

# Comparação entre os sistemas híbridos da Toyota, Lexus e Honda

José Pereira, Pedro Peres

Instituto Superior de Engenharia do Porto – Departamento de Engenharia Electrotécnica  
1040783@isep.ipp.pt, 1040787@isep.ipp.pt

## Abstract

*Este trabalho efectua um estudo sobre os sistemas híbridos dos construtores automóveis que mais impulsionaram esta tecnologia nos últimos anos. Embora ainda dependam de combustíveis fósseis, os veículos híbridos, apresentam uma solução intermédia face aos veículos eléctricos e de célula de combustível, que deverão surgir no mercado nos próximos anos. A Toyota e a Honda cedo se destacaram neste mercado, tendo comercializado os primeiros veículos no final dos anos 90 do século passado. Na actualidade, os sistemas já apresentam melhorias significativas face aos iniciais, e são esperadas alterações significativas nos próximos anos.*

## 1. Introdução

Os veículos híbridos são veículos que utilizam duas fontes diferentes força motriz: um motor de combustão interna e um motor eléctrico, tendo como objectivo tirar vantagem dos benefícios proporcionados por essas duas fontes de potência. Embora os sistemas híbridos utilizem um motor eléctrico, não necessitam de recarregar a bateria, como fazem os veículos eléctricos.

Há três tipos de veículos híbridos. O primeiro deles é o sistema híbrido em série, em que o motor a combustão interna acciona um gerador para carregar as baterias, que envia energia para o motor eléctrico. Neste sistema, o motor a combustão interna tem a função de gerar a energia necessária para o funcionamento do motor eléctrico, para que este conduza as rodas do veículo. Além disso, o sistema híbrido em série possui limite de velocidade, sendo indicado para veículos de grandes portes, como, por exemplo, os autocarros.

O segundo tipo é o sistema híbrido paralelo, em que o motor a combustão interna e o motor eléctrico actuam de forma independente no accionamento das rodas do veículo, e o regime de funcionamento destas duas fontes de potência varia segundo a solicitação de carga do motor. A propulsão do veículo é feita pela actuação exclusiva do motor a combustão interna (fonte principal do sistema) ou pela acção simultânea dos dois motores. Enquanto o motor eléctrico estiver a carregar as baterias, não pode ser utilizado para accionar as rodas dos veículos. De modo

geral, é utilizado somente para auxiliar na aceleração ou em subidas.

O terceiro é o sistema híbrido misto, que combina aspectos do sistema em série com o sistema paralelo, que tem como objectivo maximizar os benefícios de ambos. Este sistema permite fornecer energia às rodas do veículo e gerar electricidade simultaneamente, usando um gerador, diferentemente do que ocorre na configuração paralela simples. É possível usar somente o sistema eléctrico, dependendo das condições de carga. Também é permitido que os dois motores actuem de forma simultânea.

Os dois principais fabricantes mundiais de veículos híbridos são a Toyota e a Honda. A principal referência do mercado é o Toyota Prius, que já vendeu mais de 1 milhão de unidades, sendo o principal modelo híbrido da Toyota, e o único híbrido da marca comercializado em Portugal. A Lexus, gama de veículos de classe alta da Toyota, disponibiliza 3 modelos com o sistema híbrido similar ao da Toyota. A Honda, por sua vez, possui no mercado o Honda Civic híbrido. Estas 2 grandes construtoras automóveis, apostam consideravelmente neste tipo de veículos, mas têm a particularidade de apresentarem sistemas híbridos distintos, com diferenças significativas na performance e capacidade.

## 2. Sistema híbrido da Toyota

O sistema utilizado pela Toyota é o Hybrid Synergy Drive (HSD), sendo um sistema híbrido que consegue conjugar o melhor dos sistemas paralelos com o melhor dos sistemas série. Isto permite ao Prius ter uma série de comportamentos que marcam a diferença, permitindo uma boa experiência de condução que o sistema Integrated Motor Assist (IMA), paralelo, não permite.

O Toyota Prius foi apresentado ao Mercado japonês em 1997, apresentando a primeira versão do Toyota Hybrid System (THS).

Em Abril de 2003 foi apresentado o sistema Toyota Hybrid System II (THSII), que é o sistema actual. O THS II, é a combinação eficaz entre duas forças motriz, que são a potência e o binário versus velocidade conforme figura seguinte apresenta.

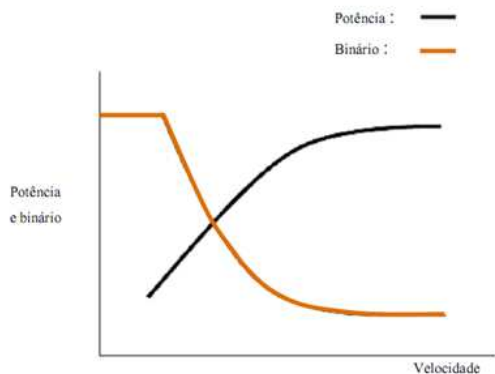


Figura 1: Performance do sistema THS II

O motor eléctrico possui grande binário, é portanto, utilizado durante o arranque. O motor pode debitar uma potência alta de saída. Em condições normais de condução, a potência do motor é enviada para as rodas.

Durante a aceleração e velocidade máxima, motor e motor eléctrico são combinados.

### 2.1. Componentes

Os componentes utilizados no Prius foram fabricados visando a compactabilidade de modo a otimizar o espaço disponível no carro e o factor peso.

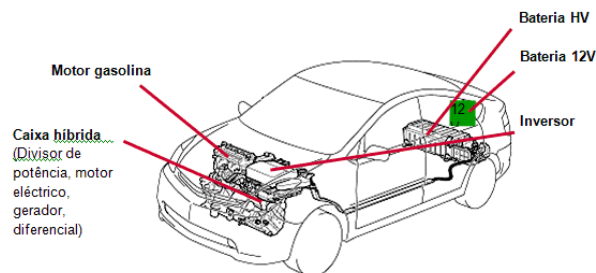


Figura 2: Localização dos componentes

O Prius é constituído por um motor de combustão interna a gasolina com 1,5 litros e por 2 motores eléctricos que podem funcionar como gerador ou motor. A potência combinada máxima é de 111cv.

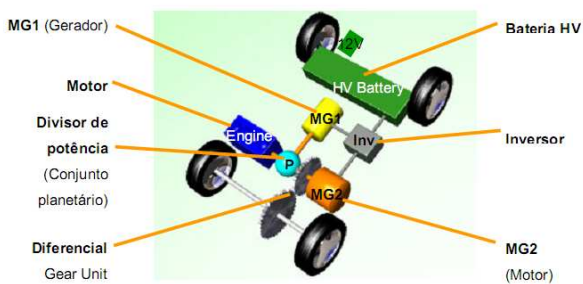


Figura 3: Disposição do sistema THS II

### 2.2. Gerador Motor (MG1)

Este gerador/motor de arranque para motor a combustão permite efectuar o carregamento das baterias de alta tensão (HV), auxiliar o motor eléctrico, arrancar o motor de combustão e a controlar a função de transmissão contínua variável (CVT).

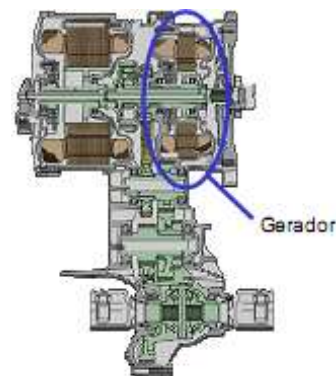


Figura 4: Gerador MG1

Tabela 1: Características do MG1

Tipo	Motor AC Síncrono
Função	Gerador, Motor de arranque
Tensão bateria (V)	AC 500
Potência máxima (kW / rpm)	37.8 (50cv) / 9500
Binário máximo (N.m / rpm)	45 / 0 – 6000
Corrente no binário máximo (A)	75
Rotação máxima (rpm)	10,000 rpm
Sistema de arrefecimento	Refrigeração líquida

### 2.3. Motor (MG2)

Este motor eléctrico gerado fornece a potência às rodas e efectua a travagem regenerativa. Possui uma energia máxima de 50 kW e com um binário máximo de 400 N.m, a distribuição do binário é feita por uma larga faixa de rotações.

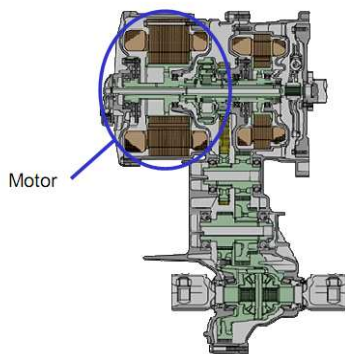


Figura 5: Motor MG2

Tabela 2: Características do MG2

Tipo	Motor AC Síncrono
Função	Gerador, potência rodas
Tensão (V)	AC 500
Potência máxima (kW / rpm)	50 (67cv) / 1200 – 1540
Binário máximo (N.m / rpm)	400 / 0 – 1200
Corrente no binário máximo (A)	230
Sistema de arrefecimento	Refrigeração líquida

## 2.4. Controlo de Energia THS II

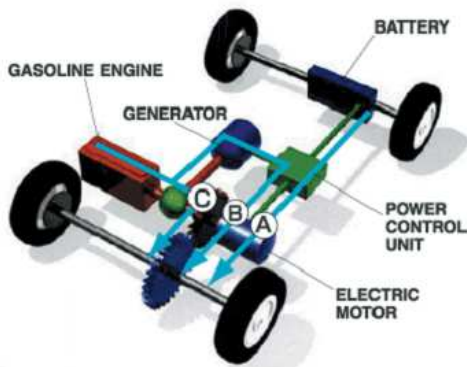


Figura 6: Diagrama energia THS II

O controlo de energia é feito da seguinte maneira:

Apenas MG2 (A) é usado quando veículo está a arrancar, enquanto o MG1 (gerador) funciona para iniciar o motor de combustão interna (MCI), se necessário, se o nível da bateria o requerer. O motor de gasolina é ineficaz em velocidades lentas, assim quando arrancar, o Prius utiliza apenas o motor eléctrico, tirando energia da bateria HV. O motor de gasolina será iniciado automaticamente quando necessário

(como habitualmente quando velocidade exceder 40 km / h.). A ECU controla a força motriz de MG1, MG2 e do Motor.

Em condução sob condições normais (cruzeiro sem aceleração ou travagem brusca), o motor a gasolina é a principal fonte de energia. O motor de gasolina impulsiona as rodas directamente (C), e ainda alimenta o gerador, que por sua vez alimenta o motor eléctrico (B) adicional para fornecer mais potência às rodas. O THS II mantém sempre o melhor rácio de gasolina e energia eléctrica para a máxima eficiência.

Quando o condutor precisa potência máxima (aceleração brusca), três fontes de força são combinadas: Energia extra fornecida pela bateria (A), enquanto o MCI e o MG2 (B+C) promovem uma resposta instantânea e suave.

Quando existe uma desaceleração ou travagem, o motor eléctrico (MG2) funciona como um gerador impulsionado pelas rodas do veículo. Esta travagem regenerativa transforma a energia cinética em energia eléctrica sendo armazenada pelas baterias de NiMH. Quando o pedal acelerador é solto ou premido é enviado um sinal a ECU (proporcional a pressão exercida), para ser balanceada a pressão exercida nos travões hidráulicos, para minimizar a quantidade de energia cinética perdida. É possível recuperar cerca de 30% da energia cinética em energia eléctrica.

Durante a marcha-atrás, só o motor eléctrico (MG2) é usado e o motor a gasolina está parado.

O nível de bateria é constantemente monitorizado para ter reserva suficiente. Sempre que seja necessário o MCI liga-se fazendo com que o gerador forneça energia para recarregar as baterias restabelecendo o nível de bateria de 40-60% visando o prolongamento de vida das mesmas.

O Prius inclui o botão "EV", que permite ao condutor, se o nível das baterias o permitir, circular a baixa velocidade durante alguns quilómetros só com o motor eléctrico a funcionar.

## 2.5. Divisor de Potência

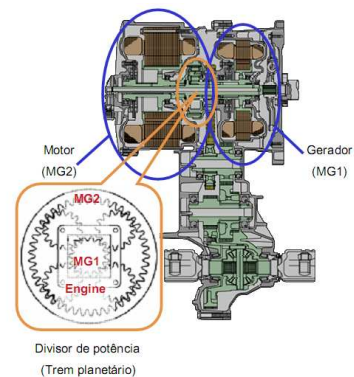


Figura 7: Divisor de potência

O MCI, MG1 e MG2 eléctrico estão ligados mecanicamente por um trem planetário ou seja um divisor de potência, que vai dividir a potência fornecida às rodas e a ser utilizada para alimentar o gerador. O dispositivo de divisão de força é o coração do Toyota Prius, permitindo que o carro opere como um híbrido paralelo – o motor eléctrico pode movimentar o carro por si mesmo, o motor a gasolina também pode fazê-lo ou os dois podem funcionar juntos. O dispositivo de divisão de energia também permite que o carro opere como um híbrido em série – o motor a gasolina pode operar independentemente da velocidade do veículo, carregando as baterias ou fornecendo potência para as rodas, de acordo com a necessidade. Ele também actua como uma transmissão contínua variável (CVT), eliminando a necessidade de uma caixa automática convencional ou manual. Permite também que o gerador funcione como motor de arranque.

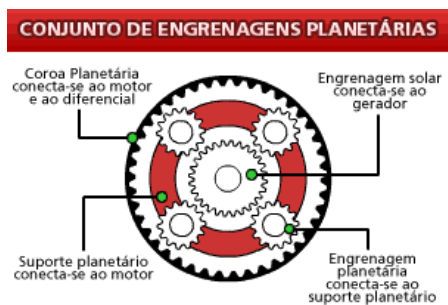


Figura 8: Trem planetário

O motor eléctrico é conectado à coroa do conjunto de engrenagens e ao diferencial, que impulsiona as rodas. Portanto, qualquer que seja a velocidade em que o motor eléctrico e a coroa girem, esta é que determina a velocidade do automóvel.

Durante a aceleração, inicialmente o motor eléctrico e as baterias fornecem toda a potência. A coroa do dispositivo de divisão de energia é conectada ao motor eléctrico, de modo que este comece a girar com o motor. O suporte planetário, que é conectado ao motor a gasolina, encontra-se estacionário porque este não está a funcionar. Uma vez que a coroa comece a girar, as engrenagens planetárias giram, o que faz com que a engrenagem solar e o gerador girem. À medida que o carro acelera, o gerador funciona na velocidade necessária para que o motor permaneça desligado.

Quando o automóvel atinge os 40 km/h, o motor a gasolina é ligado. Então, o gerador muda de rotação, fazendo com que o suporte planetário gire e o faça rodar. Depois que este entrar em operação, funciona a rotação constante, enquanto o gerador varia a sua rotação para combinar a da sua saída com a do motor eléctrico. Numa aceleração brusca, o motor eléctrico utiliza energia adicional das baterias. A velocidade constante, o

automóvel move-se como motor a gasolina e o motor eléctrico, e electricidade proveniente do gerador.

Tudo o que foi anteriormente referido é possível devido a existência de uma caixa híbrida, na medida em que é ela que vai permitir ligar diferentes componentes como por exemplo o motor a gasolina, o gerador, e o motor eléctrico, por intermédio do trem planetário.

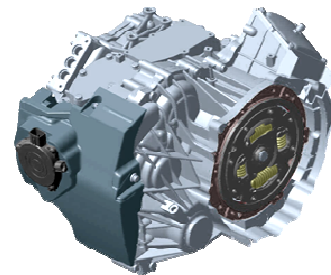


Figura 9: Caixa Híbrida

## 2.6. Motor combustão interna:

O Prius possui um motor de 1.5 litros a gasolina, Liga de alumínio, 16-válvulas, DOHC, VVT-I, com 77 cavalos de potência, com grande eficiência térmica em que uma das preocupações foi obter uma fricção reduzida e uma eficiência melhorada, para conseguir obter baixas emissões e baixos consumos de combustível.



Figura 10: Motor combustão interna (MCI)

Uma das alterações da última geração do Prius foi a redução do peso dos pistões e valor de fricção.

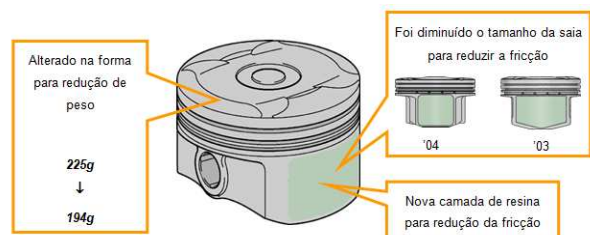


Figura 11: Pistão

No sistema de admissão de escape, o colector de escape, é feito de aço inoxidável para redução de peso e para melhorar a rapidez de aquecimento do catalisador.

O Sistema de controlo de motor é controlado por dois sensores essenciais: O sensor de mistura e o sensor de oxigénio ou sonda lambda. O sensor faz parte do sistema de controlo de emissões e envia dados para o computador de gestão do motor. O objectivo do sensor é ajudar o motor a funcionar da forma mais eficiente e produzir o mínimo de emissões.

## 2.7. Sistema de arrefecimento:

O Sistema de arrefecimento do motor é feito por um radiador que tem dupla funcionalidade, sendo elas o arrefecimento do motor e inversor, visando o aproveitamento do espaço e a redução do peso total do veículo.

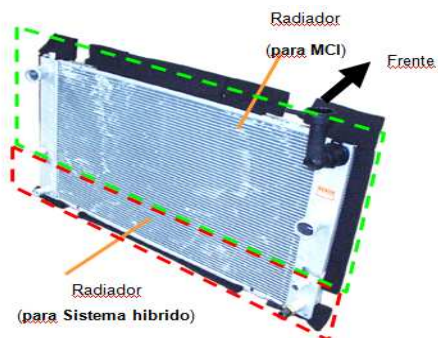


Figura 12: Radiador

## 2.8. Bateria HV

A bateria HV é a principal fonte de energia a alimentar o sistema, e para tal, possui certas características.



Figura 13: Bateria HV

A bateria do Toyota Prius é fabricada pela Panasonic consiste em 28 módulos de NiMH (Hidrato Metálico de Níquel) prismáticos conectados em série, com tensão nominal de 201,6 V e com capacidade nominal de 6,5Ah.

Cada módulo possui cerca de 6 células possuindo cada uma delas 1,2V. Cada módulo tem a tensão nominal de

7,2V e pesa 1,04Kg. As dimensões são: 19.6mm (W) x 106mm (H) x 275mm (L). Os módulos são empilhados e comprimidos juntos numa estrutura rígida, não expansível que previne expansão devido a pressões internas. O peso do pacote de bateria completo é 53.3kg.

O pacote é posicionado horizontalmente na por detrás do banco traseiro do veículo.

A capacidade de fornecer energia aumenta com temperaturas mais elevadas e vice-versa. Possui gestão térmica activa para poder melhorar a capacidade de fornecer energia a temperaturas baixas. A potência de descarga da bateria é de 20kW quando esta tem uma carga de 50% (SOC - state of charge), com capacidade regenerativa de 14,5Kw a 2°C.

O Prius tem um computador totalmente dedicado a manter a bateria aos níveis óptimos de temperatura e de carga. Ambas estas funções aumentam o tempo de vida da bateria. A Toyota mostrou em laboratório que a bateria HV pode realizar 290 mil km em condução normal sem degradação significativa da mesma, isto se deve ao controlo computadorizado da bateria.

O sistema de arrefecimento da bateria é efectuada da seguinte forma: a ECU da bateria efectua o controlo da ventoinha, ligando-a quando esta atinge uma determinada temperatura.

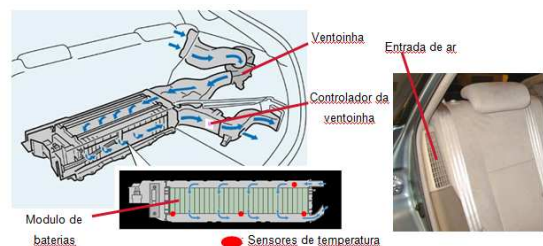


Figura 14: Sistema de arrefecimento

Existe também uma bateria auxiliar que se encontra também ligada ao sistema, de 12V, sendo uma bateria suplementar de forma a alimentar assim que seja necessário, as luzes, o sistema de áudio e as respectivas centralinas.

## 2.9. Inversor



Figura 15: Inversor

Este inversor converte os 201,6V DC das baterias HV em 500V AC. Este aumento deve-se a um conversor Boost, que tem a finalidade de aumentar a tensão nominal de saída da bateria HV.

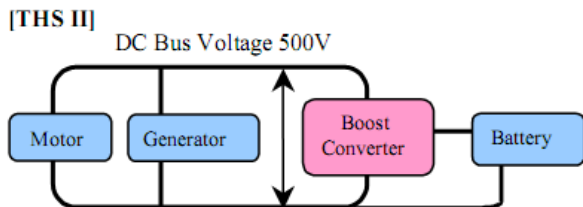


Figura 16: Conversor boost

Possui um conversor DC-DC que converte os 201,6V para 12V de forma a carregar a bateria auxiliar.

Com o aumento da tensão consegue-se aumentar a potência e o binário máximo, aumentando a eficiência e diminuindo o consumo de corrente aumentando assim a autonomia do Prius.

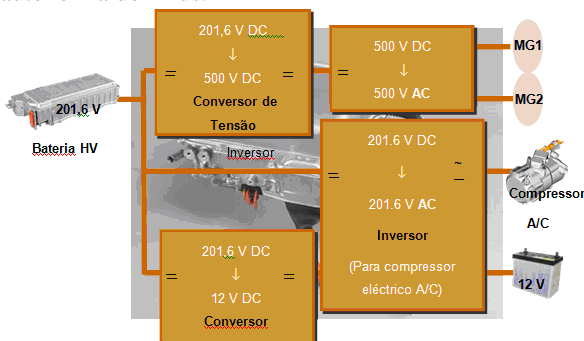


Figura 17: Diagrama de conversão do Sistema THS II

O IPM, Intelligent Power Module (Módulo de Potência Inteligente) converte a corrente DC em AC.

A refrigeração é efectuada por intermédio de um só radiador que faz a refrigeração do inversor e motor como já foi anteriormente referido.

## 2.10. CVT

A CVT (Continuous Variable Transmission) é uma transmissão automática que consegue obter infinitas possibilidades de desmultiplicação entre um valor máximo e um mínimo. Este tipo de transmissão permite obter melhores consumos de combustível pois permite ao motor funcionar em rotações mais adequadas para a gama de velocidade actual. Deixámos então de ter relações pré-definidas de desmultiplicação como as habituais caixas de 5 ou 6 velocidades e passamos a ter um controlo mais rigoroso das condições permitindo uma capacidade de aceleração com eficiência e baixo consumo.

O controlador da CVT permite obter uma performance na condução devido à escolha da razão de

desmultiplicação em função das condições da estrada (Por exemplo: gelo, chuva) e tendo em consideração a aceleração, velocidade, Força G, etc.

O trem de planetários é o CVT da Toyota, que se designa de ECVT (Electrically Controlled Variable Transmission), e é um sistema CVT particular que so possui um único modo de funcionamento, que age como se o automóvel estivesse sempre na mudança mais alta. Isto deve-se ao facto de a desmultiplicação do CVT depender da potência pedida, neste caso na pressão exercida no pedal do acelerador.

## 2.12. Sistema de Comunicação

A comunicação CAN no sistema híbrido, permite diagnosticar todos estes pontos fulcrais no funcionamento desta viatura, se um componente por algum motivo deixar de funcionar momentaneamente, ou até mesmo avariar, permitir que os outros componentes se reajustem a essa avaria, e informem o utilizador neste caso o condutor de forma que ele tome as devidas precauções, A comunicação de diagnóstico é feito por intermédio de uma ficha denominada DLC.

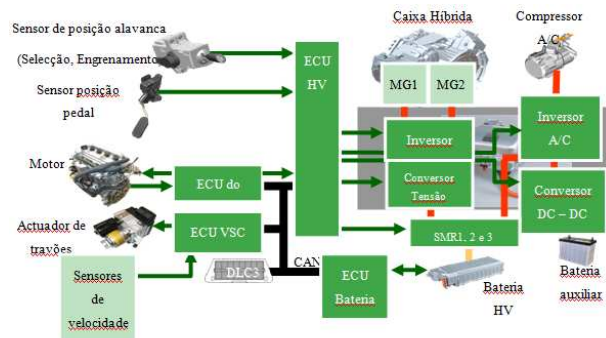


Figura 18: Diagrama do sistema de comunicação

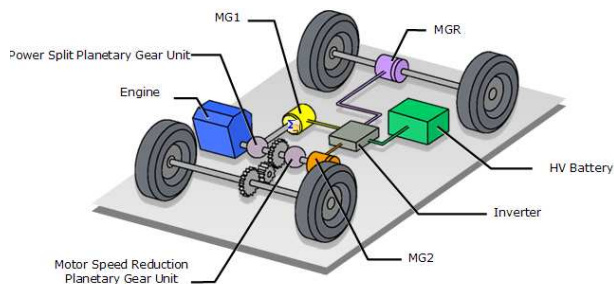
## 3. Sistema híbrido da Lexus

A Lexus, marca de veículos topo de gama da Toyota, utiliza o HSD em 3 modelos, com ligeiras diferenças relativamente ao sistema utilizado no Prius.

O primeiro modelo, SUV RX400, foi apresentado em Março de 2005. No caso do RX 400h existem dois motores eléctricos, um para cada eixo, enquanto o Prius tem apenas um, na dianteira. O motor eléctrico dianteiro (MG2) gera 167cv e o traseiro (MGR), 68cv. O motor a gasolina é um V6 de 3,3L com 208cv. Juntos, os três entregam 268cv cavalos de potência, força superior à encontrada em modelos convencionais equipados com motores V8.

Além de movimentar o automóvel, os motores eléctricos do RX 400h têm a função de recarregar as

baterias eléctricas do sistema. O motor eléctrico dianteiro pode-se transformar num gerador, enquanto a tracção estiver a cargo do MCI ou durante as travagens. Nesta segunda condição, ele recebe a ajuda do motor eléctrico traseiro, de forma a aproveitar a energia dissipada nas travagens (função regenerativa) tanto dos travões traseiros como dianteiros. Quando o motor eléctrico envia sua força para as rodas, e se for necessário recarregar as baterias, o trabalho passa a ser feito só pelo MCI. O MG2 está ligado ao eixo transversal das rodas da frente por meio de um segundo trem de planetários de forma a aumentar a densidade de potência do motor.



**Figura 19: Componentes do sistema híbrido do Lexus RX 400h**

Em aceleração brusca, os motores enviam força total para as quatro rodas acelerando dos 0 aos 100 km/h em 8,5. O consumo combinado deste modelo é de 8,1L/100km e as emissões CO2 são de 192g/km.

A bateria do sistema híbrido do Lexus é constituída por 30 módulos NiMH, tendo cada 8 células de 1,2V, fornecendo uma tensão de 288V. O boost converter equipado converte os 288V da bateria para 650V máximos de forma a suportar as velocidades mais elevadas dos motores.

Existem também os modelos LS600h e o GS450h. Estes modelos não possuem o motor MGR. Em vez disso usam 2 embraiagens para mudar a desmultiplicação para as rodas entre 3,9 e 1,9, de forma a obter regimes específicos para condução a baixa e alta velocidade. Isto diminui a potência que flui entre o MG1 e MG2 durante alta velocidade, diminuindo a eficiência da parte eléctrica (para cerca de 70%), permitindo um aumento da performance da transmissão.

O LS600h é o primeiro topo de gama híbrido do mundo com tracção integral e um motor 5.0L V8 a gasolina (com 394cv). O motor eléctrico dianteiro tem uma potência de 221cv, com potência combinada de 445cv, chegando dos 0 aos 100 km/h em 6,3 segundos, com velocidade máxima de 250Km/h. O Consumo Combinado é de 9,3L/100km com emissões de CO2 de 219g/ km.

O GS450h é o primeiro híbrido com elevadas performances do mundo chegando dos 0 aos 100 km/h em menos de 6 segundos, com velocidade máxima de 250Km/h. O consumo combinado é de 7.6L/100km com emissões de CO2 de 180g/ km.

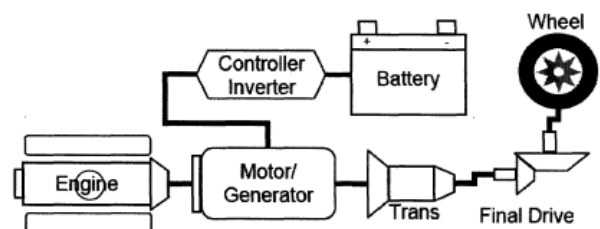
Na cidade ou a baixas velocidades é accionado o motor eléctrico que possui 197cv, enquanto que a velocidades mais elevadas funciona o motor V6 de 3.5L a gasolina (292cv), em conjunto com a motorização eléctrica debitando uma potência combinada de 345cv. Possui tracção traseira e CVT.

#### 4. Sistema híbrido da Honda

O sistema automóvel híbrido da Honda, designado de Integrated Motor Assist (IMA), foi apresentado pela primeira vez em 1997, e comercializado em 1999 no modelo Insight. A partir de 2003 começou a ser produzido um modelo híbrido do Civic, e que é na actualidade o único modelo híbrido em produção pela Honda.

O sistema é composto por um motor de combustão interna (MCI), por um motor/gerador eléctrico, situados na parte da frente do automóvel, uma unidade de inteligência de potência (Intelligent power unit - IPU), situada na traseira, onde está integrada uma bateria que armazena e fornece energia ao motor eléctrico.

O sistema híbrido utilizado é semelhante a um sistema híbrido paralelo em que motor eléctrico funciona como motor de arranque, equilibrador do motor e assiste o motor de tracção. O motor eléctrico está directamente acoplado ao motor de combustão, o que inicialmente limitava o funcionamento do sistema, já que o motor eléctrico só servia para fornecer potência extra (essa limitação foi resolvida no IMA do Civic de 2006). O motor eléctrico utilizado é menos potente que o da Toyota e tem como função primordial fornecer energia ao motor de combustão durante o arranque e aceleração, períodos em que o consumo de combustível é mais elevado. O motor eléctrico só funciona individualmente quando o automóvel se desloca a baixa velocidade (entre 20 e 50km/h), e durante a desaceleração, em que funciona como gerador.



**Figura 20: Sistema IMA da Honda**

A escolha de um sistema paralelo pela Honda deve-se ao facto de ser um sistema simples que necessita de um

pequeno motor e de uma pequena bateria, o que torna o sistema leve, tendo um menor impacto na condução do veículo e na eficiência de combustível. Uma desvantagem de este tipo de híbridos é que só é possível gerar energia para carregar a bateria durante a desaceleração e travagem do veículo, ao contrário do que sucede no sistema híbrido da Toyota.

O modelo híbrido comercializado actualmente pela Honda é o Civic Hybrid, que possui um MCI de 1.3l de 3 estados i-VTEC, um motor/gerador eléctrico trifásico de ímã permanente de 15kW, e uma unidade de inteligência de potência (IPU), em que está integrada uma bateria de hidrato metálico de níquel (NiMH).

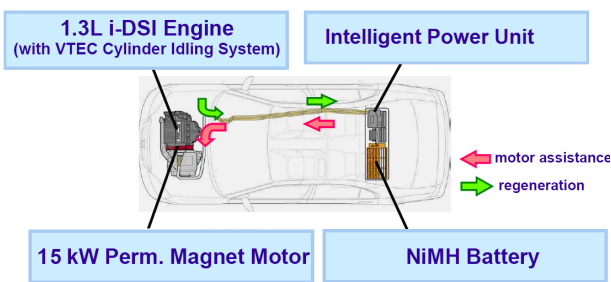


Figura 21: Sistema IMA do Civic, e motor de gasolina

#### 4.1. Modos de operação do sistema IMA

O sistema híbrido da Honda está dividido em 8 modos de funcionamento, de forma a aproveitar ao máximo a potência de ambos os motores, de forma a implementar regimes de funcionamento que permitam a poupança de combustível sem afectar a condução. Estes modos de funcionamento dependem essencialmente das rpm do motor a gasolina, da velocidade a que o veículo se desloca e dos períodos de aceleração e desaceleração.

Os 8 modos de operação do IMA são:

- 1 – Veículo parado: o motor de combustão e o motor eléctrico estão parados, e o consumo de combustível e emissões são nulos. Ao libertar o travão o motor de combustão começa automaticamente. A bateria do IMA fornece toda a energia aos sistemas eléctricos.
- 2 – Partida e aceleração: motor de combustão a baixas rotações e o motor eléctrico assiste o poder adicional de aceleração.
- 4 – Ligeira aceleração a velocidade reduzida: o MCI funciona sozinho e a baixas rpm.
- 4 – Condução a velocidade reduzida: A conduzir entre 20 e 50 km/h, os 4 cilindros são desactivados e o fornecimento de combustível cessa, e o veículo anda com a energia fornecida pelo motor eléctrico.
- 5 – Aceleração a baixa velocidade: Durante a aceleração, e com o MCI a funcionar a baixas rpm, o motor eléctrico fornece a potência adicional para a aceleração.
- 6 – Aceleração rápida: quando a borboleta é aberta quase na totalidade para uma maior aceleração, o motor de combustão muda para altas rotações, e o motor eléctrico fornece a potência adicional para obter a aceleração desejada.
- 7 - Condução a alta velocidade: quando o veículo se desloca a alta velocidade, mas o motor está no modo de baixas rpm, o MCI funciona sozinho.
- 8 – Desaceleração: as válvulas dos 4 cilindros são fechadas e o motor de combustão parado. Uma parte da energia cinética da travagem ou desaceleração é aproveitada e armazenada utilizando o motor como gerador e armazenando a energia na bateria.

De referir, que a baixa capacidade da bateria limita a distância que o veículo pode percorrer a baixa velocidade apenas com o motor eléctrico. O facto de só ser possível armazenar energia gerada durante as travagens é outro factor limitativo da autonomia da bateria.

#### 4.2. Motor de combustão interna

O Civic está equipado com um MCI de 1.3litros de 3 estados i-VTEC com 4 cilindros, e com potência máxima de 95cv a 6000rpm (no modelo de 2008), e a gasolina.



Figura 22: Modos de operação do IMA





Figura 23: Motor de 1.3L i-VTEC com motor eléctrico

Tabela 3: Características do motor a gasolina

Potencia máxima	15kW (95cv) / 6000rpm
Binário máximo	123Nm (12,5kg.m) /4600rpm

O MCI está programado para que as válvulas de admissão funcionem em 3 estados para que se adaptem ao modo de condução, permitindo uma maior eficiência energética do motor. Para tal, existem 2 lóbulos de came. Um dos lóbulos é utilizado quando o motor funciona a baixas rotações, e o outro a altas rotações. Quando o motor funciona a baixas rpm é utilizado o lóbulo de came que permite a abertura reduzida da válvula de admissão, de forma a criar um efeito de turbulência diminuir o consumo de combustível, obtendo uma boa combustão. Quando o motor funciona a altas rpm, é utilizado o segundo lóbulo de came, que permite uma maior abertura da válvula de admissão e consequente aumento de potência de combustão. Quando o veículo desacelera, as válvulas de admissão são fechadas e deixa de ocorrer a combustão.

Estes 3 estados são possíveis de atingir através de um design de rocker arm com 3 circuitos hidráulicos que recebem óleo de uma válvula externa, controlada pela Engine Control Unit (ECU), dependendo principalmente das rpm e da abertura da borboleta. A pressão do óleo de um dos 3 estados activa uma combinação de push pins dentro dos rocker arms para as válvulas de admissão e de escape, permitindo que as válvulas de admissão sigam um dos 2 lóbulos da árvore de cams, ou manter as válvulas fechadas. Por cilindro existem 5 rocker arms, com 3

situados no lado da válvula de admissão e 2 no lado da válvula de escape.

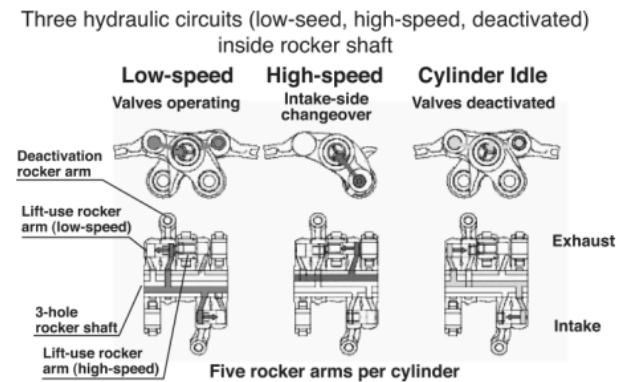


Figura 24: Circuitos hidráulicos dos rocker arms

### 4.3. Motor eléctrico

O motor eléctrico do Civic tem 20cv (15kW) e pesa 29.93Kg e está montado entre o motor a transmissão CVT. É um motor brushless CC de íman permanente, com 70mm de espessura. Está situado no espaço onde deveria estar o volante do motor. Neste motor o rotor serve como volante do motor, permitindo uma fácil integração do motor eléctrico no MCI.

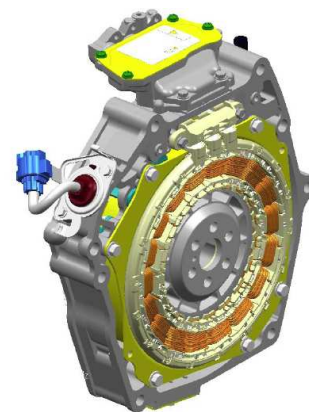


Figura 25: Motor eléctrico do Civic

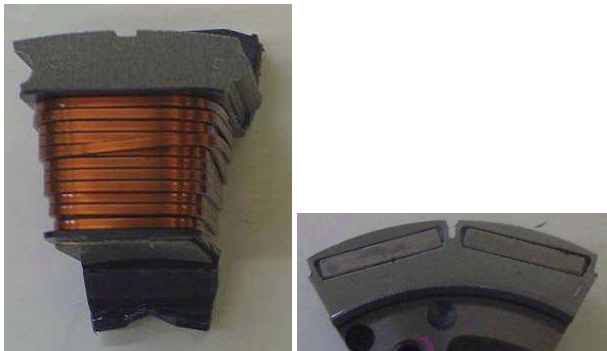
Tabela 4: Características do motor eléctrico

Potência máxima	15kW (20cv) / 2000rpm
Binário máximo	103Nm (10,5kg.m) /0-1160rpm
Potência regenerativa máxima	15,5kW
Binário regenerativo máximo	123Nm

A sua função principal é fornecer uma quantidade substancial de binário para ajudar na aceleração, e assistir o motor durante as subidas. Dada a baixa potência do motor, o veículo só se pode deslocar a baixa velocidade quando utiliza unicamente o motor eléctrico.

A combinação do motor eléctrico com o MCI permite que a potência máxima combinada seja de 115cv/6000rpm, e que o binário máximo combinado seja de 167Nm/2500rpm.

O rotor contém diversos ímanes permanentes colocados geometricamente dentro de uma estrutura de ferro. O estator é composto por diversos enrolamentos, em que cada enrolamento é enrolado num único dente. O fio do estator é liso de forma a aumentar a densidade do enrolamento permitindo gerar um maior campo magnético e conseqüente aumento do binário, e redução das perdas.

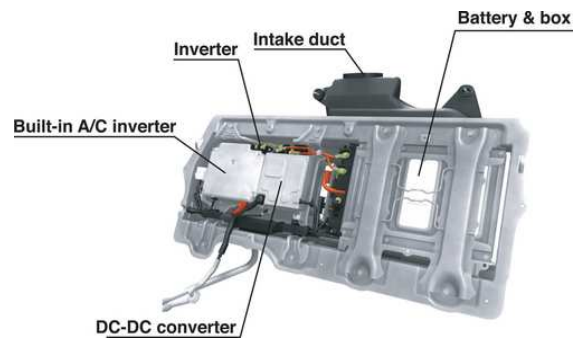


**Figura 26: Enrolamento do estator (esquerda), e íman permanente do rotor (direita)**

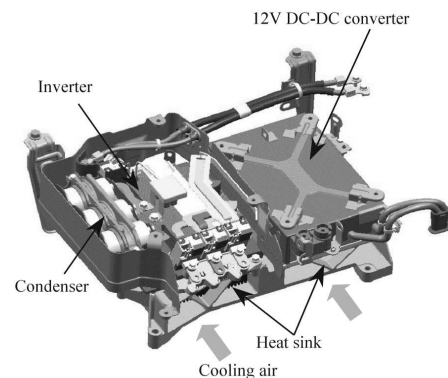
#### 4.4. Unidade de potência inteligente

A potência do sistema IMA é controlada pela unidade de potência inteligente (IPU). Situada por detrás do banco traseiro, consiste na unidade de controlo de potência (PCU), que é o centro de comando do IMA, um módulo de bateria recarregável de NiMH, e uma unidade integrada de arrefecimento. O peso total desta unidade é de 55kg, e ocupa um volume de 59L.

A PCU controla electronicamente o fluxo de energia de, e para, o motor eléctrico, um conversor DC-DC 12V, um inversor, e um inversor para o sistema de ar condicionado.



**Figura 27: Unidade inteligente de potência (IPU)**

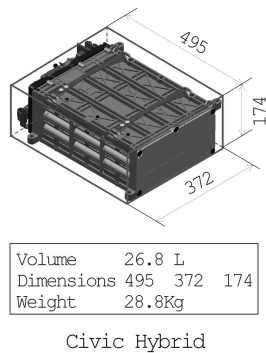


**Figura 28: Unidade de controlo de potencia (PCU)**

O conversor DC-DC 12V permite a conversão da tensão de 158V da bateria de NiMH para 12V, para alimentar o sistema eléctrico. O seu desempenho permite que as perdas energéticas sejam reduzidas através da utilização de soft-switching, e que funciona a 2 frequências, 90 e 115kHz. A comutação a 115kHz de frequência é efectuada na entrada a 158V, onde as perdas resultantes do soft switching e do transformador são elevadas. Na saída, a 12V, a frequência de comutação é de 90kHz, devido as menores perdas resultantes do soft switching. Esta combinação permite obter uma maior eficiência, e um conversor leve e de reduzido tamanho.

##### 4.4.1. Bateria

Os híbridos da Honda utilizam uma bateria de hidrato metálico de níquel (NiMH) para armazenar energia fornecida pelo motor durante a travagem regenerativa e fornecer energia ao motor eléctrico, quando este necessita. A bateria, produzida pela Panasonic, consiste em 22 módulos de NiMH, que corresponde a 132 células de 1.2V, obtendo uma tensão nominal de 158V, com capacidade nominal de 5,5Ah.

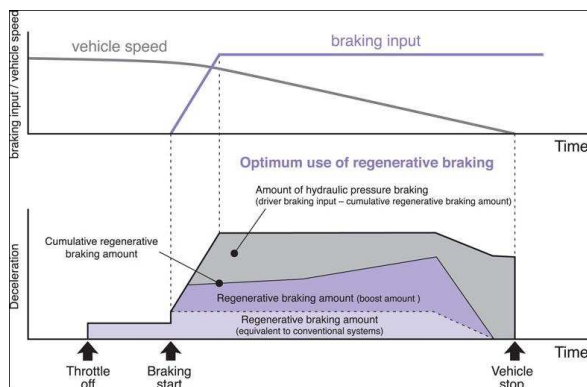


**Figura 29: Dimensão e peso da bateria de NiMH do Civic**

É uma bateria que mantém uma tensão de saída constante, independentemente do estado da carga (SOC). Para arrefecer o calor gerado pelo fluxo constante de corrente eléctrica de, e para, a bateria é utilizada uma unidade integrada de arrefecimento, montada directamente sobre o exterior da caixa de bateria. Esta unidade permite um constante fluxo de ar, que é recirculado através de um ventilador situado na prateleira atrás do banco traseiro.

#### 4.5. Sistema cooperativo de travagem regenerativa

Um modo de funcionamento fundamental do sistema IMA é a travagem regenerativa. Durante a travagem o motor eléctrico funciona como gerador, capturando a energia cinética gerada pela travagem, carregando a bateria.



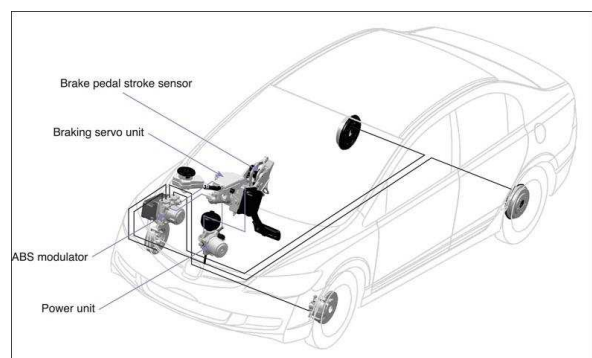
**Figura 30: Diagrama do sistema de travagem regenerativa do IMA**

Quando é efectuada a travagem, o sensor do pedal do travão envia um sinal à IPU, que varia conforme a pressão exercida no pedal, e que activa uma unidade servo no sistema de travagem do cilindro mestre, que proporciona poder de travagem entre os travões hidráulicos e o motor eléctrico para maximizar a regeneração.

Uma funcionalidade do sistema é a de controlar a potência proporcional de travagem entre os travões hidráulicos e o motor eléctrico de forma extrair mais electricidade a partir da energia cinética. Quando é retirado o pé do acelerador mas não é utilizado o travão, é aproveitada uma pequena quantidade de energia.

Quando o sistema ABS está em funcionamento, é enviado um sinal à IPU, e que impede a regeneração de forma a não interferir com o funcionamento do ABS.

A potência máxima gerada por o motor/gerador eléctrico é semelhante à que consegue fornecer quando funciona como motor, o que é limitativo, já que consegue apenas gerar um terço da potência máxima do motor do Prius, o que limita o aproveitamento da energia cinética.



**Figura 31: Localização dos componentes que controlam a travagem regenerativa**

#### 4.6. CVT

A partir de 2006 todos os modelos dos híbridos do Honda Civic passaram a ser equipados com CVT. O CVT da Honda, designado de Multitmatic utiliza uma correia de aço e duas polias variáveis que permitem uma infinidade de relações de caixa. A polias possuem as zonas interiores anguladas, que se movem devido a pressão hidráulica, permitindo controlar o rácio de expansão ou redução do raio efectuado pela correia. As polias são designadas de polia condução (drive pulley), que está conectada à cambota, e polia conduzida (driven pulley), que transfere a energia ao eixo do motor. A largura das polias é controlada pela pressão do óleo, sendo esta pressão controlada pela IPU, e é essencialmente dependente da abertura da borboleta e da velocidade.

Para se adaptar ao estilo de condução existes 3 configurações distintas do CVT, que são o modo normal, para uma condução normal, e que poupe combustível, o modo desportivo, que permite obter uma melhor resposta e aceleração, e o modo de subidas e descidas íngremes que limita as variações de caixa. Este sistema permite uma aceleração mais eficiente e suave, com melhor

aproveitamento do binário do motor, e conseqüente menor consumo de gasolina.

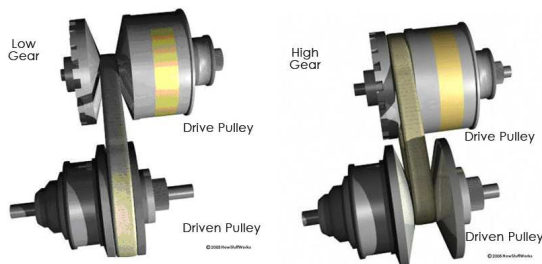


Figura 32: CVT de polias genérico semelhante ao da Honda

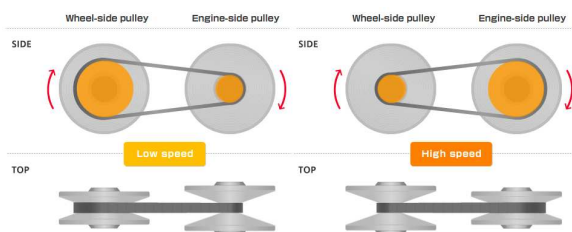


Figura 33: Funcionamento do CVT de polias da Honda

## 5. Comparações gerais

O Prius até Abril de 2008 vendeu cerca de 1 milhão e 28 mil unidades. Relativamente ao Honda Civic, não existem dados claros quanto ao número de veículos vendidos, mas olhando para as vendas do mercado norte americano, que representam um grande volume dos veículos híbridos vendidos mundialmente, as vendas do Prius são geralmente 3 vezes superiores às do Honda Civic.

Em Portugal o preço de venda do Prius varia entre 26.830€ e os 29.704€ nas duas versões disponíveis. Relativamente ao Civic, o preço varia entre 21.920€ e os 26.780€ nas 4 versões disponíveis. O sistema híbrido mais simples do Civic permite-lhe um preço de venda inferior. O Civic tem um consumo combinado de 4,6L/100km e tem emissões CO<sub>2</sub> de 109g/km. O Prius tem um consumo combinado de 4,3L/100km e emissões de CO<sub>2</sub> de 104g/km.

No arranque, enquanto que o Civic necessita do MCI e do motor eléctrico para esta operação, o elevado binário do motor eléctrico do Prius, permite que não seja necessária a utilização do MCI, tornando-se uma vantagem importante nos circuitos urbanos.

Em aceleração brusca, no IMA é necessário que o MCI suba de regime à medida que ganha velocidade. No caso do Prius, o MCI começa a funcionar no regime ideal, direccionando a potência necessária para as rodas, como num sistema paralelo, e direcciona a potencia extra para o MG1. Isto é possível pois, no Prius, o MCI atinge o

regime pretendido instantaneamente, já que os 3 motores não estão acoplados, permitindo que funcionem no regime ideal ao mesmo tempo.

Relativamente à Lexus, em 2007, as vendas de veículos híbridos na Europa foram de 16,800, representando 38% do total de vendas. O facto de os modelos possuírem motores eléctricos bastante potentes, conjugados com um MCI de alta cilindrada e de alta potência, permitem uma condução desportiva, e com um consumo excelente para motores V6 e V8 de elevada cilindrada.

## 6. Conclusão

Estes sistemas híbridos já permitem consumos e emissões muito interessantes, embora não sejam propriamente veículos ecológicos, quando comparados com outras tecnologias que deverão entrar no mercado nos próximos anos. No entanto são uma boa base na evolução dos automóveis tradicionais de MCI, especialmente quando se atenta à performance dos Lexus, que utilizam o sistema híbrido mais complexo da Toyota, que permite uma maior eficiência de combustível.

## Bibliografia

- [1] <http://www.cleangreencar.co.nz/page/prius-technical-info>
- [2] <http://www.hondanews.com/categories/957/releases/2781>
- [3] <http://en.wikipedia.org/wiki/VTEC>
- [4] <http://www.osti.gov/bridge/servlets/purl/890029-WIfqPO/890029.PDF>
- [5] [http://society.kisti.re.kr/~Eksae/\\_notes/data/pdf/v4n2\\_1.pdf](http://society.kisti.re.kr/~Eksae/_notes/data/pdf/v4n2_1.pdf)
- [6] [http://autospeed.com/A\\_3067/cms/article.html](http://autospeed.com/A_3067/cms/article.html)
- [7] [http://www.guiadoautomovel.pt/precos\\_novos/marcas.php](http://www.guiadoautomovel.pt/precos_novos/marcas.php)
- [8] <http://dspace.mit.edu/bitstream/handle/1721.1/40442/191701876.pdf>
- [9] [ftp://ftp.arb.ca.gov/carbis/cc/techsem/final\\_presentations/ben\\_knight.pdf](ftp://ftp.arb.ca.gov/carbis/cc/techsem/final_presentations/ben_knight.pdf)
- [10] [http://www.honda.net.my/models/civicHybrid\\_performance.cfm](http://www.honda.net.my/models/civicHybrid_performance.cfm)
- [11] <http://auto.howstuffworks.com/cvt2.htm>
- [12] [http://www.honda.net.my/models/civicHybrid\\_performance.cfm](http://www.honda.net.my/models/civicHybrid_performance.cfm)
- [13] <http://www.hondanews.com/categories/957/releases/2781>
- [14] <http://www.honda.pt/#/auto/modelos/especificacoes/27>
- [15] <http://www.autobloggreen.com/2008/02/27/hybrids-dominate-european-lexus-sales/>
- [16] <http://en.wikipedia.org/wiki/Hsd>
- [17] <http://ip.iwt-kdg.be/docs/Hybrid-Lexus%20RX400h.ppt>
- [18] <http://techno-fandom.org/~hobbit/cars/cours-section6.pdf>
- [19] <http://www.lexus.pt/hybrid/index.aspx>
- [20] [http://www.toyota.pt/cars/new\\_cars/prius/index.aspx](http://www.toyota.pt/cars/new_cars/prius/index.aspx)
- [21] [http://autos.yahoo.com/green\\_center-article\\_24/](http://autos.yahoo.com/green_center-article_24/)
- [22] <http://www.cleangreencar.co.nz/page/toyota-prius-iii-hybrid-car-technical-information>