pressão de óleo, representada a azul, permite destrancar os balanceiros de admissão e escape dos cilindros 1, 2, 3, e 4 que deixam de transmitir o movimento das cames às válvulas. Nesta situação, o modo de funcionamento é de condução em modo elétrico até 50 km/h. A condução unicamente em modo elétrico atribui a classificação híbrido total para este Civic.

As três posições descritas anteriormente, VTEC Baixo, VTEC Alto e VTEC Pausa resultam do funcionamento combinado de 2 electroválvulas que direccionam a pressão do óleo através de três passagens existentes no veio dos balanceiros e que permitem ao automóvel funcionar em 8 modos distintos de funcionamento.

Na figura 22 é possível identificar, os 8 modos de funcionamento do veículo com a utilização isolada do motor de combustão interna. No modo 3 de aceleração, corresponde a uma aceleração suave e no modo 7 corresponde a uma velocidade de cruzeiro alta. A utilização conjunta do ICE e motor elétrico IMA no modo 2, que corresponde a uma situação de arranque e de aceleração, no modo 5 equivale a apenas a aceleração e no modo 6 a aceleração rápida e a utilização isolada do motor elétrico IMA no modo 4 que corresponde a uma velocidade de cruzeiro baixa, enquanto no modo 8 equivale a uma desaceleração.



**Figura 22 – Os 8 modos de funcionamento obtidos através da ativação combinada das 2 electroválvulas [10].**

As condições de funcionamento para o CIS do Honda Civic Full Hybrid estão descritas na tabela 4, onde se destaca as condições de rotação do ICE inferiores a 3200 rpm.

CIS Condições de funcionamento Civic Full Hybrid	
Rpm do motor	< 3.200 rpm
Velocidade com acelerador fechado	12 - 130 km/h
Temperatura do óleo	25 - 110° C
Temperatura do líquido de arrefecimento	70 - 110° C
Temperatura do ar da admissão	10° C ou mais
Pressão absoluta no coletor de admissão	28 kPa – 80 kPa
Pressão atmosférica	> 439 mmHg
Estado de carga SOC do IMA	30 - 55 %
Temperatura da bateria IMA	0 - 45° C
Tensão da bateria	10,5 V ou mais

Tabela 4 – Condições de funcionamento para o CIS no Civic Full Hybrid [15].

### 2.3. O sistema IMA e a gestão de energia nos Civic Hybrid

O sistema IMA é constituído por 3 subsistemas identificados na figura 23.

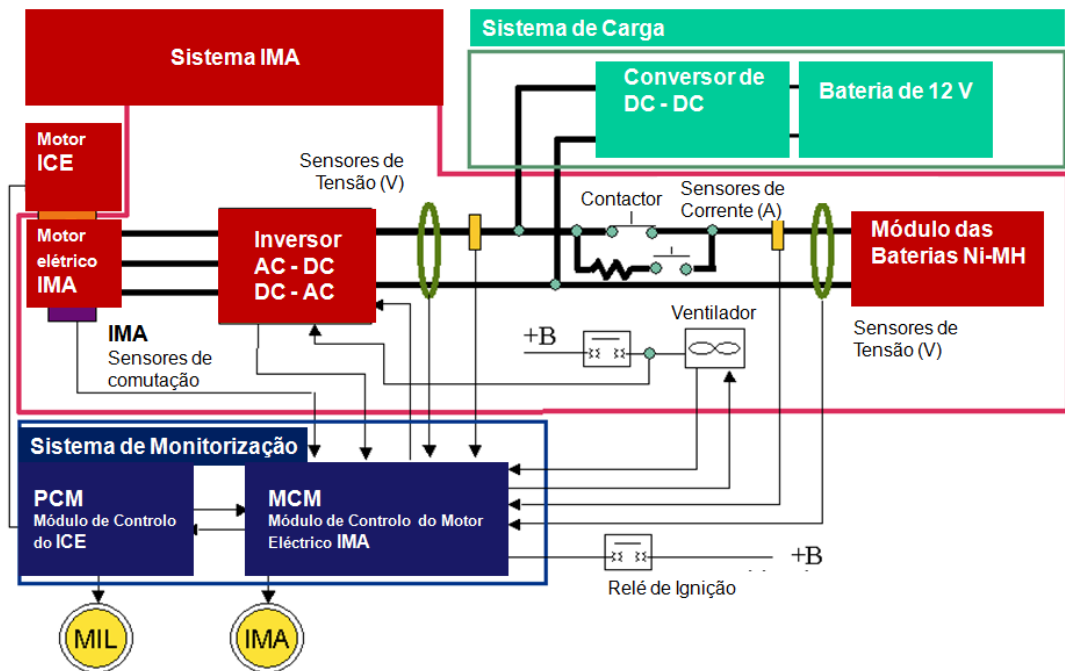


Figura 23 - Constituição do sistema IMA [15].

O sistema IMA de alta tensão representado a vermelho na figura 23, é composto pelo motor elétrico IMA, a unidade inteligente de potência (IPU) com, um Inversor AC - DC e a bateria de Níquel - Metal Hidreto (Ni-MH).

O sistema de carga representado a verde é formado por um conversor DC - DC e uma bateria de 12 V.

O sistema de monitorização, representado a azul, utiliza um módulo de controlo do motor de combustão interna (PCM) e um módulo de controlo do motor elétrico IMA (MCM).

### 2.3.1. O motor elétrico IMA



Figura 24 - Motor elétrico IMA “DC Brushless” [15].

O motor elétrico IMA utilizado nos Civic Hybrid possibilita funcionar como motor e gerador, ver figura 24. Como motor acresce potência, binário e aceleração a baixos e médios regimes de rotação, e como gerador em travagem regenerativa produz energia elétrica. As especificações do motor elétrico IMA encontram-se na tabela 5.

Especificações do motor elétrico IMA	Civic Mild Hybrid	Civic Full Hybrid
Motor AC síncrono trifásico sem escovas	DC Brushless	DC Brushless
Ímanes permanentes em neodýmium	12	12
Ímanes permanentes à superfície SPM	SPM de 160 A	—
Ímanes permanentes internos IPM	—	IPM de 187 A
Bobinas U,V,W	18	18
Sensores A,B,C	3	3
Potência como Motor	10,0 Kw (13,6 CV) das 2500 às 4000rpm	15,0 Kw (20,4 CV) das 2500 às 4000rpm
Potência como Gerador	13,4 Kw (18,21 CV) às 2000rpm	15,5 Kw (21,1 CV) às 2000rpm
Binário Motor	61,7 Nm às 1000 rpm	103 Nm às 1000 rpm
Binário Gerador	108 Nm às 2000 rpm	123 Nm às 2000 rpm

Tabela 5 – Especificações do motor elétrico IMA.

## Alterações para permitir utilizar o motor elétrico IMA como híbrido total

O motor elétrico IMA utilizado no Civic Full Hybrid teve como base o do Civic Mild Hybrid apesar de modificado, para permitir uma condução exclusivamente em modo elétrico. As modificações permitiram reduzir perdas e volume do motor elétrico como mostra a figura 25.

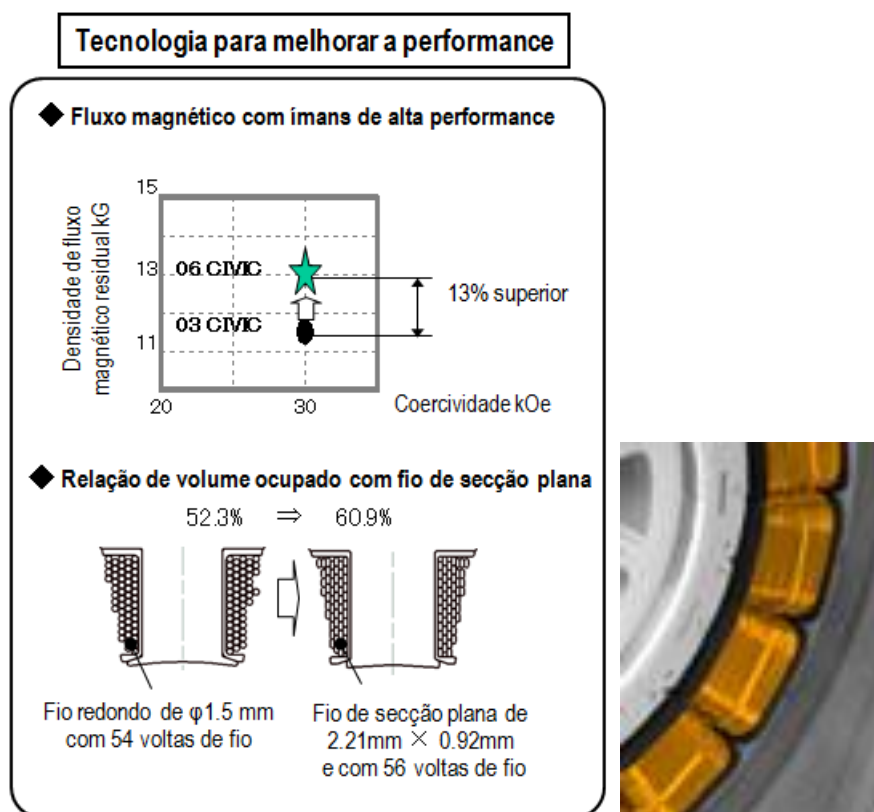


Figura 25 - Tecnologias para melhorar o desempenho do Motor IMA do Civic Full Hybrid [15].

A redução de perdas do motor elétrico é conseguida com o aumento da relação de volume ocupado pelas bobinas que passa de 52,3% para 60,9%. O aumento da relação de volume é conseguido mantendo o tamanho original da bobina utilizando o método de enrolamento assimétrico, e utilizando um fio de secção plana de 2,21 mm por 0,92 mm e com 56 voltas em vez do anteriormente utilizado de secção redonda com fio de 1,5 mm de diâmetro e 54 voltas.

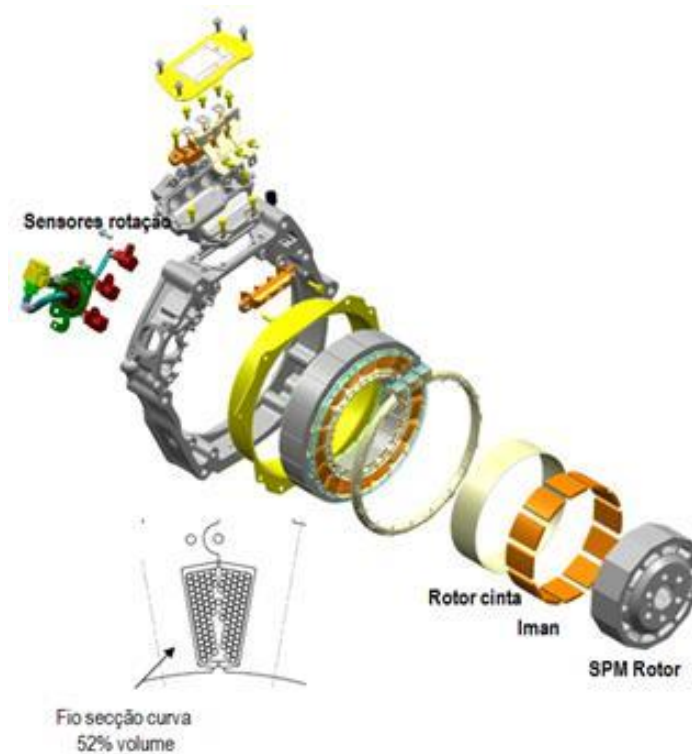
O rotor do motor elétrico IMA tem a função de fixar os ímãs ao perímetro envolvente do rotor, criar campos eletromagnéticos, e ter força para transferir binário à cambota. O

---

método de construção do rotor foi alterado para permitir a utilização de ímanes de fluxo magnético residual superior em 13% sem aumentar o tamanho do rotor.

Os ímanes do rotor, em neodímio são de elevada densidade de fluxo magnético e resistência ao calor tornando desnecessário um sistema de arrefecimento. A fixação dos ímanes ao rotor utilizada no Civic Mild Hybrid é feita por colagem ao rotor segundo o método de ímanes permanentes à superfície (SPM) (*Surface Permanent Magnet* na literatura inglesa) e seguidamente envoltos numa cinta de fibra garantindo a sua fixação ao rotor.

A figura 26 mostra uma vista explodida do motor elétrico IMA sendo possível identificar os componentes do estator e rotor SPM.



**Figura 26 - Construção de estator e rotor SPM [15].**

Para aumentar as prestações do motor elétrico do Civic Full Hybrid foi utilizado um novo método de produção do rotor chamado método de fundição por cera perdida. Este novo método de fundição de precisão utilizado especialmente para complicadas formas 3-D possibilita o fabrico de componentes mais leves, diminuição de etapas do processo de fabrico, com redução do custo de produção e aumento do grau de flexibilidade do desenho [16].

O novo desenho do rotor possibilitou a fixação por entalhe dos ímanes permanentes internos (IPM) (*Internal Permanent Magnet*, na literatura inglesa) aumentando a eficiência do motor elétrico IMA em 3%, o binário em 30% e a potência em 46%.

---

A figura 27 mostra uma vista explodida do motor elétrico IMA sendo possível identificar os componentes do estator e rotor IPM.

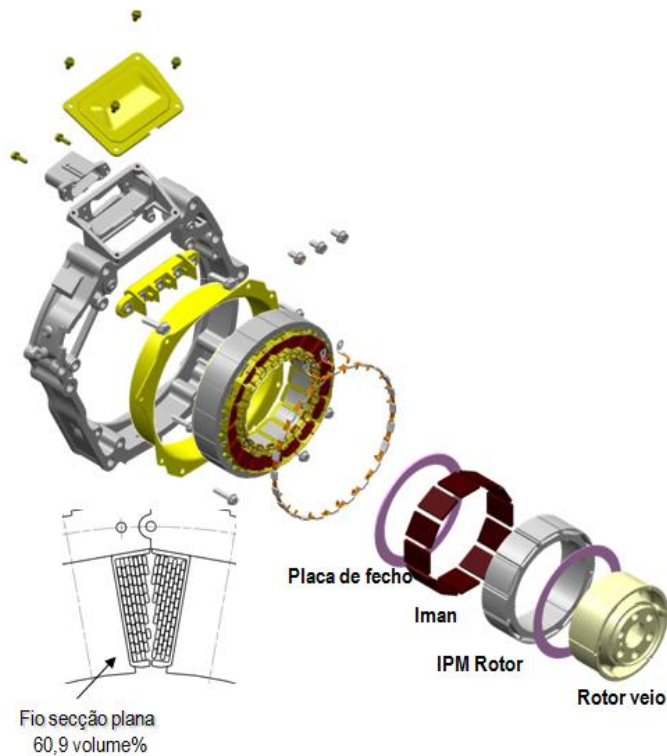


Figura 27 - Construção de estator e IPM rotor [15].

### 2.3.2. A unidade inteligente de potência

Os componentes de alta tensão estão todos fixados na unidade inteligente de potência (IPU) situada na traseira do veículo, ver figura 28.

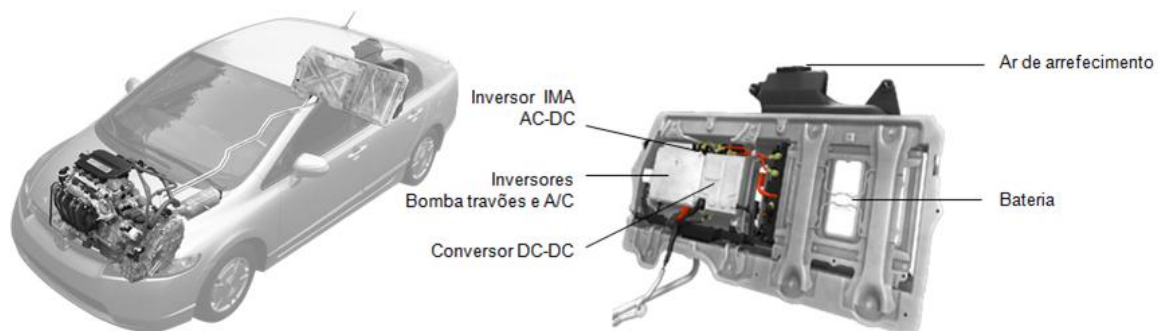


Figura 28 - A unidade inteligente de potência [15].

O desenho da IPU permitiu ser montada, tipo mochila, atrás dos bancos traseiros e ligada através de três cabos de corrente alterna trifásica. A energia elétrica produzida

---

pelo motor elétrico IMA como gerador, e a energia acumulada na bateria para fornecer ao motor elétrico IMA como motor, circula nestes cabos bem isolados e identificados a laranja na figura 28.

No interior da IPU, encontram-se os seguintes componentes:

- Módulo de Controlo do Motor Elétrico (MCM)
- Conjunto Inversor da Potência do Motor Elétrico (MPI)
- Módulo das Baterias
- Conversor DC-DC
- Ventoinha do Módulo de Controlo da Potência do Motor Elétrico
- Interruptor de segurança do Módulo das Baterias

O conjunto Inversor AC-DC de 158 V utiliza 6 transístores bipolar de porta isolada (IGBTs) responsáveis pela conversão de corrente alterna em contínua e vice versa, e 3 grandes condensadores de 600 volt e 458  $\mu$ F.

O conjunto do módulo das baterias é composto por um único volume de baterias de Ni-MH ligadas em série como se pode observar na figura 30.

A tabela 6 mostra as especificações da bateria de Ni-MH utilizada nos Civic Hybrid.

Bateria do sistema IMA	Civic Mild Hybrid	Civic Full Hybrid
Tipo de bateria	Ni - MH	Ni - MH
Tensão	144 V	158 V
Capacidade	6,0 Ah	5,5 Ah
Número de Células	120	132
Tensão da Célula	1,2 V	1,2 V
Fabricante	PEVE	Matsushita
Dimensões	410x310x163 (20.7 L)	401.5x265.5x172(18.3 L)
Peso	28.9 kg	31.4 kg

**Tabela 6 – Bateria do sistema IMA.**

A bateria de Ni-MH, comparada com a bateria de iões de Lítio e com a convencional de Ácido Chumbo apresenta como principais características a fiabilidade e estabilidade de tensão de saída na faixa de SOC utilizável (*State of Charge*, na literatura inglesa).

A figura 29 mostra o comportamento da tensão para os 3 tipos de bateria para SOC compreendido entre o cheio e vazio, valores que protegem a bateria evitando danos por sobrecarga e subcarga.

A bateria de Ni-MH apesar de apresentar valores de tensão muito estáveis, denota uma ligeira queda de tensão ao aproximar-se do valor de SOC vazio, limitando nesta altura a assistência dos automóveis híbridos como será explicado à frente.

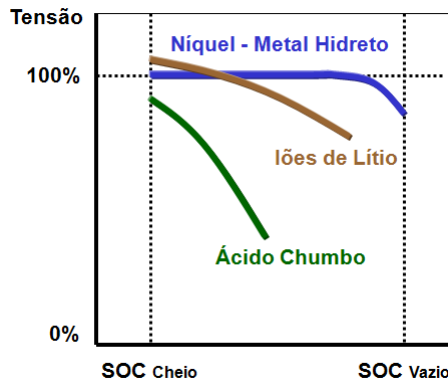


Figura 29 - Características da tensão de saída das baterias [15].

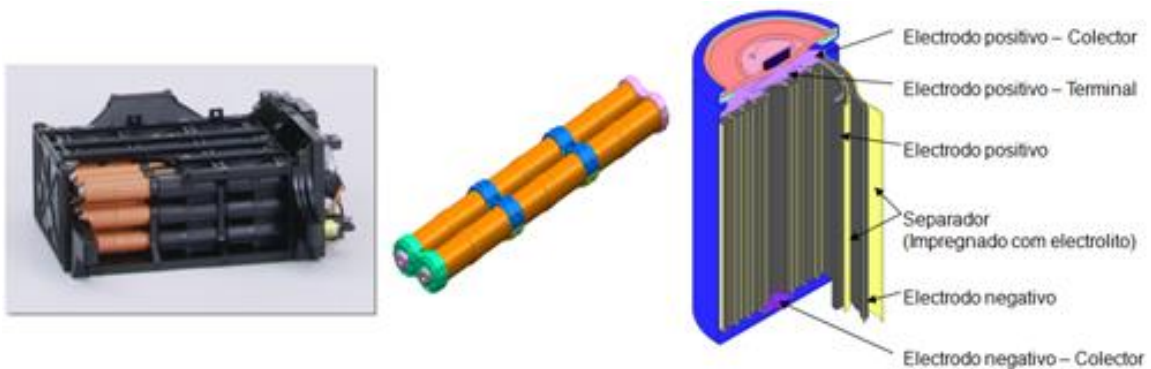
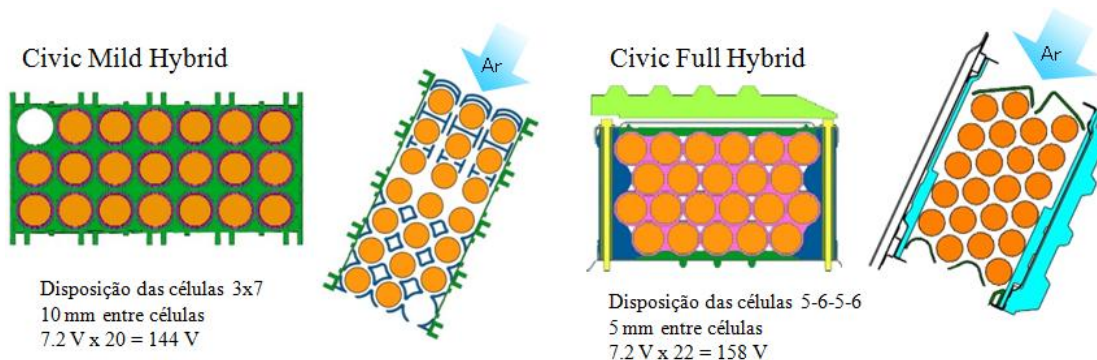


Figura 30 - Constituição da célula de Níquel - Metal Hidreto [15].

No Civic Full Hybrid a bateria de base de Ni-MH do Civic Mild Hybrid passou de 144 V para 158 V com mais 10% de aumento de tensão, e mais compacta passando de 20,7 l para 18,3 l, que conduziu a uma redução de volume na ordem dos 12%.

Para aumentar a tensão da bateria, adicionou-se 12 células às 120 da bateria do Civic Mild Hybrid e diminuiu-se em 36% a resistência da solução eletrolítica usada. A menor libertação de calor da nova solução eletrolítica de baixa resistência permitiu um arranjo mais compacto da bateria como se vê na figura 31.



**Figura 31 - Arranjo mais compacto da bateria usada no Civic Full Hybrid [15].**

### 2.3.3. O Sistema de Carga

O sistema de carga no híbrido constituído por conversor de corrente contínua DC e bateria de 12 V substitui o tradicional sistema de carga composto por alternador e bateria de 12 V do automóvel convencional como o Jazz.

O conversor de corrente contínua - corrente contínua DC-DC transforma a energia recebida da bateria de 144 V DC em 12 V DC, para ser utilizada pelos consumidores do veículo como luzes e rádio. O conversor DC-DC para efetuar a transformação utiliza 4 transístores de efeito de campo (FET) com elevada frequência de comutação 70 kHz no Civic Mild Hybrid e 90 a 110 kHz no Civic Full Hybrid.

### 2.3.4. O sistema de monitorização

O sistema de monitorização, é o responsável pela gestão de energia do híbrido. Inclui um módulo de controlo do motor de combustão interna (PCM) e um módulo de controlo do motor elétrico IMA (MCM).

#### 2.3.4.1. Módulo de controlo do motor de combustão interna

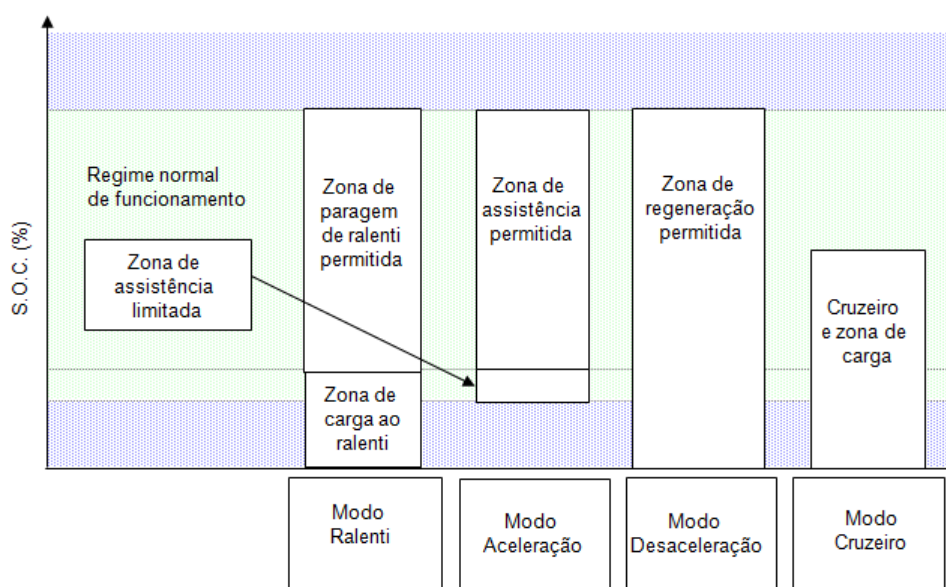
O módulo de controlo do motor de combustão interna (PCM) é a unidade responsável pela gestão da injeção, ignição e transmissão do híbrido. O PCM tem um papel fundamental no cálculo do binário a fornecer às rodas em função da posição do acelerador, velocidade de deslocamento do veículo e SOC disponível. Como referido

---

anteriormente o SOC e a gestão de energia serão abordados mais detalhadamente no capítulo 2.4.

Na figura 32 são identificados os modos de funcionamento ao ralenti, em modo de aceleração, em modo de desaceleração e em modo de cruzeiro, de acordo com a disponibilidade e limitação de SOC.

De acordo com a figura 32 o modo de ralenti tem dois níveis de utilização. Um onde é possível a paragem automática do motor de combustão ao ralenti (*idle stop*, na literatura inglesa) e o outro que por limitação de SOC não deixa desligar o motor de combustão ao ralenti, e adicionalmente possibilita que o motor elétrico IMA carregue as baterias mesmo a velocidade normal de ralenti.



**Figura 32 - Controlo do sistema IMA e SOC da bateria [17].**

No modo de aceleração encontra-se igualmente dois níveis de utilização sendo um de assistência permitida e outro de assistência limitada por valor mínimo de SOC.

O modo de desaceleração, é permitido na faixa de utilização e abaixo da zona limite inferior onde também se encontra o modo de cruzeiro. A abordagem mais detalhada da gestão de energia será efetuada no capítulo 2.4.

#### **2.3.4.2. Módulo de controlo do motor elétrico IMA**

O módulo de controlo do motor elétrico IMA (MCM) controla o módulo inversor da potência do motor elétrico e o módulo das baterias. Com base nos pedidos de binário

registados no PCM, o MCM controla o motor elétrico IMA, por intermédio do inversor, de modo a adequar o grau de assistência e carga às necessidades do veículo.

O MCM também leva a cabo tarefas tais como o cálculo do SOC, cálculo de corrente, cálculo de tensão, e o controlo da ventoinha de arrefecimento do IPU [17].

## 2.4. Estado de carga da bateria e a gestão da energia

O estado de carga da bateria (SOC) do sistema IMA controla o limite superior e inferior de utilização normal da bateria de Ni-MH [17].

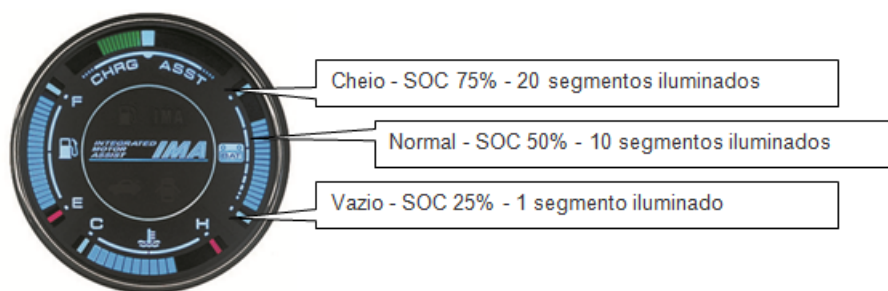


Figura 33 - Informação do SOC da bateria no painel de instrumentos.

Para manter a bateria de Ni-MH em boas condições de funcionamento não se deverá ultrapassar o limite superior de utilização normal por risco de sobrecarga nem ultrapassar o limite inferior por risco de subcarga como se observa na figura 34.

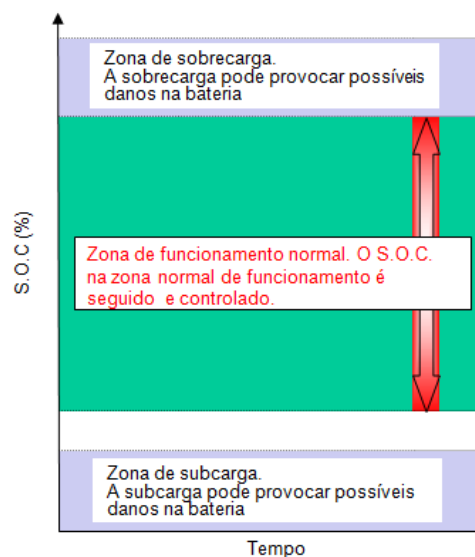
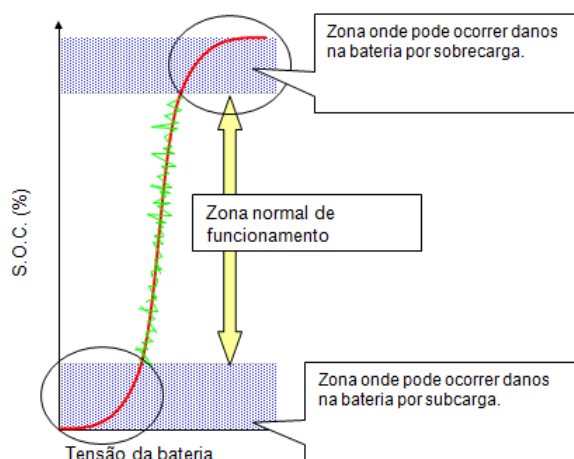


Figura 34 - SOC e limites de utilização da bateria de Ni-MH [17].

---

A gestão do sistema IMA depende do SOC disponível. A correta medição do valor de SOC é muito importante pois pode ser decisor de disponibilizar, limitar ou impedir a assistência do motor elétrico IMA.

Apesar da utilização da bateria em sobrecarga e subcarga, serem limitadas pela gestão do sistema IMA, algumas perturbações e consequente flutuação de tensão podem surgir na faixa utilizável de SOC como se observa a verde na figura 35.



**Figura 35 - SOC Flutuação de tensão e erro de controlo [17].**

Para controlo mais eficaz do valor de SOC, determinado pelo balanço entre a energia descarregada e a energia carregada pelo sistema IMA em funcionamento, são utilizados complementarmente sensores de medição de tensão e corrente à entrada e saída da bateria assim como sensores de temperatura para proteção da bateria.

O valor de SOC disponível, passa a ser mais preciso limitando as flutuações de tensão e aproximando mais a curva teórica de funcionamento à real do momento.

A figura 36 mostra a capacitância da bateria de Ni-MH onde se nota que o SOC inicial não é determinante, mas sim o modo como o SOC pode recuperar durante um determinado período de tempo em condução, para aumentar o potencial elétrico como se vê na figura 36. Por exemplo, se por um longo período de imobilização do veículo, a tensão estiver abaixo do limite inferior do SOC, a gestão de energia dá prioridade à carga limitando a assistência e a curva de recuperação é bastante acentuada.

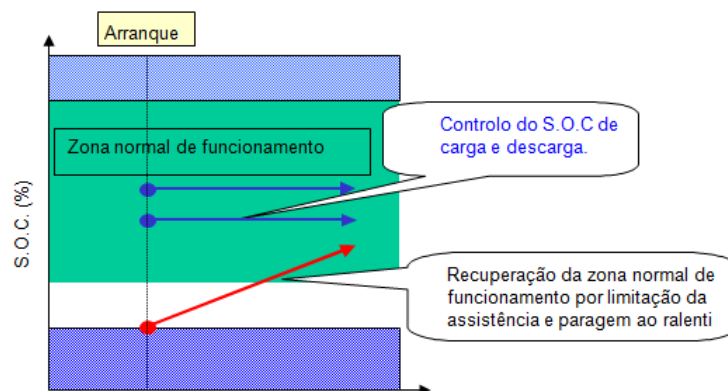


Figura 36 - SOC gestão de energia [17].

Caso o limite superior do SOC tenha sido atingido, por exemplo em desaceleração numa descida de grande inclinação, a gestão de energia bloqueia o modo de carga do sistema IMA e desativa o CIS do motor de combustão desbloqueando as válvulas de admissão e escape.

Em caso de dúvida no cálculo do SOC, a gestão de energia limpa o valor de SOC em memória e atualiza para o valor de SOC para o limite inferior da altura dando prioridade à carga e limitando a assistência com uma curva de recuperação bastante acentuada.

## 2.5. Utilização do veículo em modo elétrico

A utilização de um veículo convencional em modo elétrico implica alterações de conceção aos componentes que normalmente utilizam a força, rotação, temperatura e vácuo do motor de combustão interna. Os sistemas alterados para o efeito foram, travagem, climatização e ar condicionado.

### 2.5.1. Servo freio hidráulico

O servo freio convencional é uma ajuda à travagem que amplifica a força necessária exercida no pedal de travão, através duma relação de áreas e pressão. O vácuo canalizado para o servo freio é criado pelo funcionamento do motor de combustão interna.

Ao utilizar o veículo em modo elétrico deixa de existir vácuo necessário para o servo freio convencional. Para superar esta dificuldade foi projetado um servo freio hidráulico

e uma bomba hidráulica de alta pressão de acionamento elétrico AC como mostra a figura 37. Este servo freio vai funcionar de modo contrário ao convencional utilizando alta pressão hidráulica em vez de vácuo.



Figura 37 - Servo freio hidráulico e bomba de alta pressão [15].

A utilização do servo freio hidráulico permite a ajuda necessária à travagem assim como aumentar a travagem regenerativa [18]. A pressão hidráulica de travagem é variável, e é dependente da velocidade do veículo e do SOC da bateria de Ni-MH. A desaceleração fica dependente da pressão exercida sobre o pedal de travão dando prioridade à energia regenerativa que se obtém com a travagem.

A utilização do servo freio hidráulico possibilita o aumento da energia regenerativa gerada pela travagem como se evidencia na figura 38.

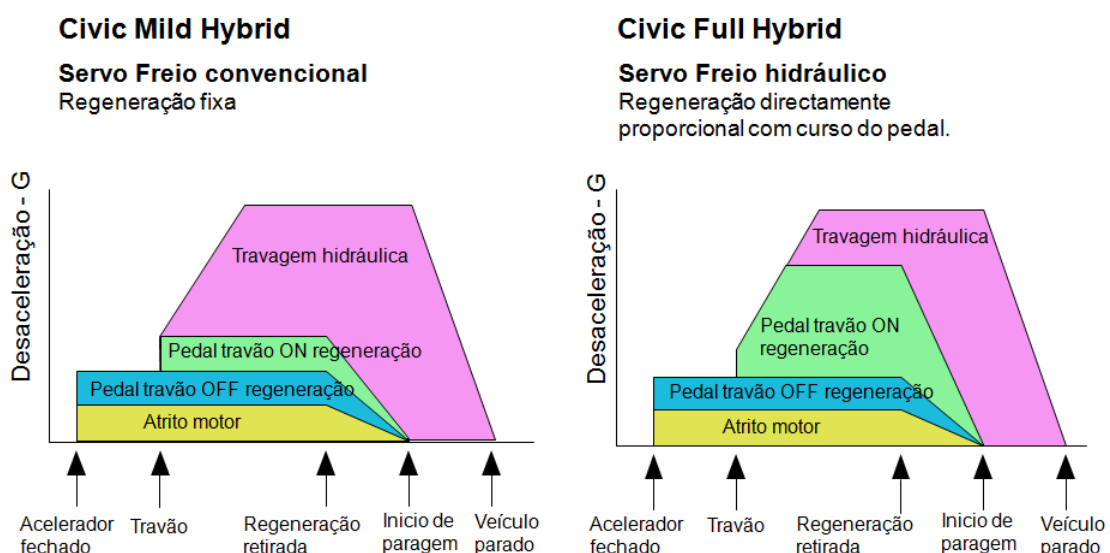


Figura 38 – Influência da utilização do servo freio hidráulico na travagem regenerativa [18].

---

### 2.5.2. Ar condicionado híbrido

Para ser possível ter ar condicionado quando utilizamos o veículo em modo elétrico, ou mesmo parado, utiliza-se um compressor do A/C híbrido rotativo, com acionamento elétrico trifásico de 158 V AC e mecânico através de correia ao motor, como mostra a figura 39.



Figura 39 - Compressor do A/C híbrido, com acionamento mecânico e elétrico [15].

---

# 3

## Caso de estudo

---

## 3. Caso de estudo

### 3.1. Introdução

Os automóveis híbridos em comercialização apresentam vantagens ambientais reconhecidas. Como referido anteriormente, o ICE do híbrido trabalha num regime de rotação mais favorável, permitindo assim diminuir o consumo de combustível e emissões de gases.

Os híbridos em paralelo, têm a vantagem de utilizar um ICE de baixa cilindrada e uma pequena bateria, ambos leves e de pouco volume, não penalizando demais o peso do automóvel e a sua eficiência global.

A utilização real do automóvel híbrido, com interpretação do modo de funcionar da sua sofisticada gestão de energia, assim como a influência do fator “utilizador” nos consumos obtidos, foram objeto de estudo neste capítulo.

### 3.2. A utilização real dos automóveis

Os automóveis modernos devem ser eficazes e fáceis de utilizar. Para que os automóveis tenham sucesso comercial e ampla aceitação dos clientes, são efetuados, na fase de desenvolvimento, um conjunto de testes de estrada representativos do modo de condução nos diversos continentes, países, cidades, estradas e autoestradas.

A informação do funcionamento real do automóvel, é recolhida através de ferramentas de recolha e gravação de dados (*Data-logger* na literatura inglesa), e vai influenciar a parametrização de software das unidades de controlo eletrónico (ECU) para melhor responder às expectativas dos diversos clientes em mercados distintos como Europa, América, África, Ásia e Oceânia.

Para o estudo da influência do fator utilizador no resultado do consumo de combustível optou-se por, realizar testes de consumo de combustível em estrada representativos de condução em Ciclo Urbano, Extra-urbano, Estrada, misto Urbano/Estrada e Autoestrada.

Os três automóveis foram conduzidos várias vezes, com cinco perfis de agressividade de condução, super lento, lento, normal, rápido e super rápido.

A realização dos testes de consumo de combustível em estrada, pretendeu perspetivar uma utilização mais real dos automóveis, considerando perfis de velocidade, aceleração, eficiência da transmissão, resistência ao rolamento, coeficiente de resistência aerodinâmica com condições variáveis de altitude e vento junto ao mar e serra. Os

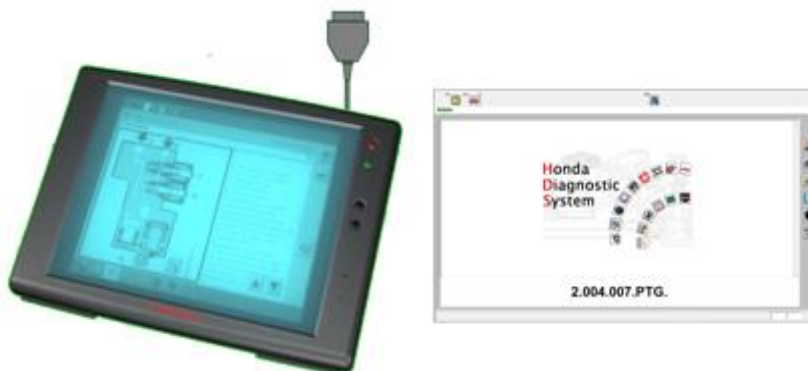
---

resultados obtidos são reais e não estudos matemáticos a juntar a alguns outros publicados por entidades acreditadas com recursos e meios técnicos superiores ao utilizado [19], [20], [21], [22], [23].

Como um cliente, que utiliza a instrumentação disponível no automóvel pretendeu-se identificar desvios, e fatores que mais contribuem para obter valores de consumo de combustível, diferentes aos realizados de acordo com ciclos de condução European Driving Cycle (EUDC) [24] e US EPA Fuel-Economy Testing [25], [26].

Os resultados obtidos perspetivaram a razão das diferenças e semelhanças entre o consumo de combustível real medido no abastecimento, com o anunciado pelo construtor, e o obtido em diversos estudos académicos realizados.

Para recolher os dados foi utilizado o computador portátil (PC) ver figura 40 com módulo interface Honda (HIM), incorporado para comunicação com os ECU e possível registo de dados.



**Figura 40 – Computador portátil e software utilizado para o registo de dados.**

O PC tem um Processador Pentium III a 500 MHz, memória de 256 Mb SDRAM e disco rígido de 20 Gb com sistema operativo Windows XP e écran por toque tátil de 12,1 polegadas, XGA e alto brilho.

A alimentação é feita por baterias de lítio recarregáveis e autonomia de 3 horas, a 16 V DC  $\pm$  0,5 V a partir da estação de carga (*docking station*, na literatura inglesa). A bateria do veículo em teste deve estar entre 10 e 32 V DC. Quando a máquina de diagnóstico está ligada à ficha de diagnóstico a bordo (OBD) de 16 pinos, a bateria recebe carga através da bateria do carro, mesmo que a ignição esteja desligada.

O software utilizado é específico da Honda, modelo HDS 2.004.007, e permite a comunicação entre o PC e os três automóveis em estudo.

---

### 3.3. Ciclos e condições de ensaio de referência

O Novo Ciclo de Condução Europeu (NEDC) simula a utilização típica de um carro na Europa de acordo com a Diretiva EEC 90/C81/0 [24]. O NEDC é composto pelos ciclos de condução de controlo de emissões europeu (ECE-15) e pelo ciclo de condução extra urbana (EUDC). Os parâmetros para realizar os testes ECE 15 e EUDC encontram-se na tabela 7.

Parâmetros dos ciclos	ECE15	EUDC
Distância (km)	4 testes de 1,013 = 4,052	6,955
Duração (s)	4 testes de 195 = 780	400
Velocidade média (km/h)	18,7 com ralenti	62,6
Velocidade máxima (km/h)	50	120

**Tabela 7 – Parâmetros dos testes ECE 15 e EUDC para realizar o teste NEDC [24].**

Os testes de condução NEDC simulam a condução em cidade e autoestrada a temperaturas entre 20°C e 30°C, utilizando um banco de ensaio de rolos com ar condicionado e outros consumidores acessórios desligados.

O teste de cidade simula 4 viagens curtas de arranque e paragem. A distância de cada viagem é 1,013 km e 195 s, a uma velocidade média de 18,7 km/h com ralenti possível e velocidade máxima de 50 km/h. O teste em autoestrada simula uma viagem de 6,955 km e 400 s a uma velocidade média de 62,6 km/h, e velocidade máxima 120 km/h.

Os ciclos e as condições de ensaio segundo a Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (US EPA) dizem que em laboratório os veículos de pré produção devem ser conduzidos por um condutor profissional, movem-se em cima de uma passadeira rolante com ar condicionado, ventilação, luzes, desembaciador do vidro traseiro e outros consumidores acessórios desligados [27]. São efetuados dois testes de simulação de condução, um em cidade, e outro em via rápida, a temperaturas entre 20°C e 30°C.

O teste de cidade do programa federal de condução urbana (FUDS) simula uma viagem de 17,7 km em 31 minutos, a uma velocidade média de 32 km/h. Cerca de 18% da viagem é efetuado em marcha lenta, e a velocidade máxima atingida é 90,1 km/h. O programa federal de condução em via rápida (FHDS) simula uma viagem de 16 km em 12,5 minutos, a uma velocidade média de 77 km/h, e velocidade máxima atingida é 96 km/h. Os parâmetros para realizar os testes FUDS e FHDS encontram-se resumidos na tabela 8.

Parâmetros dos ciclos	FUDS	FHDS
Distância (km)	17,7	16
Duração (minutos)	31	12,5
Velocidade média (km/h)	32	77
Velocidade máxima (km/h)	90,1	96

**Tabela 8 – Parâmetros dos testes FUDS e FHDS para realizar o teste EPA [19], [20].**

Por impossibilidade dos testes simularem todas as condições que afetam o consumo de combustível, como temperatura, o clima, o piso da estrada, a manutenção e o estado do automóvel, os resultados obtidos nos testes são ajustados para melhor se aproximarem às condições normais de utilização dos veículos.

A US EPA está a desenvolver uma nova metodologia para testes, tendo em conta o perfil do utilizador, como por exemplo a condução, fatores de agressividade na condução, temperaturas exteriores baixas e altas e utilização de ar condicionado [27].

### 3.4. Ciclos e condições utilizadas nos testes efetuados

Segundo Matthew R. Cuddy e Keith B. Wipke em “*Analysis of the Fuel Economy Benefit of Drivetrain Hybridization*” o procedimento de testes reais de consumo para determinar a redução de consumo de combustível dos veículos híbrido é um problema difícil, cujo debate sobre a metodologia mais correta ainda não terminou [20]. Esta consideração justificou a decisão em não se utilizar outro método ou software de simulação porque o modo de condução introduz um fator aleatório que é mais difícil de programar em software mas visível em testes reais de consumo.

Assim, o critério utilizado para realizar os testes teve como base o teste NEDC com uma recolha representativa e significativa de condições reais de condução. Apesar de outros testes poderem servir como referência e comparação de valores obtidos nos ensaios de estrada, a homologação europeia dos carros testados justificou a escolha.

Os testes efetuados para determinar o consumo de combustível tiveram o início e fim na área de serviço da BP do Inatel em Oeiras, ver figura 41. O local foi escolhido pela facilidade de acesso à estrada Marginal para realizar os testes ECE 15 e ao percurso extraurbano para o teste EUDC.



**Figura 41 – Percurso utilizado para testes de consumo de combustível em estrada.**

No itinerário um, considerado Ciclo Urbano, o seu percurso ocorre na área de Oeiras. O início e fim do percurso foi nas bombas de gasolina do Inatel em Oeiras. O caminho efetuado tem início nas bombas da BP do Inatel de Oeiras (1), seguido da estação de comboios (2), e termina novamente nas bombas da BP (1).

No itinerário dois, considerado Ciclo Extraurbano, o seu percurso ocorre na Estrada Marginal em hora de ponta. O início foi na BP do Inatel em Oeiras e o fim na GALP do Estádio Nacional sentido Cascais – Lisboa. O caminho efetuado tem início nas bombas da BP do Inatel de Oeiras (1), seguindo para a Estrada Marginal, com paragem na GALP do Estádio Nacional sentido Cascais – Lisboa (3).

No itinerário três, considerado Ciclo Autoestrada, o seu percurso ocorre na Autoestrada A5. O início foi na GALP do Estádio Nacional sentido Cascais – Lisboa e fim na GALP do Estádio Nacional sentido Lisboa-Cascais. O caminho efetuado tem início na GALP do Estádio Nacional sentido Cascais – Lisboa (3) passa pela área de serviço GALP da A5 sentido Lisboa-Cascais (4) e volta para a GALP do Estádio Nacional sentido Lisboa-Cascais (5).

No itinerário quatro, considerado Ciclo misto Urbano Estrada, o seu percurso ocorre na Estrada Marginal e na área de Oeiras. O início foi na GALP do Estádio Nacional sentido Lisboa-Cascais, e fim na BP do Inatel em Oeiras. O caminho efetuado tem início na GALP do Estádio Nacional sentido Cascais – Lisboa (5), estação de comboios de Oeiras (2), e paragem na BP do Inatel em Oeiras (1).

No itinerário cinco, considerado Ciclo Estrada, o seu percurso ocorre na Estrada Marginal sem hora de ponta. O início e fim do percurso foi nas bombas de gasolina do

---

Inatel em Oeiras. O caminho efetuado tem início na BP do Inatel em Oeiras (1) até à curva dos pinheiros em Paço de Arcos (6) e regresso para a BP do Inatel em Oeiras (1).

Cada itinerário foi realizado com cinco níveis de agressividade de condução simulando cinco possíveis típicos utilizadores. Os níveis escolhidos foram muito lento, lento, normal, rápido e muito rápido.

A tabela 9 mostra o período de realização, a distância, e o combustível gasto com os testes efetuados.

Modelo	Data do ensaio	Km totais percorridos	Litros de combustível gasto	Total de testes efetuados	Total de testes rejeitados
Jazz 1.4	Fev 12 - Maio 12	455	27,48	70	6
Civic Mild Hybrid	Fev 12 - Maio 12	472	25,20	70	7
Civic Full Hybrid	Fev 12 - Maio 12	521	25,94	70	20

**Tabela 9 – Resumo dos testes efetuados.**

De modo a garantir a qualidade do estudo, os testes foram realizados duas vezes com cada automóvel, totalizando no mínimo cinquenta ensaios por carro. Alguns dos testes de agressividade de condução tiveram que ser rejeitados alguns por falta de coerência nos resultados obtidos e outros por congestionamento de tráfego, tendo sido efetuados à posteriori e por isso não contabilizados para o estudo individual, mas sim para a média de consumo final, justificando uma ligeira diferença no total de km percorridos por automóvel.

O arranque do motor foi sempre realizado utilizando a chave de motor na posição Start/arranque e durante os testes não foi transportada bagagem, sendo o condutor e passageiro os únicos ocupantes do automóvel.

### **3.5. A influência do comportamento do condutor no consumo de combustível**

Esta secção pretende analisar a influência do comportamento do condutor no consumo de combustível comparando o consumo de combustível real e o anunciado pelo construtor. A possível relação causa efeito entre comportamentos de condução corretos, conhecimento da tecnologia do automóvel que utiliza e conseguir tirar partido da informação disponível do painel de instrumentos são os desafios para obter bons resultados.



---

Durante a fase de assistência em aceleração, a energia elétrica DC das baterias de Ni-MH, é convertida em AC pelo módulo inversor da potência e é fornecida ao motor elétrico IMA. O binário gerado pelo motor elétrico IMA, é utilizado para assistir o motor a gasolina.

O nível de assistência do motor elétrico IMA é calculado pelo MCM dando prioridade à utilização da energia elétrica para baixar o consumo. Caso o valor mínimo de SOC se atinja, a assistência é interrompida garantindo valores mínimos de energia essenciais para o funcionamento do veículo.

Em desaceleração, o motor elétrico IMA funciona como gerador carregando as baterias de Ni-MH. As rodas de peso otimizado geram impulso ao motor elétrico IMA via transmissão e motor de combustão, gerando energia elétrica que vai ser armazenada no módulo das baterias, criando um efeito de magnetismo capaz de criar travão motor para reduzir a velocidade do veículo. A energia elétrica produzida desta forma pelo motor elétrico IMA é ainda maior pelo facto do motor de combustão estar mais solto, com atrito reduzido devido à ativação do CIS.

Se o SOC das baterias de Ni-MH estiver no limite superior de 75% e de modo a evitar sobrecarga a energia gerada é só a necessária para repor o consumo do sistema auxiliar de 12 V. Se o SOC das baterias de Ni-MH estiver no limite inferior de 25%, o motor elétrico IMA funciona como gerador mesmo quando o carro estiver a acelerar ou ao ralenti.

Na fase de paragem automática ao ralenti, o sistema desliga o motor a gasolina, para reduzir o consumo de combustível e minimizar as emissões de escape.

### **3.5.2. A instrumentação disponível para facilitar a utilização**

A instrumentação dos híbridos em estudo inclui um conjunto de equipamentos adicionais onde é possível observar e efetuar uma correta gestão dos recursos energéticos do automóvel. Para o consumo de combustível e para ajudar o condutor a moderar a aceleração e poupar combustível, o utilizador dispõe de informação no painel de instrumentos, do consumo médio e instantâneo como mostra a figura 43.



Figura 43 – Painel de instrumentos com informação de consumo de combustível.

Sendo o SOC disponível no automóvel híbrido, resultado da acumulação de energia por utilização, o condutor dispõe de informação no painel de instrumentos, da quantidade de SOC e curva de tendência do consumo elétrico através de segmentos iluminados, como mostra a figura 44.

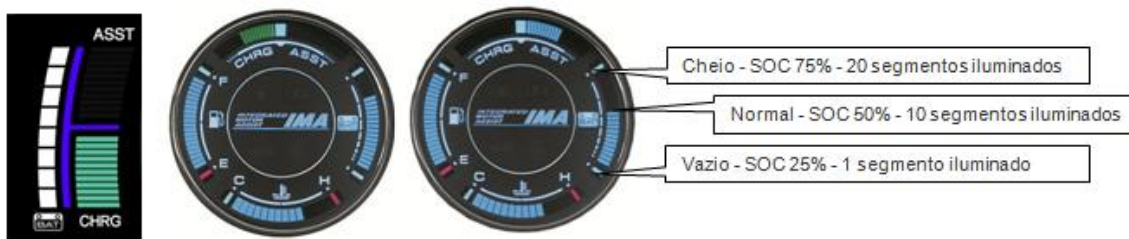


Figura 44 – Painel de instrumentos com informação de modo de Carga e Assistência (Charge/Assist) e SOC.

O SOC surge associado à bateria de Ni-MH e o seu valor, é lido numa barra identificada com o símbolo BAT, que se ilumina progressivamente, e permite visualizar rapidamente a recuperação ou o consumo do SOC do momento.

---

# 4

## Resultados

---

## 4. Resultados

### 4.1. Introdução

Os testes de consumo de combustível permitiram uma recolha representativa e significativa de condições reais de condução, num percurso que teve como base a Estrada Marginal.

Os testes foram efetuados com os cinco perfis de agressividade de condução, muito lento, lento, normal, rápido e muito rápido. No fim de cada teste de perfil de condução foi efetuado o abastecimento de combustível por mangueira da bomba até atingir o nível do gargalo do tanque de combustível.

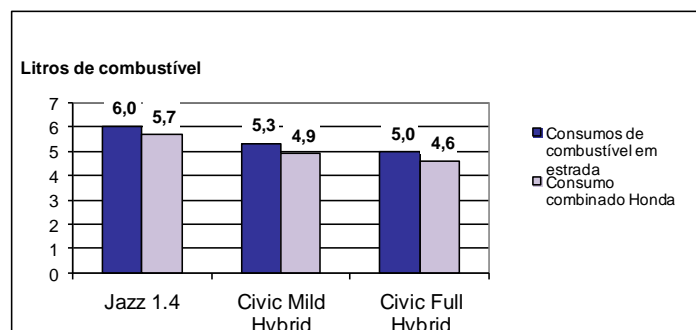
Nos testes de perfil de agressividade de condução utilizou-se a sequência itinerário um, seguido do dois, três, quatro e cinco. No fim de cada itinerário foi efetuado o abastecimento de combustível manualmente utilizando um recipiente graduado para o enchimento até atingir o nível do gargalo do tanque de combustível.

Os valores retiradas do PC foram analisados em Microsoft Excel e com os dados recolhidos foi elaborado o estudo apresentado em seguida.

### 4.2. Balanço dos resultados obtidos

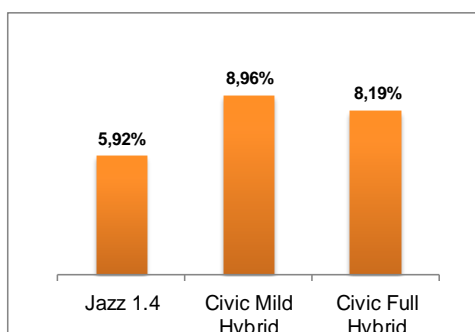
Os resultados obtidos nos testes de condução realizados, mostram que, o consumo médio final obtido, foi ligeiramente superior ao consumo combinado anunciado pelo construtor que pretende ser o valor de referência para a utilização típica de cada carro.

O gráfico 1 compara por modelo, os valores em litros de combustível gasto nos testes de estrada, com os consumos de combustível anunciado pela Honda em catálogo.



**Gráfico 1 – Comparação entre o consumo de combustível obtido nos testes de estrada e o consumo combinado de combustível anunciado pela Honda em catálogo.**

O gráfico 2, identifica o desvio dos valores do consumo de combustível obtido nos testes de estrada, relativamente ao consumo combinado anunciado para os três automóveis.



**Gráfico 2 – Desvio entre o consumo real obtido nos testes de estrada e o consumo combinado de combustível anunciado pela Honda em catálogo.**

O maior desvio observado foi de 8,96% correspondente ao consumo de 5,3 litros/100 km do Civic Mild Hybrid seguido do Civic Full Hybrid com um desvio de 8,19% correspondente ao consumo de 5,0 litros/100 km. O menor desvio foi 5,92% correspondente ao consumo de 6,0 litros/100 km obtido com o Jazz.

De acordo com a tabela 10 e para uma utilização de 20000 km por ano, o Civic Full Hybrid permite poupar em combustível 342€ face ao Jazz, e 117€ face ao Civic Mild Hybrid. Se considerarmos um tempo médio de 6 anos para a posse de um veículo, o utilizador do Civic Full Hybrid quando comparado com o utilizador do Jazz, poupa 2055€ que é um valor superior a um ano de combustível para qualquer um dos automóveis.

Testes de consumo de combustível em estrada			
Resultados	Jazz 1.4	Civic Mild Hybrid	Civic Full Hybrid
Consumo médio l/100km	6,0	5,3	5,0
Custo combustível para fazer 100 km em Maio de 2012 (EURO)	9,74	8,62	8,03
Custo combustível para utilização anual de 20000 km (EURO)	1949	1723	1606
Acréscimo de custo anual em combustível face ao Civic Full Hybrid	342	117	0

**Tabela 10 – Acréscimo de custo em combustível para um valor de 20000 km/ano.**

#### 4.2.1. O consumo de combustível

O balanço do consumo médio de combustível obtido nos 25 testes efetuados, ao longo dos 5 percursos está resumido na tabela 11.

O Civic Full Hybrid foi o automóvel que maior distância percorreu 521 km e menos combustível gastou com um consumo médio de combustível de 5,0 litros em 100 km.

---

Devido ao seu desempenho foi considerado como o valor de referência de 100% ver tabela 11.

O Civic Mild Hybrid percorreu 472 km e consumiu 5,3 litros aos 100 km ou seja mais 7,28% que o Civic Full Hybrid correspondendo a 107,28% na tabela 11. Este balanço favorável ao Civic Full Hybrid está em linha com o melhor rendimento do ICE que segundo a Honda contribui com uma redução de 8% no consumo de combustível.

O automóvel que mais gastou foi o Jazz com 455 km percorridos e um consumo médio de combustível de 6,0 litros em 100 km o que corresponde a 21,32% a mais que o Civic Full Hybrid correspondendo a 121,32%. O balanço apesar de claramente favorável ao Civic Full Hybrid não evidenciou o ganho de 35% em redução de consumo de combustível por utilização do motor elétrico IMA como referido pela Honda [15].

Testes de consumo de combustível em estrada			
Resultados	Jazz 1.4	Civic Mild Hybrid	Civic Full Hybrid
km percorridos	455	472	521
Consumo médio l/100km	6,0	5,3	5,0
Aumento consumo face ao Civic Full Hybrid	121,32%	107,28%	100,00%

**Tabela 11 - Testes de consumo de combustível em estrada.**

O gráfico 3, 4, e 5 mostra o desvio encontrado entre o consumo de combustível obtido nos testes de estrada, e o consumo combinado de combustível anunciado pela Honda.

Observando os gráficos identifica-se em ordenadas, o valor do desvio e em abcissas o conjunto de testes efetuados. Em todos os gráficos e em particular com os híbridos se notou um desvio do ponto zero para a metade esquerda do gráfico significando que os três automóveis são mais sensíveis e afetados pela condução agressiva do que pela boa condução e correta utilização.

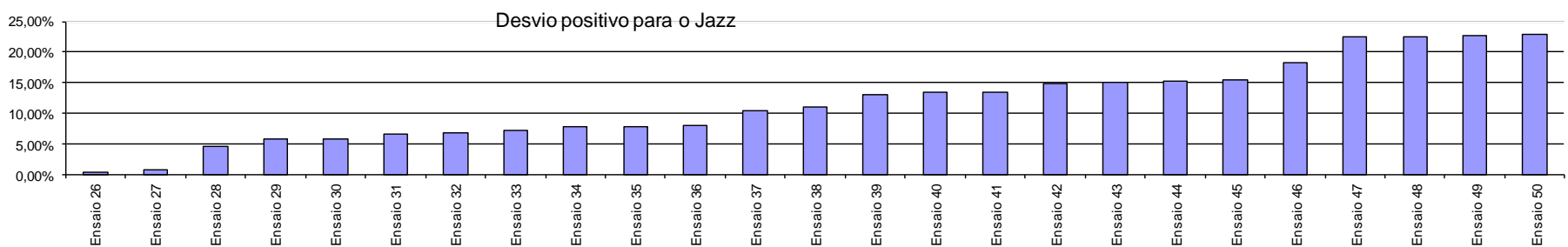
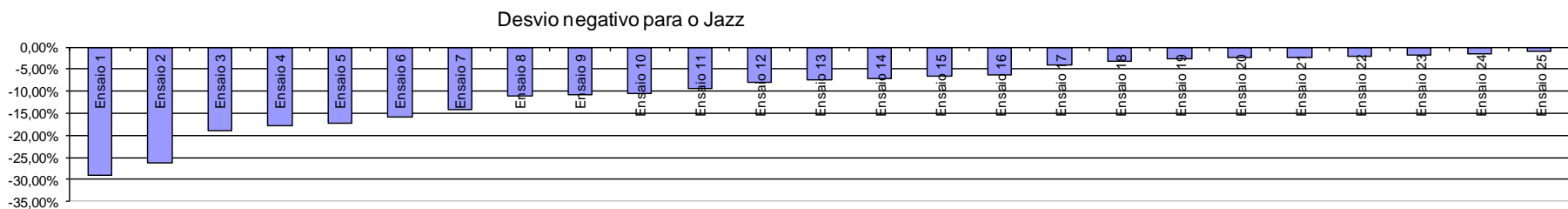
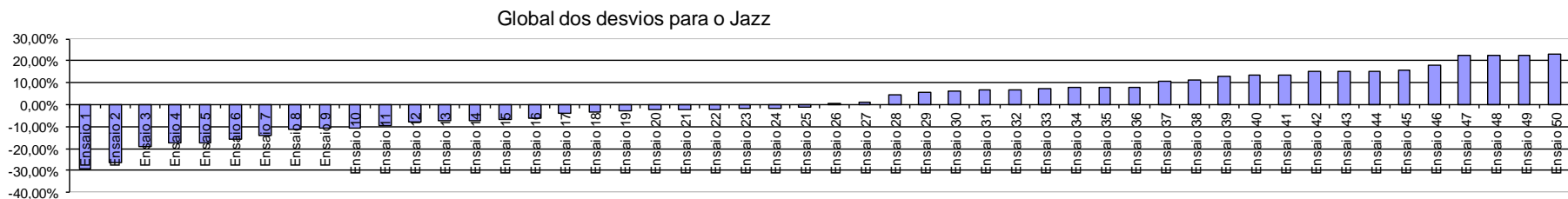
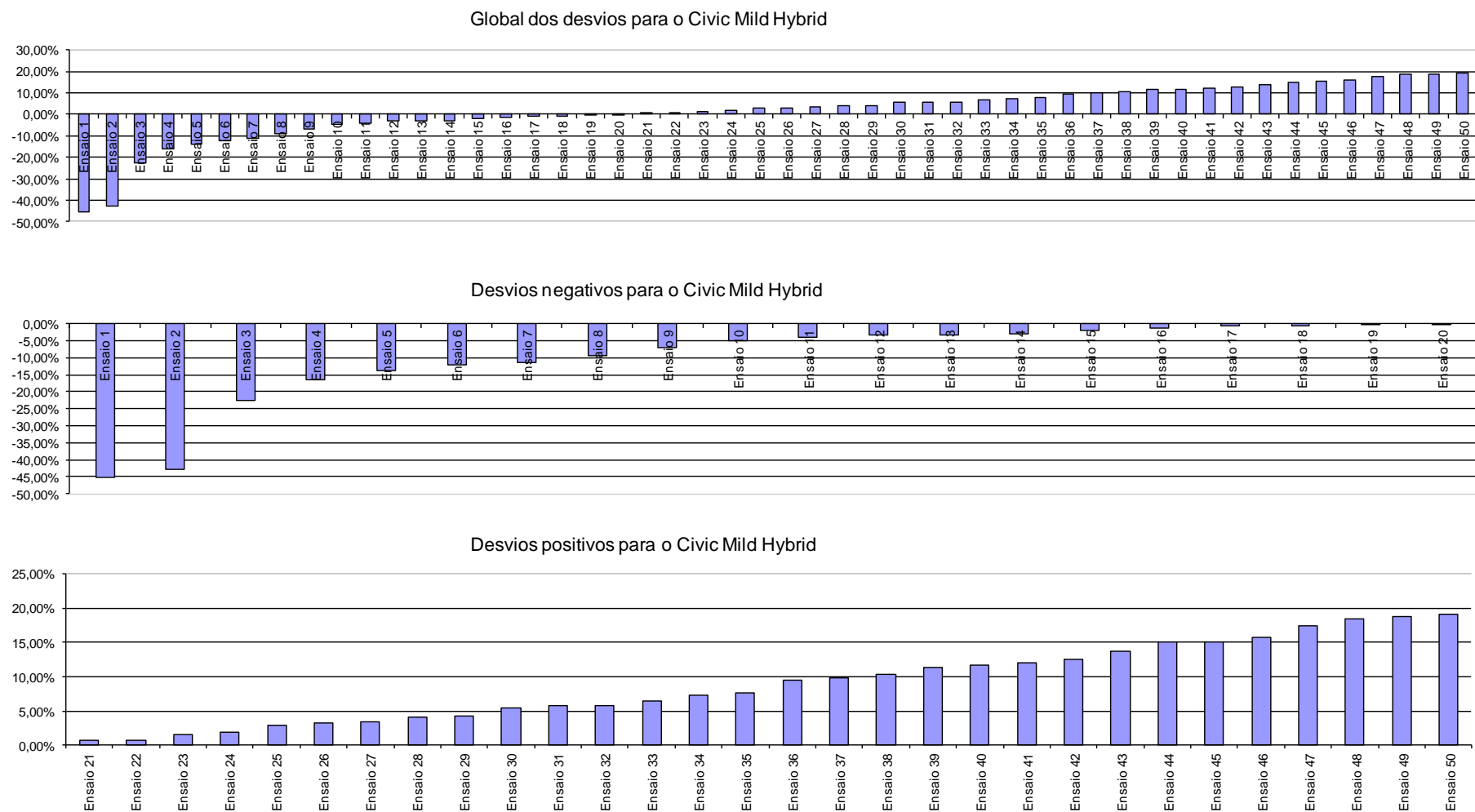
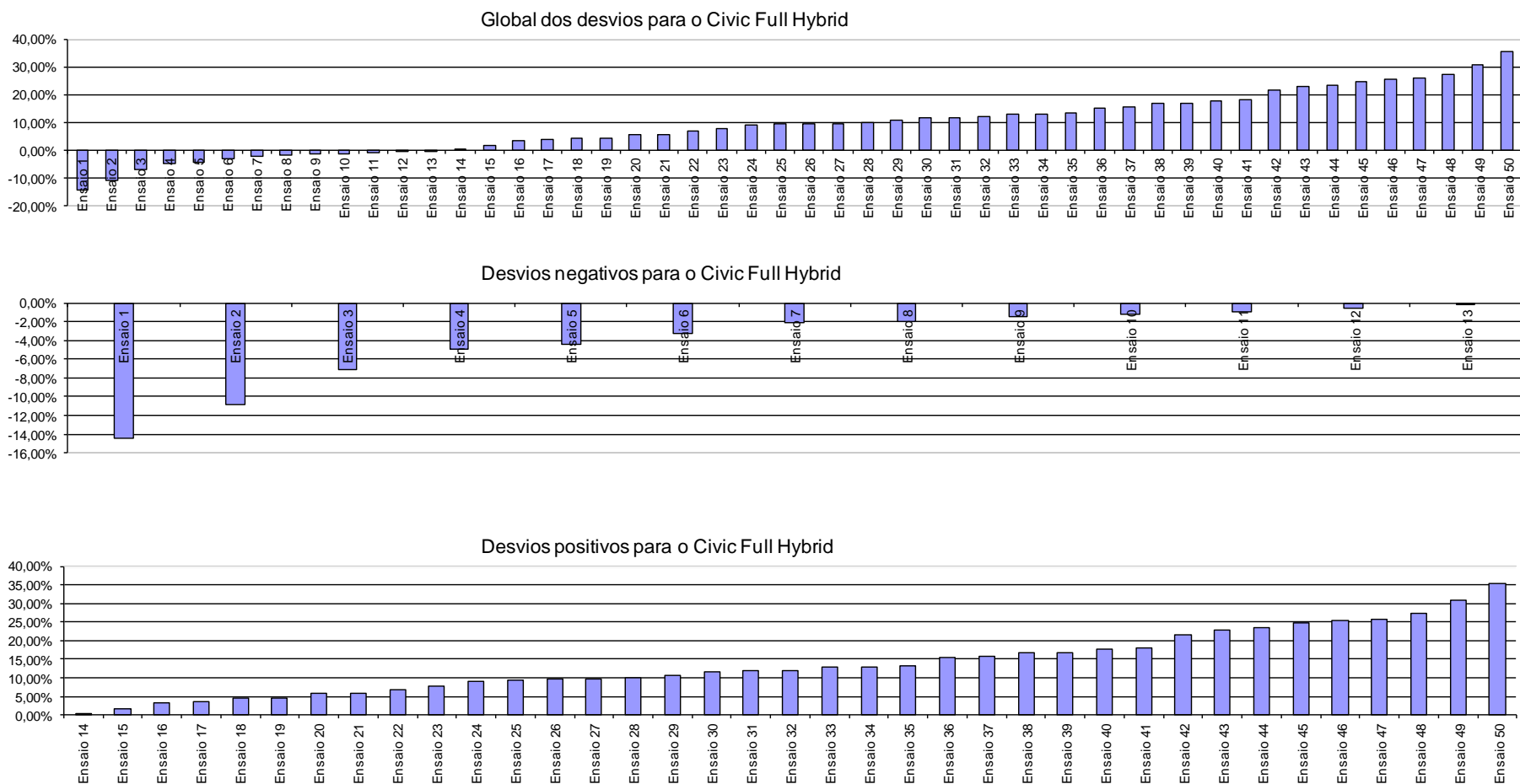


Gráfico 3 – Desvio entre o consumo de combustível obtido nos testes de estrada e o consumo combinado de combustível anunciado para o Jazz 1.4.



**Gráfico 4 – Desvio entre o consumo de combustível obtido nos testes de estrada e o consumo combinado de combustível anunciado para o Civic Mild Hybrid.**



**Gráfico 5 – Desvio entre o consumo de combustível obtido nos testes de estrada e o consumo combinado de combustível anunciado para o Civic Full Hybrid.**

---

Os resultados conseguiram dar uma perspetiva de utilização de cada carro. A tabela 12 identifica os valores limites superiores e inferiores e desvio padrão dos consumos obtidos.

Testes de consumo de combustível em estrada			
Resultados	Jazz 1.4	Civic Mild Hybrid	Civic Full Hybrid
Valor nominal l/100km	6,04	5,34	4,98
Desvio padrão l/100km	1,20	0,95	0,51
Limite superior l/100km	9,63	8,38	6,23
Limite inferior l/100km	4,04	2,68	3,94

**Tabela 12 – Estatística dos testes de consumo de combustível em estrada.**

De salientar o limite inferior de 2,68 litros/100 km conseguido com o Civic Mild Hybrid enquanto com o Civic Full Hybrid só foi conseguido 3,94 litros/100 km apesar da possível utilização do automóvel em modo elétrico. Igualmente de salientar o limite superior conseguido com o Civic Full Hybrid de 6,23 litros/100 km enquanto com o Jazz foi atingido os 9,63 litros/100 km apesar do menor peso do carro face aos híbridos.

O desvio padrão que dá uma ideia da discrepância de resultados obtidos, com 100 km percorridos, foi mais favorável para o Civic Full Hybrid com 0,5 litros seguido do Civic Mild Hybrid com 0,95 litros e finalmente para o Jazz com 1,2 litros.

#### **4.2.2. A influência do peso no consumo de combustível**

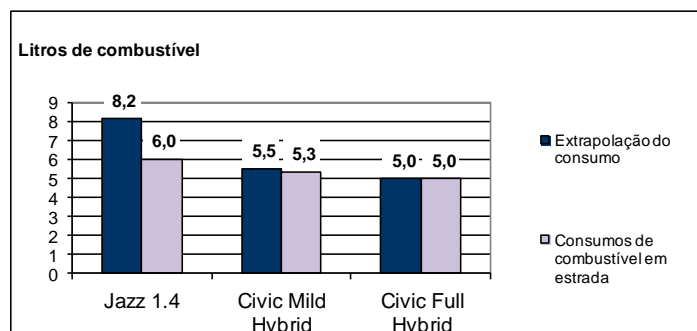
Tendo em consideração o acréscimo de peso do sistema IMA que afeta o consumo dos híbridos, nomeadamente na fase de arranque, foi calculada a extrapolação de consumo de combustível considerando todos os automóveis com o mesmo peso de referência do Civic Full Hybrid [9].

O Civic Full Hybrid com peso de 1324 kg e consumo de 5,0 litros aos 100 km não sofre qualquer alteração correspondendo a 100% e representado no gráfico 6.

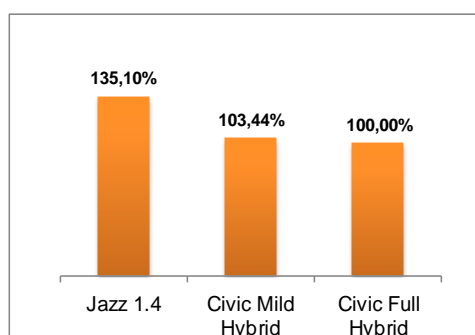
O Civic Mild Hybrid, com acréscimo de peso de 1280 kg para 1324 kg aumenta o consumo aos 100 km de 5,3 litros para 5,5 litros, um acréscimo de 0,2 litros, correspondendo a 103,44%.

O Jazz com acréscimo de peso de 980 kg para 1324 kg aumenta o consumo de 6,0 litros aos 100 km para 8,2 litros em 100 km, um acréscimo de 2,2 litros, correspondendo a 135,10%.

Pelo estudo apresentado, o Jazz ao ser o automóvel mais leve é o mais afetado na extrapolação do consumo de combustível como se pode ver no gráfico 6 e 7.



**Gráfico 6 – Comparação entre os testes de consumo e a extrapolação de consumo de combustível em relação ao Civic Full Hybrid.**



**Gráfico 7 - Extrapolação do aumento do consumo de combustível se todos os automóveis tivessem o peso do Civic Full Hybrid.**

O Civic Mild Hybrid é menos afetado que o Jazz na extrapolação do consumo de combustível como é visível no gráfico 7. Face às semelhanças técnicas do motor elétrico IMA e motor de combustão dos híbridos o peso e volumetria menor do Civic Mild Hybrid minimiza a penalização do consumo face ao Civic Full Hybrid.

O Jazz é o mais penalizado na extrapolação do consumo de combustível. As razões para a penalização do Jazz devem-se ao acréscimo de peso equivalente à componente híbrida e volumetria dos Civic, associado ao facto de não beneficiar da contribuição do motor elétrico IMA para diminuir o consumo, das evoluções técnicas introduzidas no motor de combustão, da eficiência da transmissão automática e da melhor aerodinâmica.

#### **4.2.3. O benefício de utilização do híbrido em circuitos extra urbanos**

Em circuitos extra urbanos o automóvel convencional como o Jazz apesar de ser mais leve é penalizado em consumo de combustível face aos híbridos. Os híbridos com a

---

utilização total ou parcial da ajuda do motor elétrico IMA, permitem vencer a inércia do automóvel em situações de tráfego intenso e de para arranque, com uma contribuição mínima do motor de combustão interna, possibilitando reduzir desta forma o consumo de combustível.

A estratégia de funcionamento do híbrido em paralelo do Civic Full Hybrid é definida por dois parâmetros, primeiro pelo valor de velocidade abaixo dos 50 km/h que é possível desligar o motor de combustão, e segundo a decisão de funcionamento do motor elétrico como motor para fornecer binário ou como gerador para carregar as baterias.

A estratégia de funcionamento quando seguida de um modo consciencioso pelo utilizador permite garantir um nível de SOC estável para o funcionamento do sistema IMA. O SOC disponível vai permitir conduzir em modo elétrico até 50 km/h onde por exemplo em modo de utilização extraurbano poupa combustível como mostra a tabela 13.

Testes de consumo de combustível em estrada			
Resultados	Jazz 1.4	Civic Mild Hybrid	Civic Full Hybrid
Consumo médio l/100km	6,0	5,3	5,0
Consumos anunciados Honda			
Combinado	5,7	4,9	4,6
Urbano	6,8	6,0	5,2
Extra urbano	4,7	4,3	4,3

**Tabela 13 – O benefício da utilização do híbrido em circuitos extra urbanos.**

#### **4.2.4. A caixa de velocidades e a influência no consumo de combustível**

O Jazz e o Civic Mild Hybrid utilizam uma caixa de 5 velocidades manual.

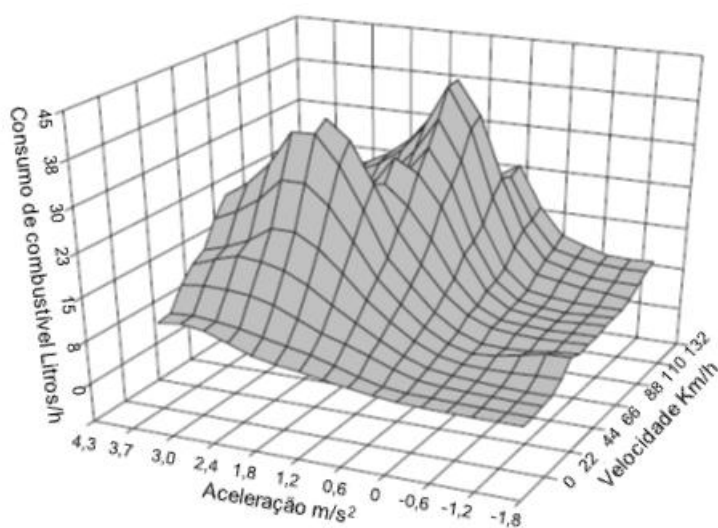
O Civic Full Hybrid é o único dos 3 automóveis com transmissão de variação contínua (CVT). Se corretamente utilizada a CVT com as infinitas possibilidades de relações de transmissão equivale a um número infinito de velocidades de uma caixa manual, possibilitando ao motor de combustão trabalhar em zonas de maior eficiência térmica e possibilitando redução de consumo de combustível.

Ao utilizar uma CVT a relação de transmissão é inversamente proporcional ao acelerador, o que significa com uma aceleração forte obtém-se uma relação de caixa curta. Com a relação de caixa curta as rotações de motor aumentam muito rapidamente e para valores muito altos penalizando o consumo de combustível se o condutor não estiver atento por descuido ou necessidade.

---

A figura 45 mostra os valores de consumo de combustível em função da aceleração e velocidade, onde entram parâmetros como massa do veículo, coeficiente aerodinâmico, resistência ao rolamento e eficiência da transmissão [22]. Observando a figura 46 nota-se que os valores de consumo de combustível são muito influenciados pela aceleração nomeadamente no intervalo de valores correspondente a 75% do acelerador.

Os testes efetuados com uma condução rápida e agressiva, confirmaram a influência da posição de 75% do acelerador onde o consumo de combustível foi superior ao obtido com o acelerador a fundo.



**Figura 45 – Valores de consumo de combustível em função da aceleração e velocidade ( adaptado de [22]).**

### **4.3. A regulação híbrida em paralelo e a influência do SOC**

A variação do estado da carga (SOC) no início e no fim do teste, apesar de se terem mantido muito estáveis, influencia o consumo de combustível em virtude da contribuição do motor elétrico e conseqüente descarga, e carga da bateria.

Quando o pedido de binário vindo do acelerador é superior ao valor que o sistema híbrido pode fornecer ou seja o limiar do valor híbrido ultrapassado, o automóvel só funciona com o motor a gasolina. Caso o pedido de binário seja inferior ao valor que o sistema híbrido pode fornecer, situação de muito ligeira aceleração, o híbrido entra em modo elétrico deslocando-se unicamente o automóvel com o motor elétrico. Em desaceleração e travagem regenerativa, a energia é recuperada para carregar as baterias.

---

A dependência do fator SOC é calculada pela relação:

$$(SOC \text{ alto } 75\% - SOC \text{ atual}) / (SOC \text{ alto } 75\% - SOC \text{ baixo } 25\%)$$

Na figura 46, estão representadas três curvas com diferentes valores iniciais de SOC na faixa normal de operação entre os 75% e os 25%. As curvas apresentam um desenvolvimento paralelo com a característica de se atingir valores de SOC no final de ciclo de condução iguais aos iniciais.

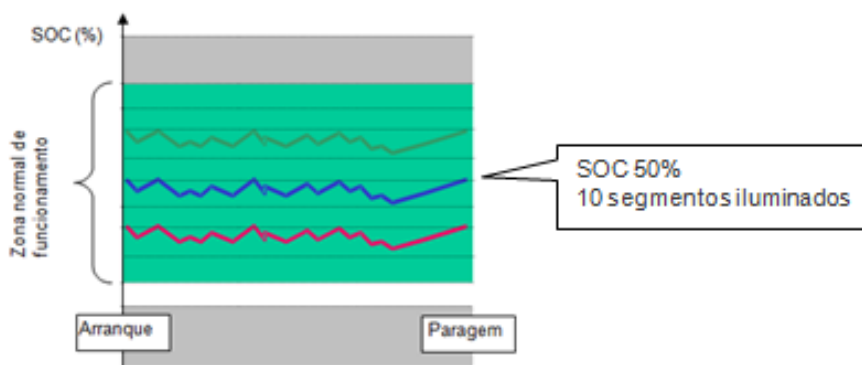


Figura 46 – Reposição do valor SOC no fim do percurso [18].

Em utilização, a evolução do SOC mostrou-se bastante estável por volta dos 51% em média ao longo dos testes efetuados, no entanto foi possível observar que em utilização agressiva ou em modo elétrico o valor de SOC baixava por utilização do motor elétrico em modo de assistência.

Mesmo com viagens onde o SOC baixou para valores de 35% notou-se uma recuperação do valor no final da viagem que não penaliza o consumo de combustível visto o automóvel estar em desaceleração. Se o SOC baixar para valores mínimos, a assistência em aceleração é interrompida garantindo valores mínimos de energia essenciais para o funcionamento do veículo e no limite inferior de 25%, o motor elétrico IMA funciona como gerador mesmo quando o carro estiver a acelerar ou ao ralenti.

Apesar da capacidade muito rápida para repor os valores nominais de SOC, a utilização frequente da desaceleração sempre que possível apesar de desagradável, permite a entrada em modo de carga e a recuperação do SOC é mais rápida. Se o SOC das baterias de Ni-MH estiver no limite superior 75% e de modo a evitar sobrecarga a energia gerada no momento é só a necessária para repor o consumo que exista no sistema auxiliar de 12 V.

#### 4.4. A confirmação dos valores obtidos

Os valores obtidos em teste de estrada mais que os valores em si refletem comportamentos e atitudes do condutor perspetivando uma utilização real destes três automóveis.

Na figura 47 observa-se os fatores que segundo a Honda contribuíram para aumentar a eficiência do conjunto motor e conseqüente redução de consumo de combustível.

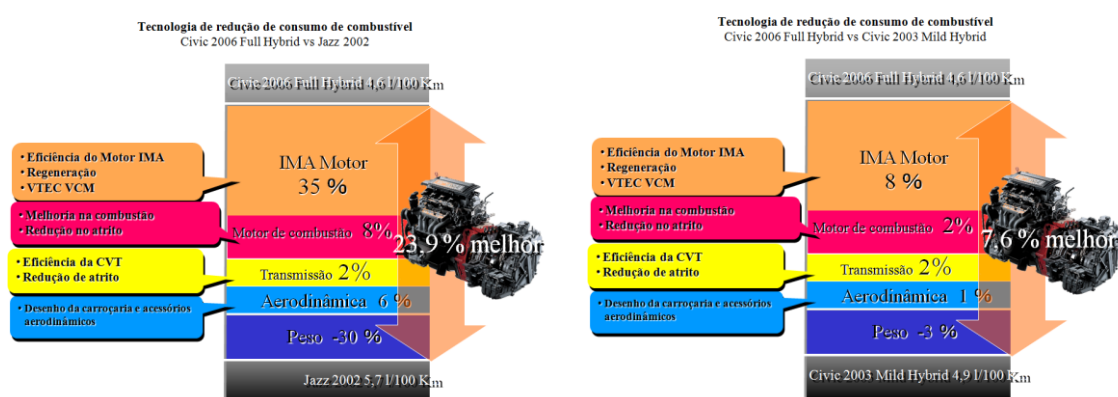


Figura 47 - Aumento de eficiência do conjunto ICE + IMA e a redução do consumo de combustível [10].

A redução do consumo de combustível entre o Civic Full Hybrid e o Jazz, anunciada pela Honda é de 23,9%. Para a redução de consumo de combustível o contributo do motor elétrico IMA é 35%, do motor de combustão é 8%, da transmissão é 2% e da aerodinâmica é 6%. O benefício técnico é no entanto anulado em 30% pelo fator peso superior do híbrido.

A redução do consumo de combustível entre o Civic Full Hybrid e o Civic Mild Hybrid, anunciada pela Honda é de 7,6%. Para a redução de consumo de combustível é de notar os 8% de melhoria com a utilização do novo motor elétrico IMA e de 2% com o motor de combustão.

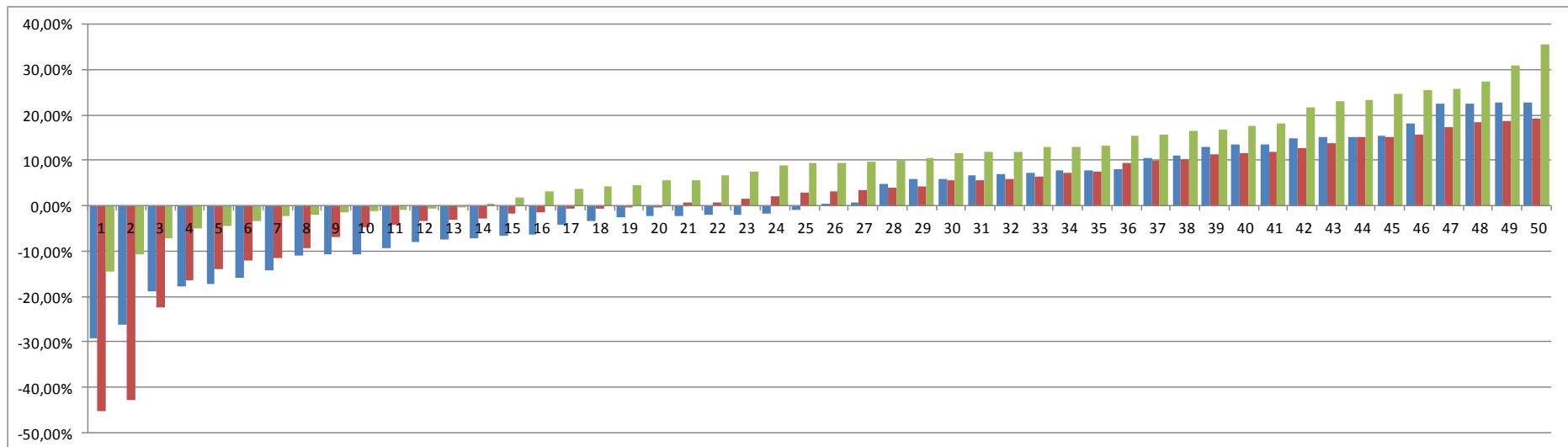
Estudos realizados em ADvanced VehIcle SimulatOR (ADVISOR) e com testes FUDS e FHDS diferentes dos europeus NEDC o consumo de combustível do híbrido em paralelo pode atingir 30 km/litro ou 3,33 litros aos 100 km e quando comparado com o automóvel convencional de motor de combustão interna, como o Jazz, é 24% melhor em consumo combinado [20] [28] [29] [24].

---

O conjunto de testes efetuados, permitiu identificar diferenças de funcionamento dos três automóveis, e como se esperava, obter diferentes prestações de acordo com percurso e utilizador.

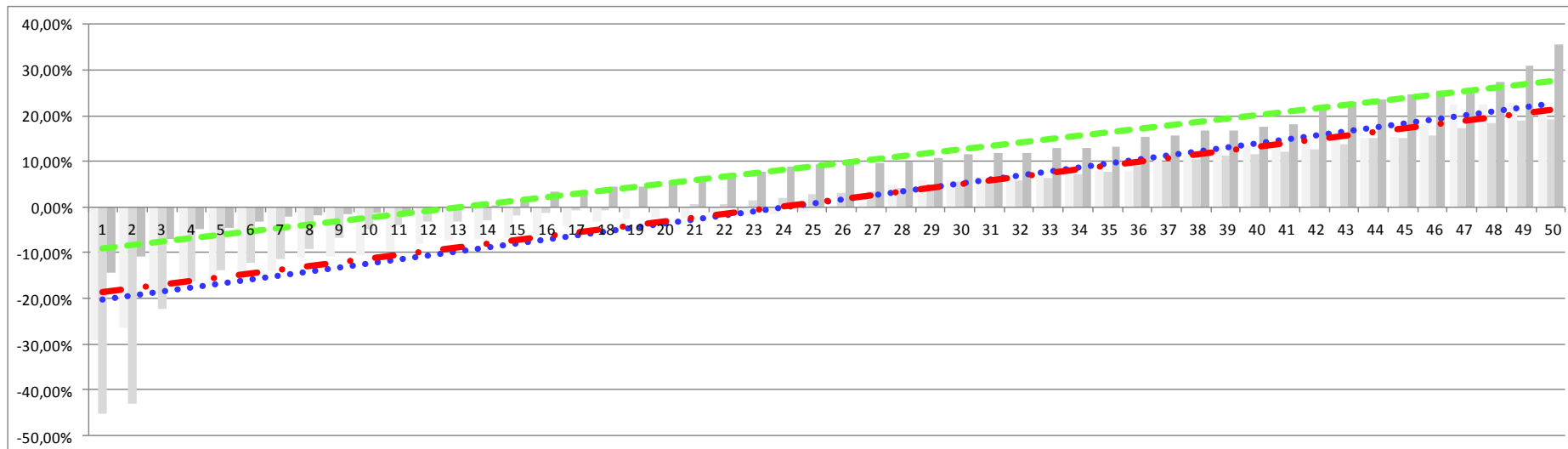
Para obter uma perspetiva de conjunto dos testes efetuados, foi elaborado o gráfico 8 onde os resultados individuais de cada automóvel foram sobrepostos, de modo a observar a influência do fator de agressividade de condução em cada um dos carros.

No gráfico 9, estão identificadas as curvas de tendência dos três automóveis, onde se destaca a curva do Civic Full Hybrid, que apesar do valor de desvio padrão ser o mais baixo dos três automóveis, mostra uma sensibilidade maior à condução agressiva tendo sido obtido somente 13 testes com consumo inferior ao anunciado pela Honda em catálogo.



- Jazz 1.4
- Civic Mild Hybrid
- Civic Full Hybrid

**Gráfico 8 – Perspetiva de conjunto do global dos desvios encontrados nos testes de consumo de combustível realizados aos 3 automóveis em estudo.**



- Jazz 1.4
- Civic Mild Hybrid
- Civic Full Hybrid
- ● ● Linear (Jazz 1.4)
- Linear (Civic Mild Hybrid)
- Linear (Civic Full Hybrid)

**Gráfico 9 – Curva de tendência do global dos desvios encontrados nos testes de consumo de combustível realizados aos 3 automóveis em estudo.**

---

Nos três automóveis, o desvio zero do consumo combinado de combustível obtido face ao anunciado surge deslocado para a esquerda do ponto médio. O desvio para a esquerda significa que os três automóveis são mais sensíveis e afetados pela condução agressiva do que pela boa condução e utilização nos testes realizados.

O valor de desvio zero para o Jazz foi 40,60%. Este valor significa que 40,6% dos testes realizados obtiveram valores de consumo abaixo do consumo combinado de combustível anunciado pela Honda em catálogo, no entanto o Jazz foi muito prejudicado pela condução agressiva a baixa rotação e em mudanças altas obtendo um valor médio de desvio de 5,92%.

O Civic Mild Hybrid teve um desvio zero de 31,25%. O valor do desvio zero surge mais cedo que o Jazz (40,6%), tendo sido a má utilização e condução agressiva penalizadoras para o consumo de combustível com o valor médio do desvio de 8,96% apesar do bom desempenho do motor elétrico IMA.

No Civic Full Hybrid o desvio zero encontrado foi 26,00%. O Civic Full Hybrid foi o automóvel que se desviou mais cedo do valor de consumo combinado de combustível anunciado pela Honda em catálogo. A utilização da caixa automática CVT em conjunto com o motor de combustão e motor elétrico IMA do Civic Full Hybrid permitem um andamento muito vivo e divertido mas também penalizador para o consumo de combustível onde o valor médio do desvio foi de 8,19%. O Civic Full Hybrid apesar de ser o dos três automóveis o que mais cedo se desviou do zero foi o que registou valores de consumo médio combinado mais perto dos anunciados pela Honda.

Apesar dos valores de consumo real serem majorados face aos valores de consumo simulado em diversos estudos realizados, obteve-se um comportamento e rendimento muito aproximado ao anunciado pela Honda, e pelo NREL's confirmando a validade dos resultados obtidos nos testes de consumo, mesmo utilizando recursos menos exatos e sofisticados.

---

# 5

## Conclusões e Trabalho Futuro

---

## 5. Conclusões e trabalho futuro

### 5.1. Conclusões

Conhecer o automóvel, a sua tecnologia e gestão de energia, assim como a influência do conhecimento da tecnologia do automóvel híbrido na utilização e no consumo de combustível, foram especialmente importantes para desenvolvimento e validação dos modelos matemáticos do estudo realizado.

Para estudar o consumo de combustível dos três veículos foram realizados testes reais de consumo baseados no Novo Ciclo de Condução Europeu, com uma recolha representativa e significativa de condições reais de condução. O modelo utilizado contemplou diferentes itinerários e perfis de utilização introduzindo fatores aleatórios que seriam dificilmente programáveis em software.

A utilização do automóveis em estrada, permitiu identificar uma das vantagens dos automóveis híbridos, o acréscimo de binário pela utilização do motor elétrico IMA. Os recursos disponíveis não permitiram confirmar em valor, a influência do acréscimo de binário, na redução do consumo de combustível, 33% de acréscimo no caso do Civic Mild Hybrid e 38% no caso do Civic Full Hybrid, permitiram no entanto perceber a mais-valia da utilização do motor elétrico IMA em conjunto com o ICE. O regime de rotação do ICE é mais favorável que no automóvel convencional, surgindo a máxima força do automóvel a rotações de motor mais baixas, possibilitando melhores acelerações e redução de consumo de combustível.

Os testes de estrada demonstraram que os consumos médios obtidos nos três automóveis foram superiores aos anunciados. O Jazz foi o que menos se afastou do consumo anunciado 5,92% e o Civic Mild Hybrid o que mais se afastou 8,96%.

O caso do Civic Full Hybrid afastou-se 8,19%, apesar de ser em termos absolutos o que mais baixo valor de consumo de combustível apresentou é o único dos 3 automóveis com CVT e os testes mostraram a necessidade do utilizador se familiarizar com a utilização desta caixa de velocidades. A condução muito viva do automóvel com acelerações fortes resultantes de relações de caixa curtas, acentuaram o desvio do consumo de combustível obtido face ao esperado, concluindo-se que o automóvel híbrido quando mal utilizado, se aproxima do comportamento do automóvel convencional.

A influência do peso no consumo de combustível foi igualmente objeto de estudo, e revelou que o aumento de peso no Jazz para valores do Civic Full Hybrid, aumentou o consumo de 6,0 para 8,2 litros/100 km correspondente a um acréscimo de 35,1% o que

---

leva a concluir que se fosse possível retirar o peso da tecnologia aos híbridos, reduziria-se o consumo de combustível. O peso do automóvel revela-se assim o grande inimigo dos automóveis híbridos e é seguramente um dos problemas a resolver no futuro.

O estudo realizado e os testes de estrada efetuados permitiram mostrar a influência do condutor e hábitos de condução no consumo de combustível, identificando limites e desvios. Acelerar com progressividade, evitando acelerações bruscas, desacelerar sempre que possível de modo a carregar as baterias, garantindo valores ideais de SOC, são comportamentos requeridos aos utilizadores dos híbridos se pretendem obter o benefício da redução do consumo de combustível e baixas emissões de gases poluentes.

## **5.2. Trabalho futuro**

Pela diversidade de ensaios efetuados constatou-se que o conjunto de informação disponível no carro, se bem entendida e seguida pelo utilizador, propõe a utilização ideal do carro e ensina a conduzir de forma a reduzir consumo de combustível e emissões.

No entanto, a concentração necessária à condução, sobretudo em percurso urbano, não permite olhar com atenção para a quantidade de informação disponível, e consequentemente alterar o modo de condução. Para realçar a informação que se pretende sugerir ao utilizador, propõe-se desenvolver uma ferramenta de ajuda à condução que, de modo complementar à existente no automóvel, surja como informação e advertência.

Com a utilização de GPS do acelerómetro e da tecnologia Bluetooth para emitir e receber valores de funcionamento do automóvel, desenvolver uma aplicação para Android e iOS, onde por simbologia e complementarmente com voz, sugeria quando solicitado, condições de utilização ideais de funcionamento, de qualquer automóvel face às condições observadas no momento.

Por exemplo numa condição em que é detetado acelerador a mais para as condições de utilização surgiria a informação por simbologia e complementarmente com voz:

Identificação de situação no mapa de condições ideais - Acelerador a mais para as condições de utilização no momento.

Sugestão principal - Se não precisa desacelere.

Sugestão alternativa - Se precisa, então seleccione mudança acima ou abaixo para favorecer consumo de combustível.

---

# Referências

---

## Referências

- [1] Honda Worldwide, Honda History Company Facts, 19/04/2012 disponível em <http://world.honda.com/history/>
- [2] US Environmental Protection Agency, History Clean Air Act US EPA, 18/06/2012 disponível em <http://epa.gov/air/caa/>
- [3] Honda Worldwide, Technology Picture Book(Automobile), 19/04/2012 disponível em <http://world.honda.com/automobile-technology/index.html>
- [4] UNECE Vehicle Regulations - 1958 Agreement, UNECE\_R85, em 17/08/2012 disponível em <http://www.unece.org/trans/main/wp29/wp29regs81-100.html>
- [5] Honda R & D, Honda Insight WR Outline, 07/07/1999
- [6] Wikipedia, the free encyclopedia, List of Toyota vehicles, em 28/06/2012 disponível em <http://en.wikipedia.org/wiki/Toyota>
- [7] Honda Worldwide, Hybrid Technology Site, 19/04/2012 disponível em <http://world.honda.com/Hybrid/>
- [8] Honda Worldwide, Honda World News, 03/04/2012 disponível em <http://world.honda.com/worldnews/index.html>
- [9] Honda Portugal S.A., Honda Jazz\_2002 specs, Civic\_4P\_2003 specs Civic\_4P\_2006 specs, 24/06/2006
- [10] Honda R & D Europe, Civic Hybrid press presentation, 05/02/2006
- [11] Honda Motor Europe Ltd., Training Department, 2003 Civic Hybrid, 15/08/2003
- [12] Honda R & D Tochigi, Outline of the 2003 Civic Hybrid, 14/01/2003
- [13] Honda Motor Europe Ltd., Training Department, 2003 Civic Hybrid, 23/10/2003
- [14] Honda R & D Tochigi, Outline of the 2003 Civic Hybrid, 14/01/2003
- [15] Honda Motor Europe Ltd., Training Department, 2006 Civic Hybrid, 15/08/2005
- [16] Hitachi Metals Precision, Ltd., Precision Castings (Produced with the Lost Wax Process), 19/04/2012 disponível em <http://www.hitachimetals.com>.
- [17] Honda Motor Co., Ltd., Technical Information of CIVIC-IMA, 20/11/2002
- [18] Honda R & D Tochigi, UH IMA, 30/10/2005

- 
- [19] U.S. DOE Energy Efficiency and Renewable Energy, How Vehicles Are Tested , 03/12/2011, disponível em [http://www.fueleconomy.gov/feg/how\\_tested.shtml](http://www.fueleconomy.gov/feg/how_tested.shtml)
- [20] Matthew R. Cuddy and Keith B. Wipke ( Janeiro 1997) Analysis of the Fuel Economy Benefit of Drivetrain Hybridization, Parallel and series hybrid vehicles are evaluated and compared using the National Renewable Energy Laboratory's ADVISOR simulation modeling tool., 27/01/2012, disponível em <http://www.nrel.gov/docs/legosti/fy97/22309.pdf>
- [21] Edward K. Nam, Robert Giannelli ( Fevereiro 2005) Fuel Consumption Modeling of Conventional and Advanced Technology Vehicles in the Physical Emission Rate Estimator (PERE) - Draft (EPA-420-P-05-001,February 2005) This report describes the modeling of fuel (and energy) consumption of conventional and advanced technology vehicles using physical principles (EPA publication # EPA-420-P-05-001)., 12/09/2012, disponível em <http://www.epa.gov/oms/models/ngm/420p05001.pdf>
- [22] Kyoungho Ahn ( Dezembro 1998) Microscopic fuel consumption and emission , Thesis submitted to the Faculty of the Virginia Polytechnic Institute and State University 19/01/2012, disponível em <http://scholar.lib.vt.edu/theses/available/etd-122898-094232/unrestricted/ETD.pdf>
- [23] Argonne TTRDC - Modeling, Simulation & Software – PSAT, 19/06/2012, , disponível em <http://www.anl.gov/>
- [24] Wikipedia, the free encyclopedia, New European Driving Cycle em 03/05/2012 disponível em [http://en.wikipedia.org/wiki/New\\_European\\_Driving\\_Cycle](http://en.wikipedia.org/wiki/New_European_Driving_Cycle)
- [25] Wikipedia, the free encyclopedia, Fuel economy in automobiles em 03/05/2012 disponível em [http://en.wikipedia.org/wiki/Fuel\\_economy\\_in\\_automobiles](http://en.wikipedia.org/wiki/Fuel_economy_in_automobiles)
- [26] Wikipedia, the free encyclopedia, United States Environmental Protection Agency How EPA Works em 03/05/2012 disponível em [http://en.wikipedia.org/wiki/United\\_States\\_Environmental\\_Protection\\_Agency](http://en.wikipedia.org/wiki/United_States_Environmental_Protection_Agency)
- [27] US Environmental Protection Agency, Regulations & Standards Fuel Economy US EPA, 18/02/2012 disponível em <http://www.epa.gov/fueleconomy/regulations.htm#test>
- [28] UNEP.org, City programm FUDS em 03/05/2012, disponível em [http://www.unep.org/transport/gfei/autotool/approaches/information/test\\_cycles.asp#US](http://www.unep.org/transport/gfei/autotool/approaches/information/test_cycles.asp#US)
- [29] UNEP.org, Highway programm FHDS em 03/05/2012, disponível em [http://www.unep.org/transport/gfei/autotool/approaches/information/test\\_cycles.asp#US](http://www.unep.org/transport/gfei/autotool/approaches/information/test_cycles.asp#US)