

A Evolução dos Carros Elétricos e Híbridos



Clovis Goldemberg <clovis@pea.usp.br>

Luiz Lebensztajn <leb@pea.usp.br>


Eduardo Lorenzetti Pellini <elpellini@usp.br>


Maio de 2018

Sumário

Aspectos históricos

-  Uma partida eletrizante

-  Uma luta desigual por autonomia

-  Uma solução verde

-  Uma solução para crises

Exemplos e fundamentos

-  Tipos, estrutura, ideias

-  Presente e futuro

Princípio triunfante



- 🚗 Vendas em 1890's: 10 elétricos vs. 1 gasol.
- 🚗 1895 -1910: um veículo elegante
- 🚗 Ano 1900 ⇨ 1575 elétricos x 936 a gasolina
- 🚗 *"A Eletricidade preenche melhor requisitos de um sistema de tração do que as máquinas a vapor ou mesmo os motores a explosão"*
- 🚗 Scientific American ⇨ Eletricidade é ideal para veículos
- 🚗 Carro a gasolina é coisa para **MACHO!**

Competitivo e requintado

🚗 1895 -1910: continuação

🚗 Autonomia similar

🚗 Gasolina ~100 km


🚗 Elétrico 50~80 km

🚗 Preços

🚗 Gasolina US\$ 1000 - 2000

🚗 Elétrico US\$ 1250 – 3500

🚗 Primeira multa por excesso de velocidade foi de um EV!!



The Ohio Electric

SATISFYING every sense of physical comfort, mental ease and artistic appreciation, driving an Ohio Electric brings to the fortunate owner a vivid realization of the real luxury of motion.

No other car can fill its place; it may even be said that no other car, today, attempts to do so.

This season's models surpass all previous Ohio achievements. See them at the nearest Ohio distributors—or write for literature.

The Ohio Electric Car Company
1527 West Bancroft Street
Toledo, Ohio

OHIO
ELECTRIC

Vasta concorrência

🚗 Até 1910, existiam mais de 50 empresas para fabricar carros elétricos → artesanal

Utility

Life knows no greater charm than leisurely utility—available on the ocean and under all conditions. Every convenience achieved in the Rauch & Lang Electric makes it also "The Social Necessity." It is undoubtedly first in the thought of people of taste, judgment and means to satisfy every desire.

Rauch & Lang Electric
"The Social Necessity"

THE RAUCH & LANG, CLEVELAND, O.

For a Dozen Conclusive Reasons You'll Decide Upon

THE Detroit Electric

It is not going to be so difficult as you might think to decide which electric carriage you want.

In the gasoline field scores of good cars make a confusing claim upon your consideration.

But when you come to choose an electric, a little inquiry will soon satisfy you which carriage is in the ascendant.

This is what you'll find:—

That commendation which here perhaps shows partially to other cars at previous seasons are rapidly transferring their allegiance to the *DETROIT Electric*.

That in many cases—as for instance in home towns, Detroit, the center of the automobile industry—the *DETROIT Electric* is almost alone.

Everywhere it is gaining ground, rendering other types, as we said in a recent announcement, obsolete; and enjoying, invariably, the highest social prestige attainable.

These are concrete conditions as you will find them. They are due to the simple fact that the *DETROIT Electric* incorporates features previously unknown in electric carriages.

As it stands today it is unique in the extraordinary number of fine points contributing to efficiency, elegance and comfort possessed by no other electric.

There are fully fifty of these features.

Here are some of the more important:—

Control springs, light sport than any other electric ever yet.

Five-horse power, three horses!

Control of all speeds, from turbo and stops concentrated in one lever!

Custom design and more beautiful!

Electrifying and painting of the highest grade!

From built-in seat "strappings" throughout!

Larger doors and windows to the "European type"!

Doors which open inward instead of back!



Steel top parts, instead of spars with sharp corners!

Large size Palace with room.

Very fast and powerful running a *DETROIT Electric* is to drive all the "European" cars of the same class which mean as much for genuine satisfaction.

We believe when the *DETROIT Electric* is made the leader in the world and every electric carriage the owner of an automobile is sure to appreciate it as the best in the world.



ANDERSON CARRIAGE COMPANY, Dept. F, Detroit, Mich.

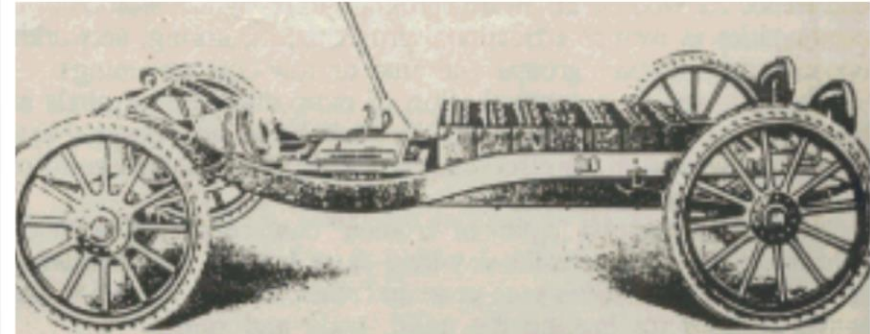
Eléctricos e... híbridos



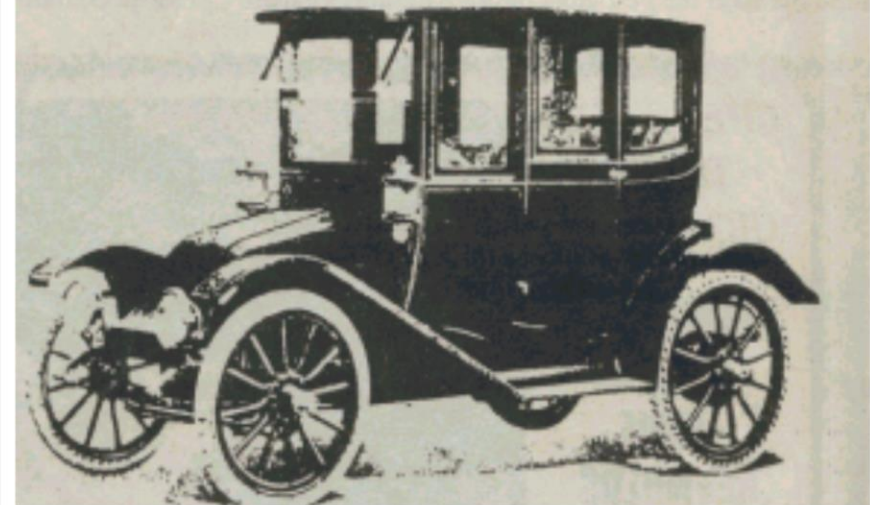
1900
Lohner/Porsche
Semper Vivus

Motor eléctrico nas rodas, híbrido, gasolina + baterias, versão 4x4

Simplicidade



This rare picture shows what the underside of an electric car really looked like. There is a huge bank of storage batteries connected by heavy cables to a powerful driving motor mounted just in front of the rear axle. Since the car went slowly and usually travelled on paved city streets, the tires could be solid so the female driver never had to contend with a flat or blowout. The car is illustrated below



Princípio do fim

🚗 O período 1910 -1925

🚗 1909 - Veículos elétricos 4.4%

🚗 1912 - O Motor de arranque

🚗 Baterias de Níquel-Ferro ⇨ maior armazenamento

🚗 1914-1918 I Guerra Mundial ⇨ as previsões indicavam aumento de vendas para os carros elétricos.

🚗 Caminhões 13% em 1913 ⇨ 3.5% em 1925



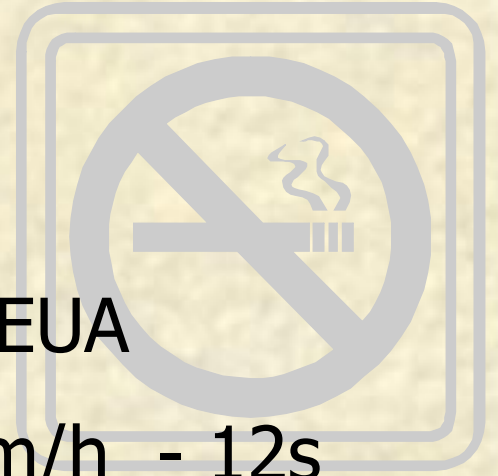
Assunto encerrado ?

🚗 O período 1926 -1966

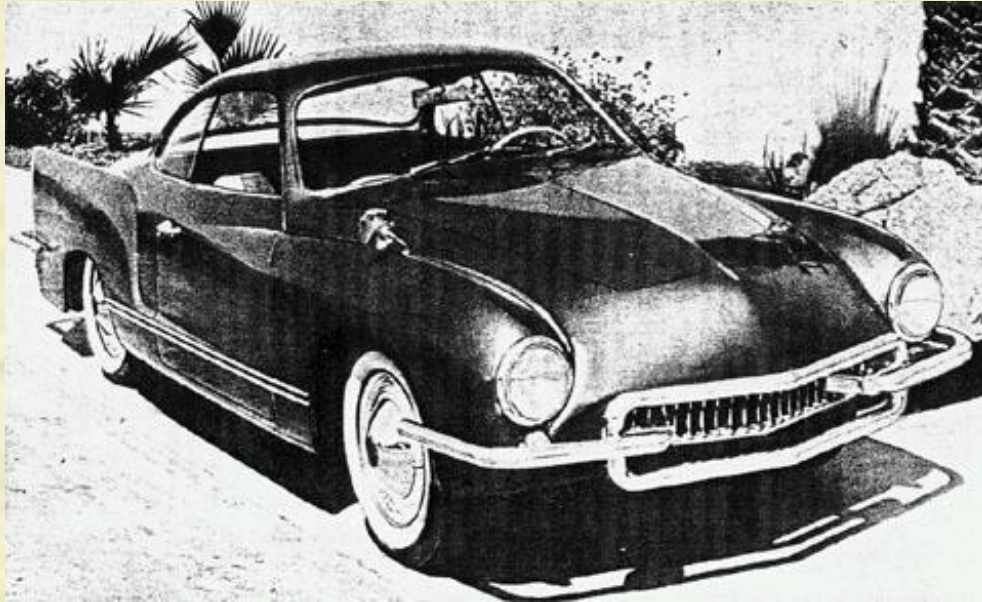


Argumento: Poluição

- 🚗 O período 1967 - 1972
- 🚗 Preocupação com a **poluição**
- 🚗 1967: nova regulamentação nos EUA
- 🚗 GM 512: autonomia 60km 0-50km/h - 12s
- 🚗 Ford Comuta: autonomia de 38km na cidade
- 🚗 Renault: protótipo de 1860kg(!) ⇨ 107km
- 🚗 *Poluição não foi motivação suficientemente forte*



Reboot da franquia...



1960 Charles Townabout



Reboot da franquia...



1960 Ford Comuta



1969 GM 512



Argumento: Preço do Petróleo

🚗 O período 1973 - 1980

🚗 A Crise do petróleo: o embargo da OPEP

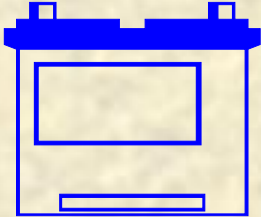
🚗 Forte dependência dos países árabes

🚗 Departamento de Energia (DOE):

Programa de Desenvolvimento de Veículos Híbridos e Elétricos



Analizando

- 🚗 O período 1973 - 1980: continuação
- 🚗 Os argumentos contrários ao carro elétrico
 - 🚗 Poluição do automóvel: ↓
 - 🚗 Poluição na usina termoelétrica: ↑
- 🚗 Qual o preço das baterias ?
- 🚗 Qual o tipo de bateria a ser usado ? 
- 🚗 Visão do consumidor: porque devo comprar um veículo mais lento e de baixa autonomia ?

Será que emplaca ?



1974 Citicar
Sebring-Vanguard



BatTronic Truck










Itaipu E150
Gurgel



ELCar

Argumentação consistente

-  O período 1980 - 1993
 -  Consórcio de fabricantes de baterias
 -  Legislação na Califórnia:
 - ZEV** - Zero Emission Vehicles
 -  Queima do petróleo é mais eficiente em usinas termoelétricas do que em um motor
 -  Carvão ou gás natural podem ser usados
 -  Hidroelétricas
 -  Controle de poluição é mais eficaz em usinas

E o Japão sai na frente...

- 🚗 O período 1997 - 2001
 - 🚗 Os carros comerciais – sucesso de vendas
Insight (Honda) e Prius (Toyota)
 - 🚗 Insight é um carro com 2 assentos 850 kg
 - 🚗 Prius é um carro de quatro portas, 4/5 pessoas, 1250kg
 - 🚗 Ambos usam baterias de Hidreto Metálico de Níquel (Ni-MH) de 44Wh/kg da Panasonic


E novos argumentos para o novo século...

- 🚗 Perspectivas e quebras de paradigma a partir de 2000
 - 🚗 Aquecimento global, poluição, megacidades, emissões CO₂
 - 🚗 Crescimento populacional (2050 → 10 bilhões de pessoas)
 - 🚗 Escassez de recursos, preço e disponibilidade de petróleo
 - 🚗 Diminuição da disponibilidade de fontes limpas
 - 🚗 Energias renováveis solar, eólica, biomassa, etanol, hidrogênio
 - 🚗 Programas de eficiência energética, sustentabilidade


- 🚗 Avanços e rupturas tecnológicas
 - 🚗 Sistemas embarcados, sistemas inteligentes, computação pessoal, telecomunicações, semicondutores, conversores de alta eficiência, motores elétricos de alta densidade energética, tecnologias de baterias, materiais, nanotecnologia, tecnologias para motores a combustão, ...

Renascimento

O período 2001 - 2017

 Grandes se mobilizam para BEV, HEV, PHEV, FCEV (Nissan, Mitsubishi, Ford, GM, Renault, VW, BMW, Citroen...)

 1997 – AC Propulsion → Tzero

 2003 – Tesla Motors → Tesla Roadster BEV

 2005 – Fisker Automotive → Karma BEV

 Em 2017 – Mais empresas BEV: BYD, Faraday Future, NextEV, SAIC Motor, Beijing Electric Vehicle, ...


Questão principal de um carro elétrico ou híbrido

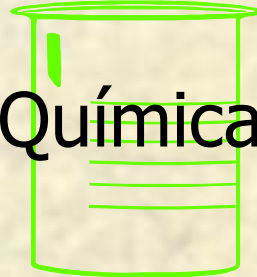
Gerenciamento de **energia !!!**

 Mas qual energia?

 Elétrica



 Química



 Mecânica



 E em que sentido?

Motores e acionamentos

■ Hybrid Electric Vehicle

Motor for Driving & Regenerating



Motor for Starting & Generating



Motor for Oil Pump



Inverter for Driving Three Motors

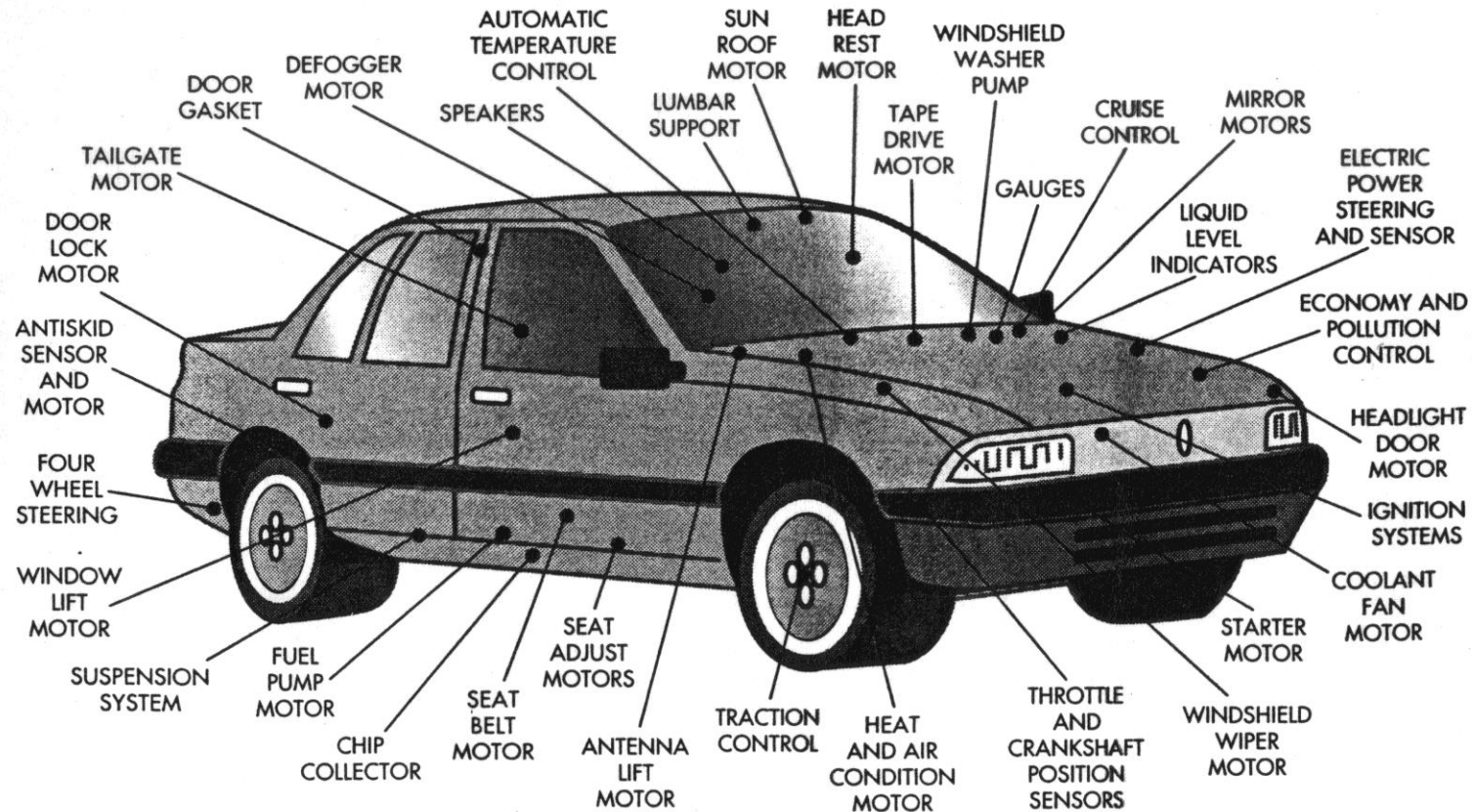


Features

- Permanent Magnet Synchronous Motor
- Water Cooling
- IPM(IGBT)
- All Digital Control


- *Compact, High Efficiency & Reliability* -


Veículo convencional já é elétrico... uma parte do tempo!



Ainda falta uma boa bateria

Densidade energética

 Gasolina: 12500 Wh/kg

 Bateria convencional: 25 Wh/kg

 Bateria mais moderna LiCoO_2 : 600 Wh/kg

 Densidade da gasolina é de 0,72 kg/l

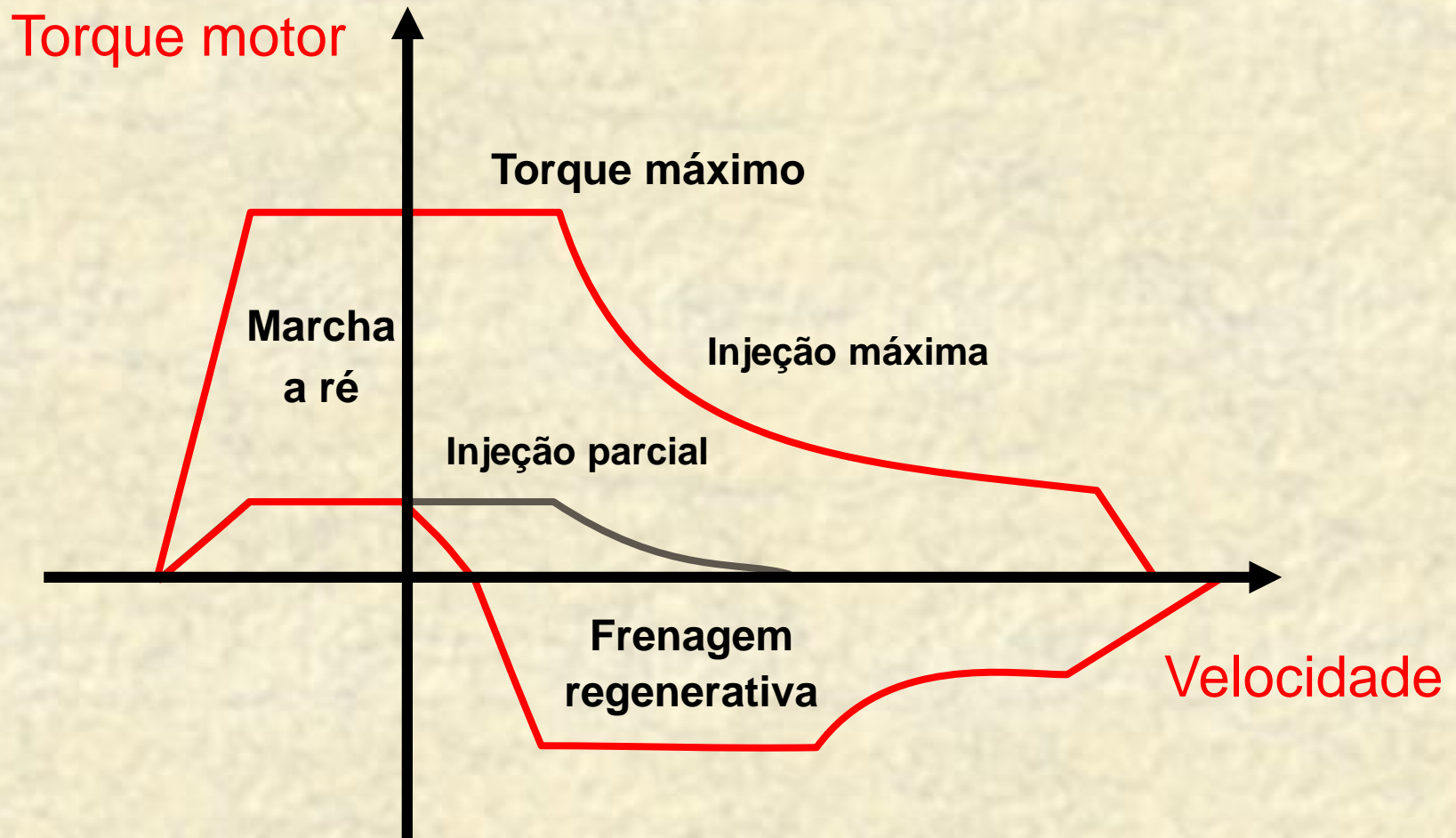
 1 tanque de 40 litros = 360 kWh !!!!

 Encher o tanque em 3min ~ **10MW** !!!

Carro Elétrico Híbrido

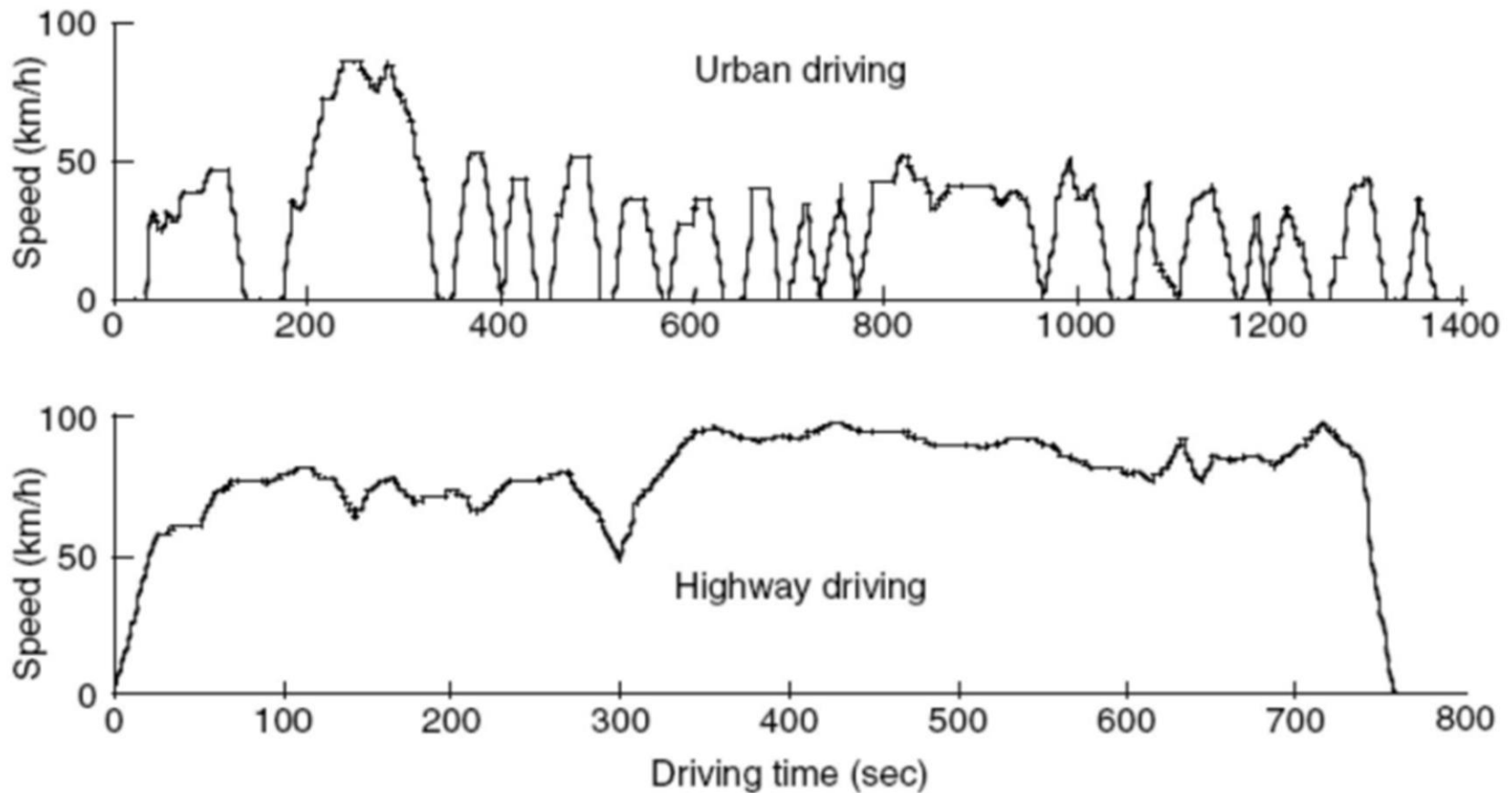
- 🚗 Motor elétrico é ótimo propulsor
 - 🚗 Alto rendimento & Torque x velocidade ↗
 - 🚗 Não-poluidor ↗
 - 🚗 Limitado pela bateria ↘
- 🚗 Gasolina é um excelente combustível ↗
 - 🚗 Poluente ↘
 - 🚗 Torque ↘ nas velocidades baixas
- 🚗 **A questão é como usá-los em conjunto !**

Requisitos teóricos de um veículo



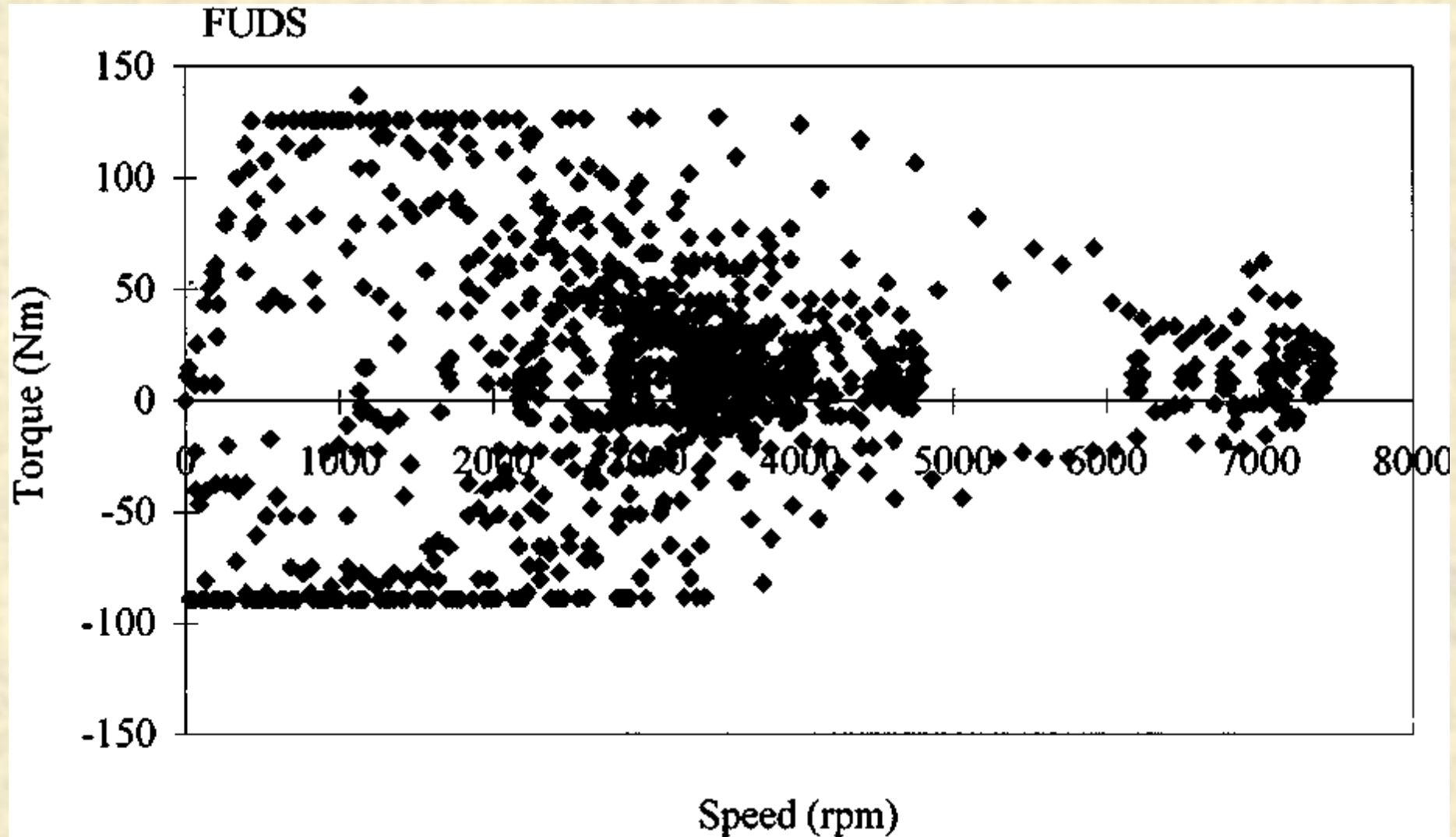
Perfil de uso urbano e Perfil de uso em estradas

Urban and Highways drive cycles



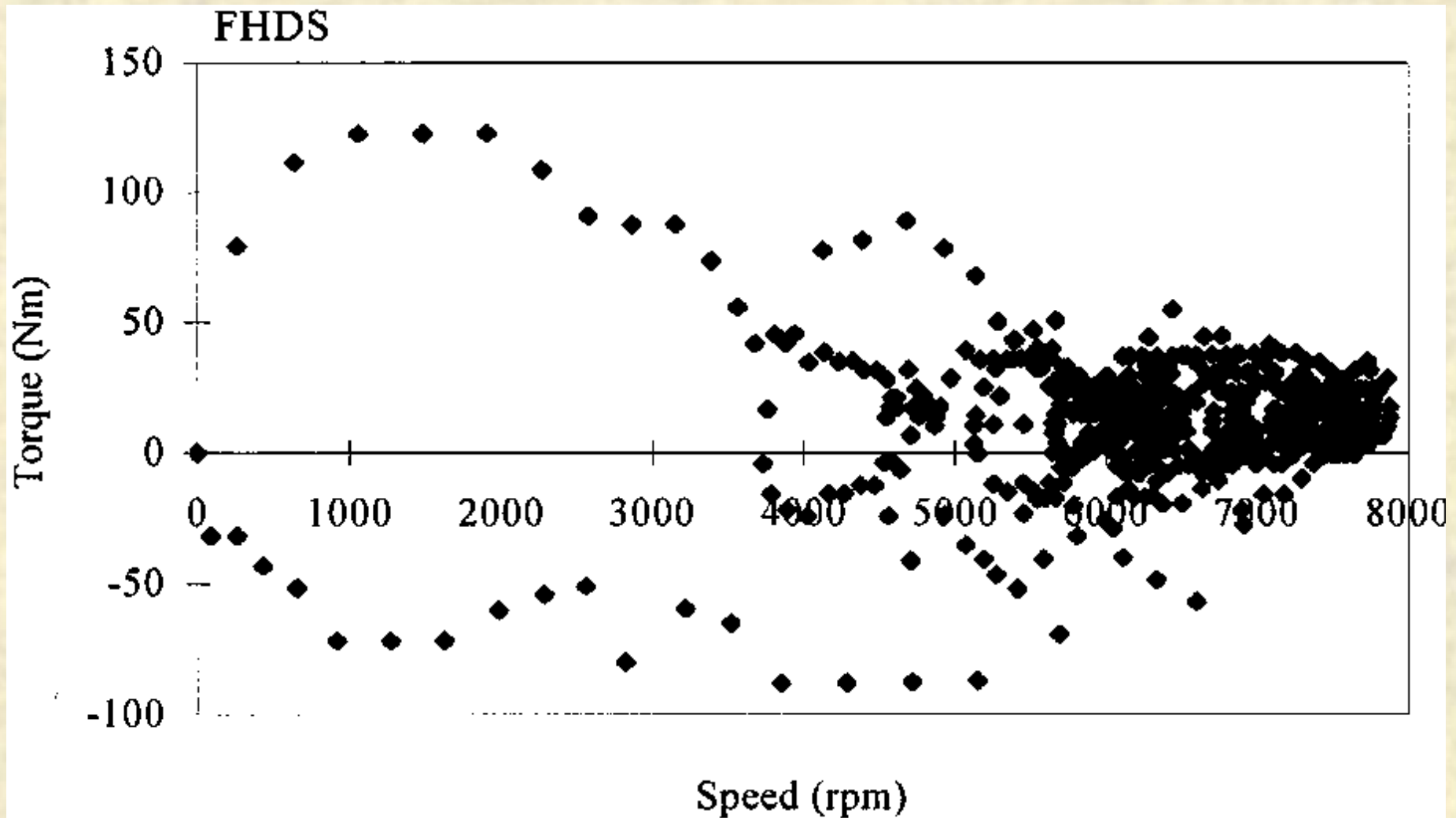
Desempenho real de um carro

FUDS = Federal Urban Driving Schedule

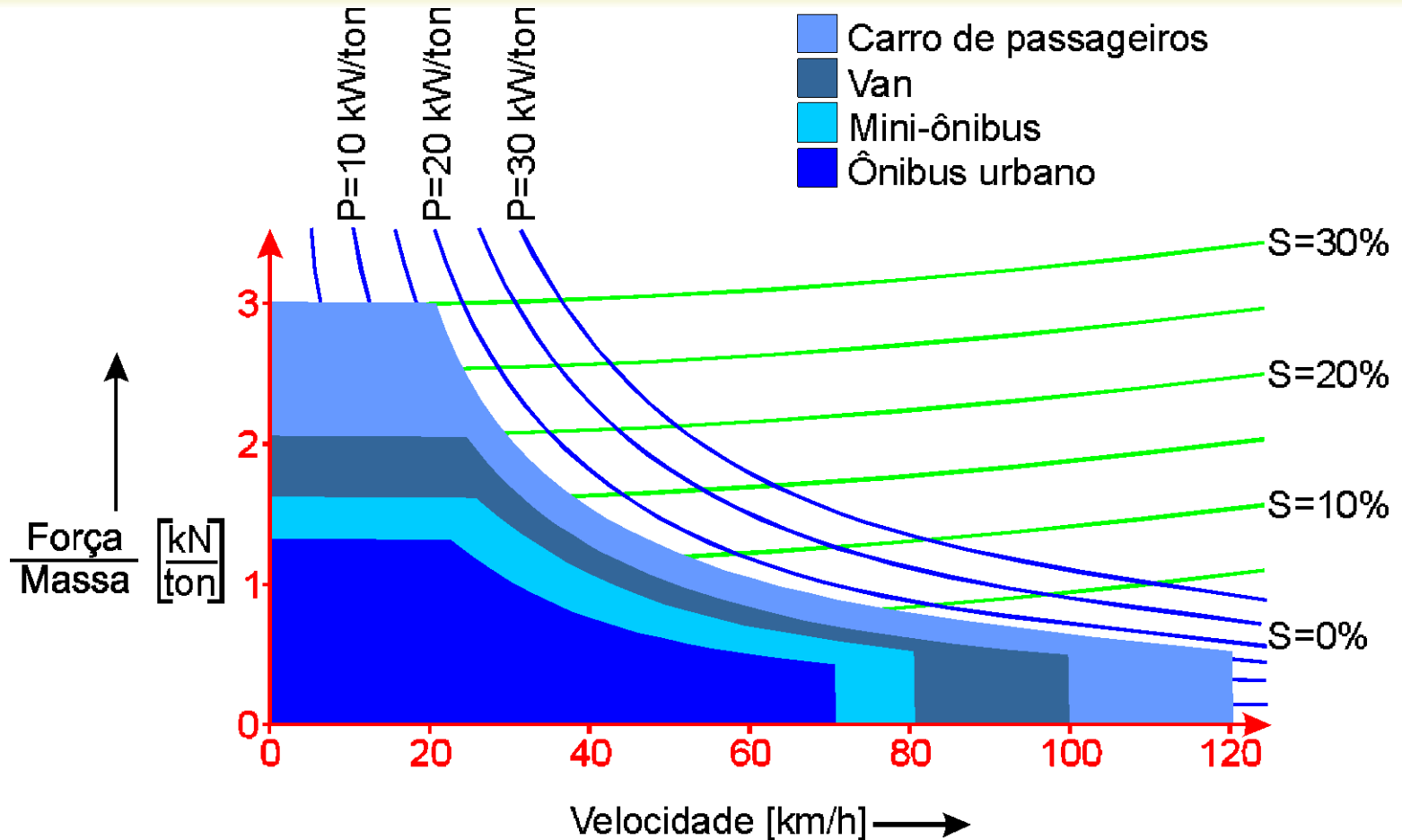


Desempenho real de um carro

FHDS = Federal Highway Driving Schedule



Desempenho do carro elétrico



Desempenho de carros puramente elétricos

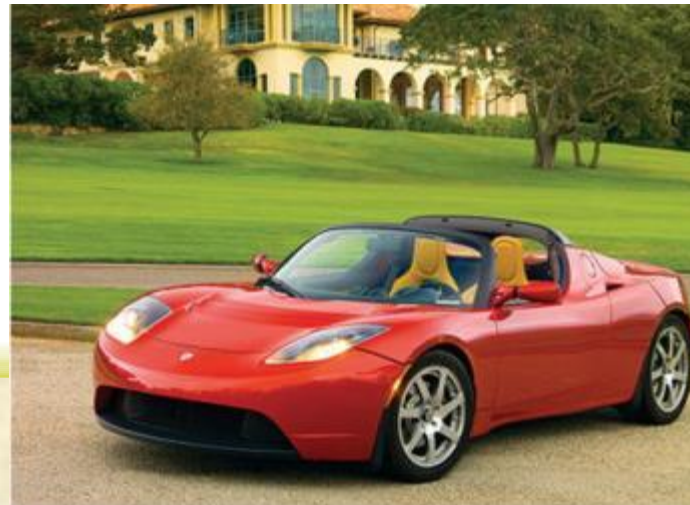
	Carro de passageiro (Peugeot 106)	Van (Peugeot Berlingo)	Mini-ônibus	Ônibus urbano
Autonomia [km]	120-250	100-150	140-200	150-300
Velocidade máxima [km/h]	100-120	80-120	80	70
Velocidade contínua [km/h]	100	80	60	60
Rampa máxima [%]	30	20-25	15-20	12-15
Aceleração de 0 a 50 km/h [s]	7-10	10-15	12-18	15-20

Dados de 2000

Tipos de veículos

- 🚗 ICE – Internal Combustion Engines
 - 🚗 HEV – Hybrid Electric Vehicles
 - 🚗 PHEV – Plugin Hybrid Electric Vehicles
 - 🚗 BEV – Battery Electric Vehicles
 - 🚗 FCEV – Fuel Cell Electric Vehicles
- 🚗 Mesmo veículos modernos ICE podem ser considerados HEV → depende do grau de eletrificação veicular
- 🚗 Em qualquer caso, existem várias topologias...

Carro elétrico - motor único



Carro elétrico - dois motores

60 kWh AWD (\$71,070)



85 kWh P85D (\$105,670)



M

Motor #2

Engrenagem fixa #2

Roda



Carro elétrico com dois motores acoplados diretamente às rodas



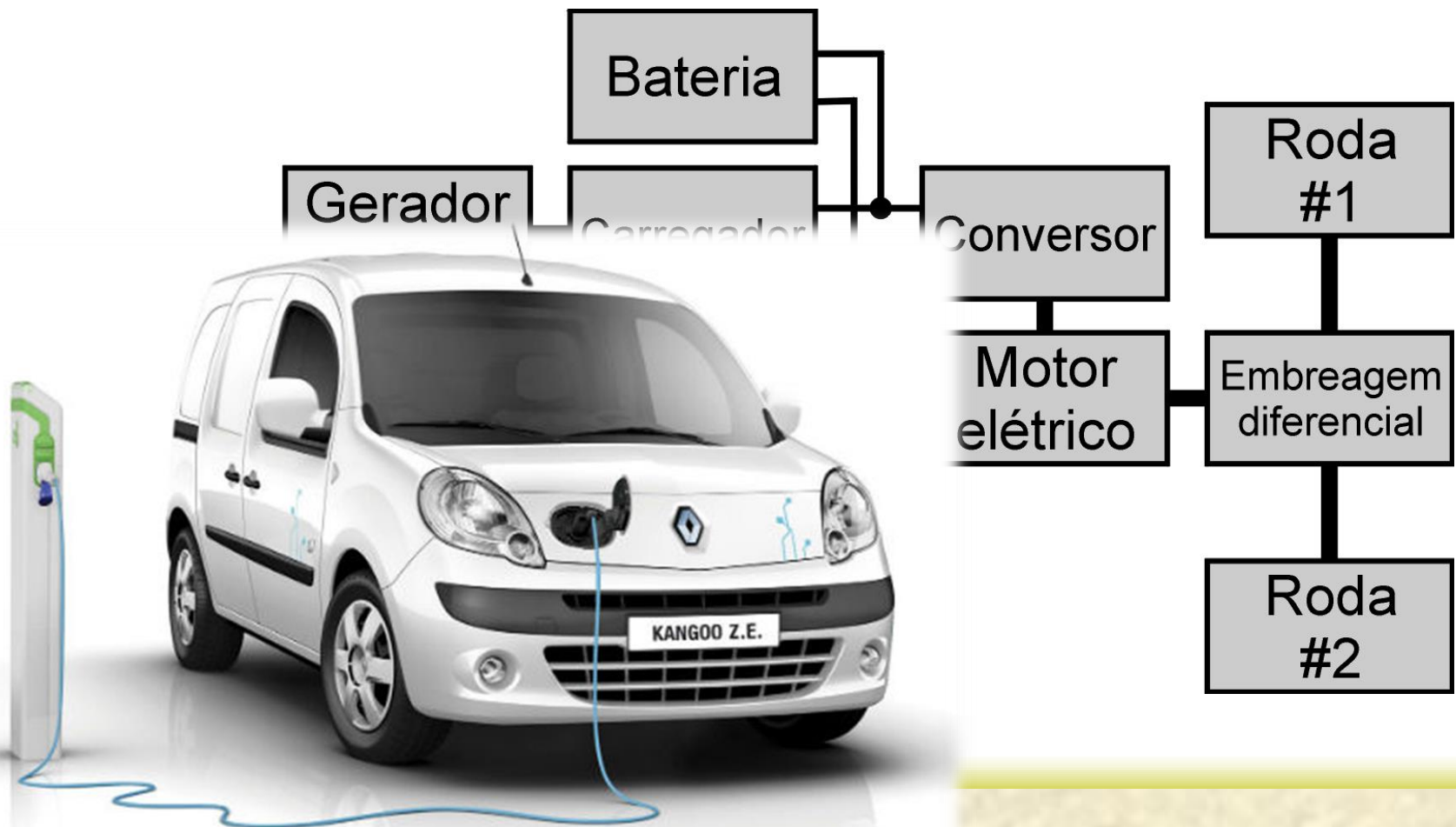
#2

Roda
#2

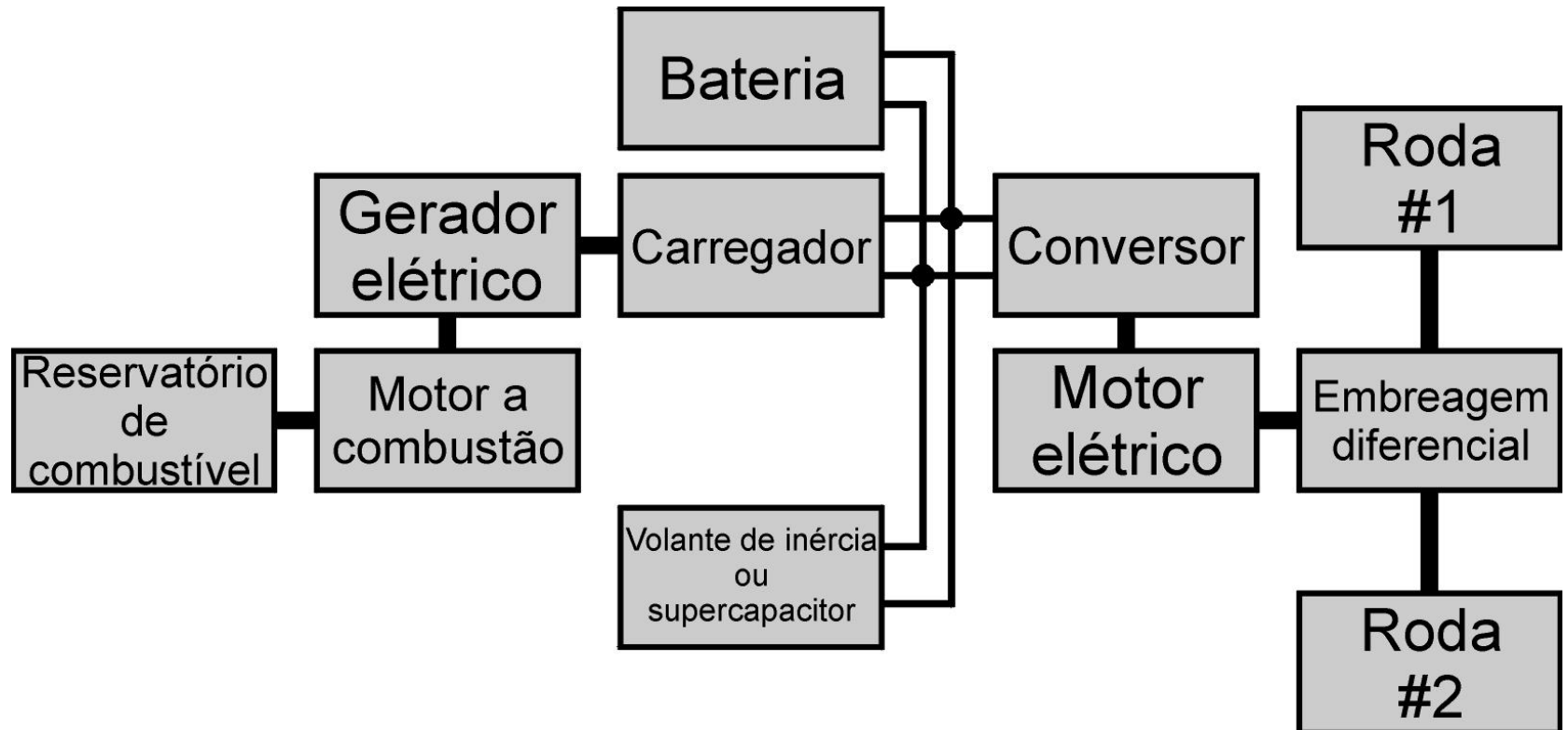
Motores acoplados diretamente às rodas



Carro elétrico híbrido - série



Carro híbrido - série com armazenamento de energia diferente



Carro elétrico híbrido - paralelo



B

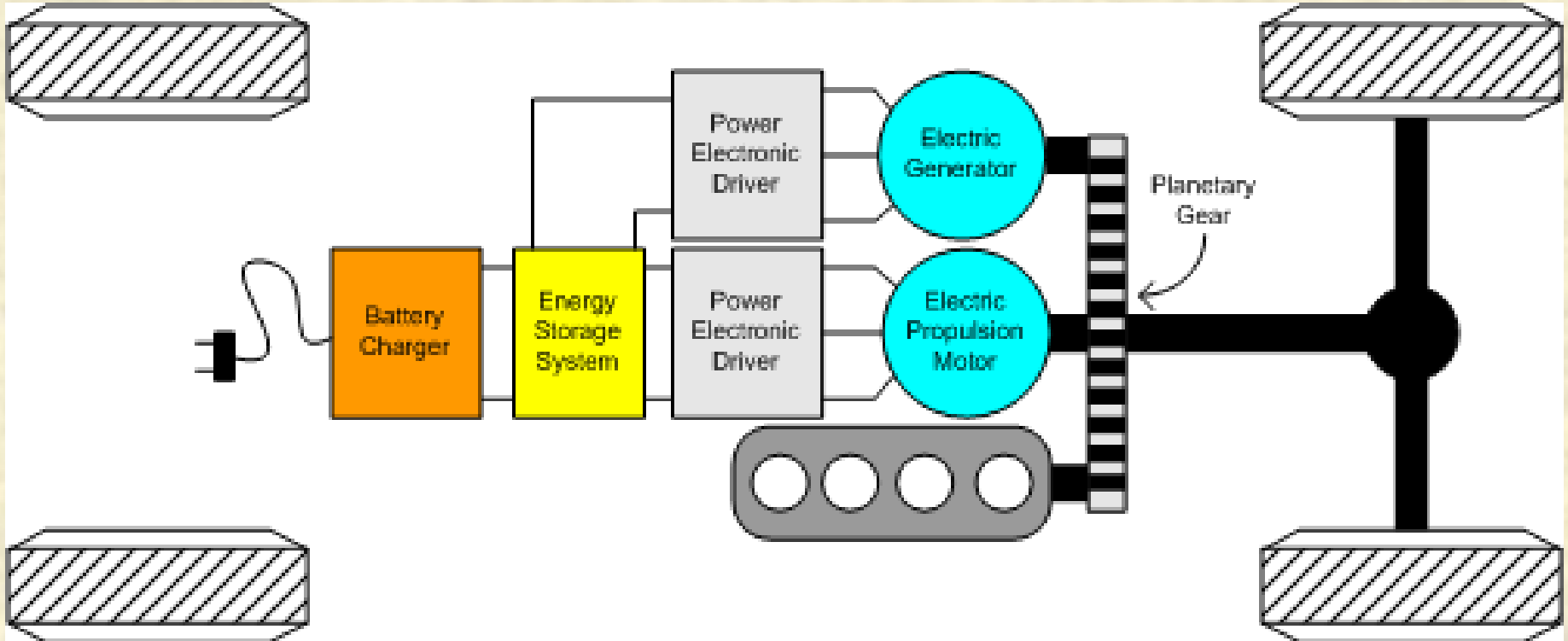
Re

co

Carro híbrido - série-paralelo



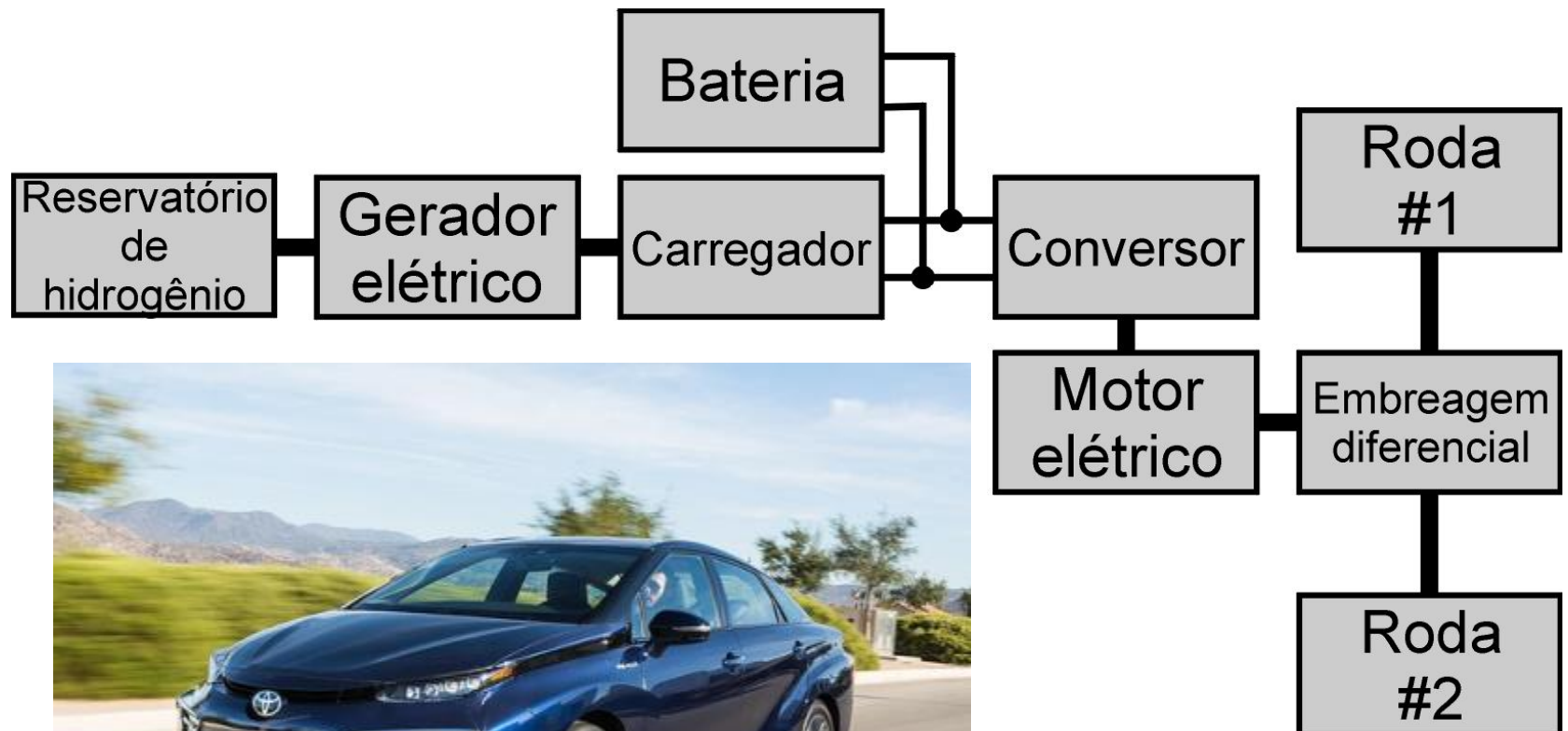
Série – Paralelo – exemplo



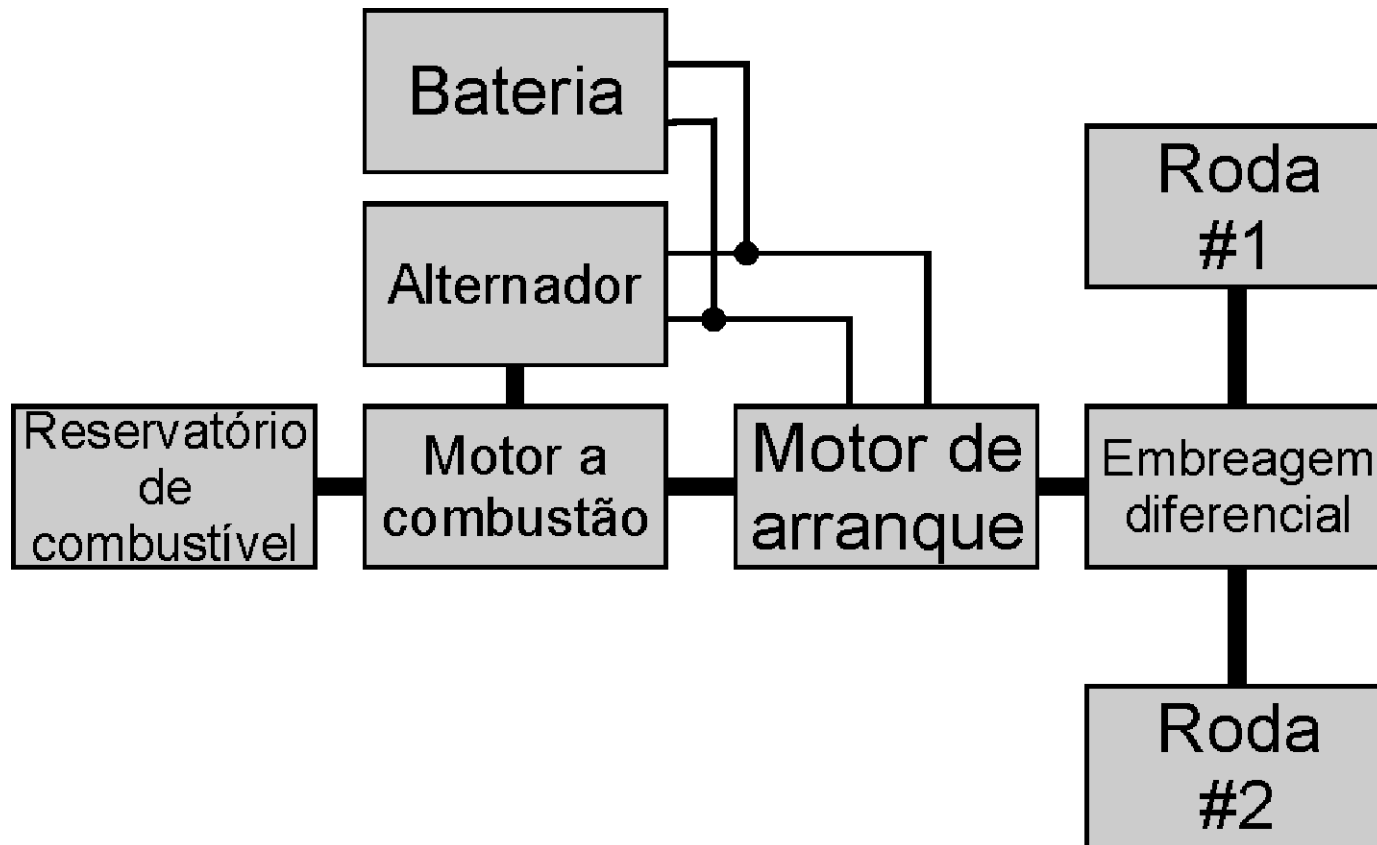
Consagrada pelo Prius

Usada hoje também no Fusion, Volt, Spark, ...

Carro híbrido - série movido a Hidrogênio



O veículo a combustão interna é um carro híbrido ?



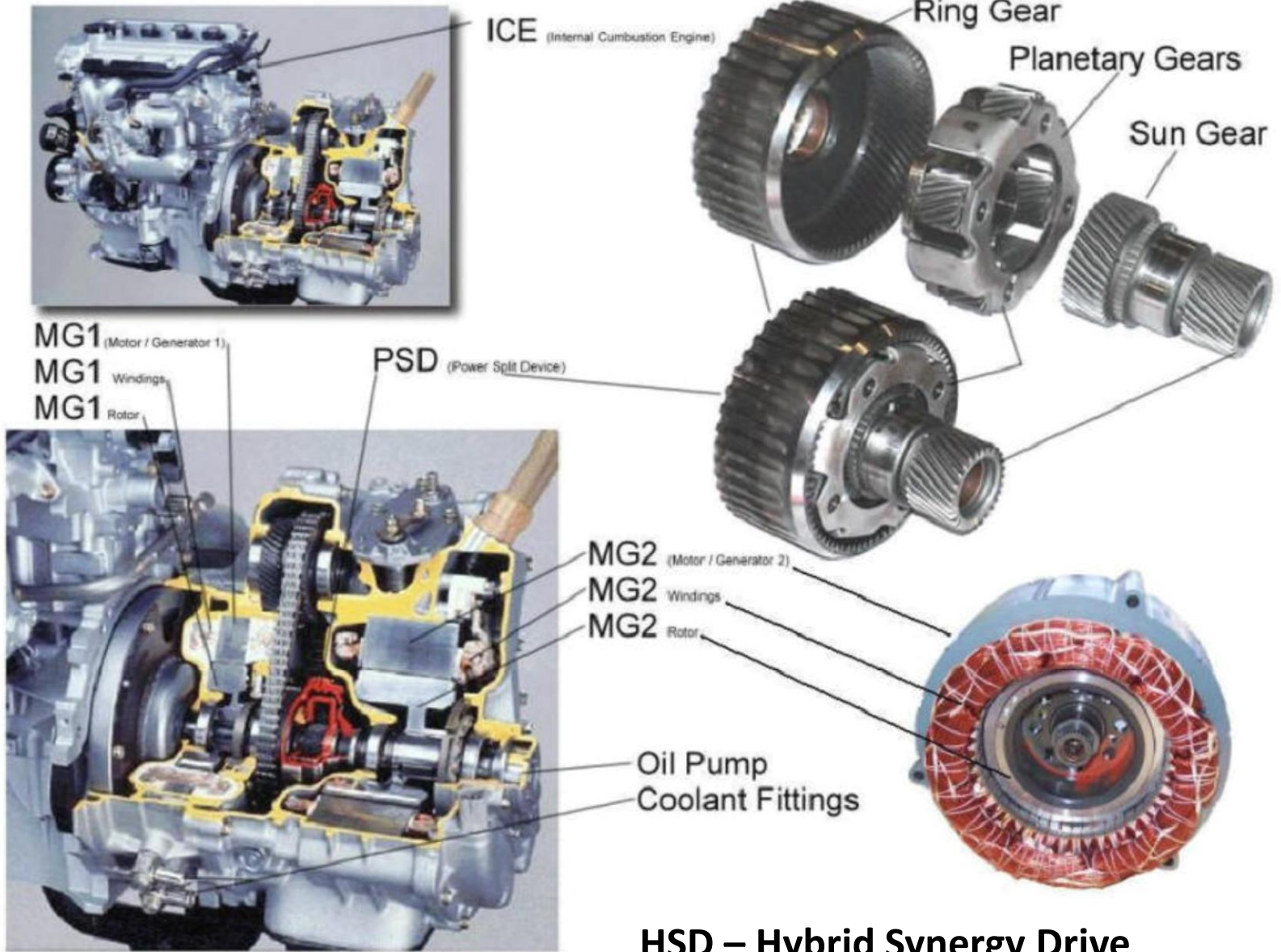
Prius da Toyota



Sob o capô do Prius



Os motores do Prius



PSD – Power Splitting Device


VOLT

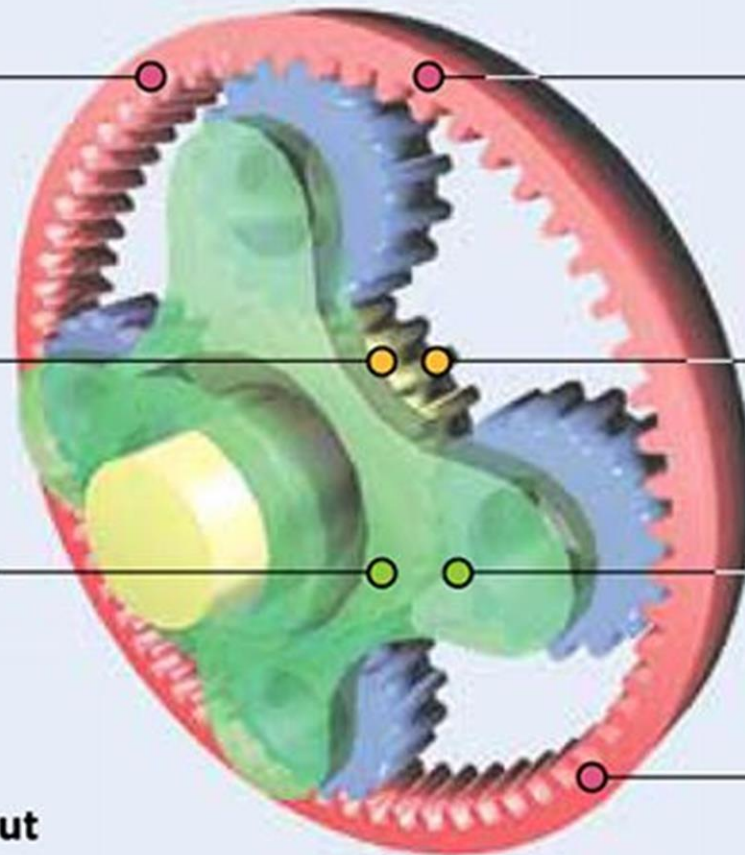
PRIUS

Ring Gear >
Locked to case or
motor/generator
and 85-hp gas engine

Sun Gear >
149-hp
electric motor

Planet Carrier <
Output to wheels

KEY

 power in
 power out
 power in and out



< **Ring Gear**
84-hp
electric motor

<> **Sun Gear**
Motor-generator

< **Planet Carrier**
98-hp gas engine

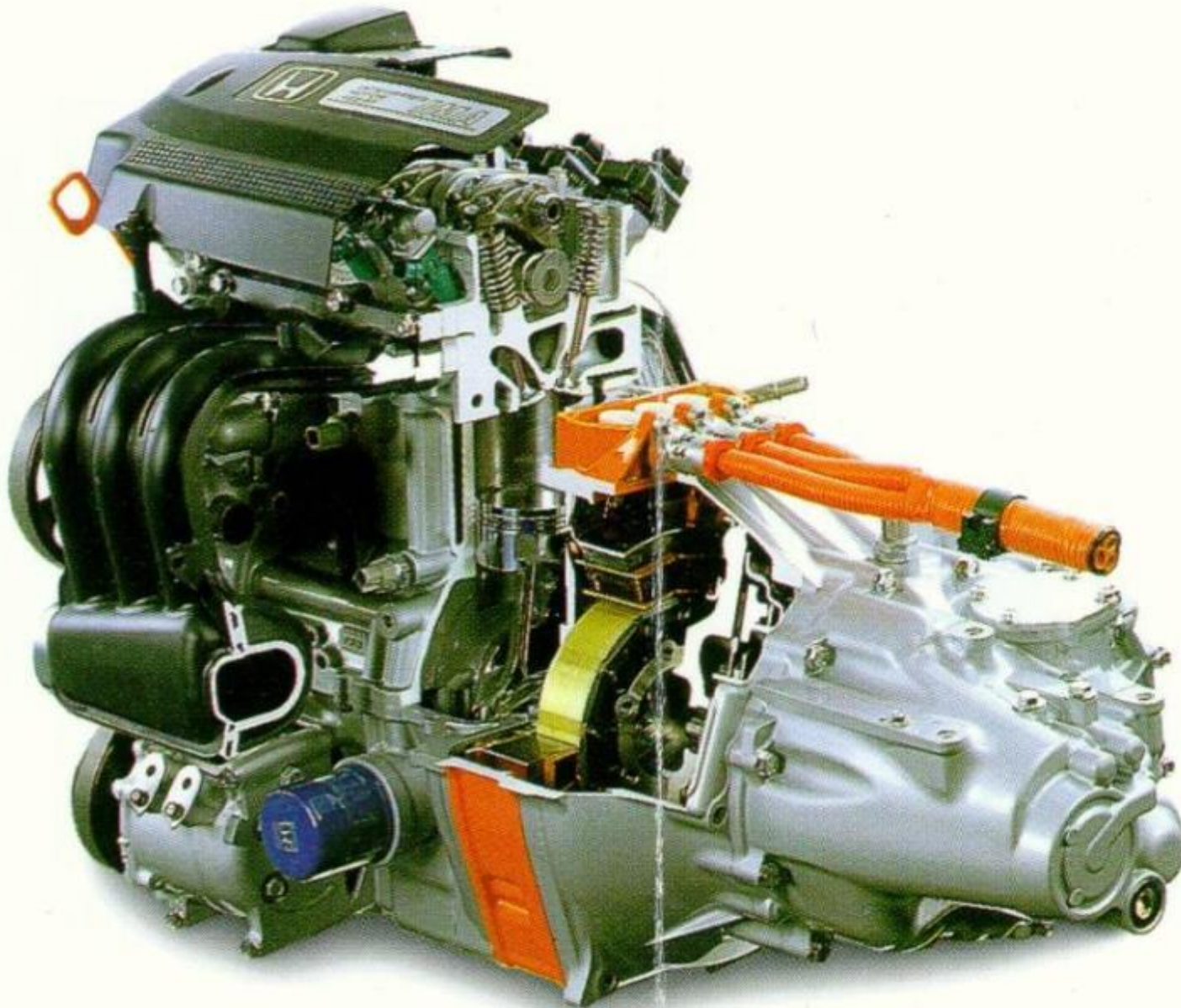
> **Ring Gear**
Output to wheels

Insight da Honda



Photo: 8F+89-MC1-7x-2296

Os motores do Insight



Ônibus e mini-Ônibus

NEW COASTER



新たに専用ボディカラーを新設定

ひとの住む町に、優しいまち「快適と環境」を両立！

地球の町。慈しんでゆきたいみんなの
「スター」をベースに、小型ガソリンエ
を根拠に、室内空間だけでなく、取

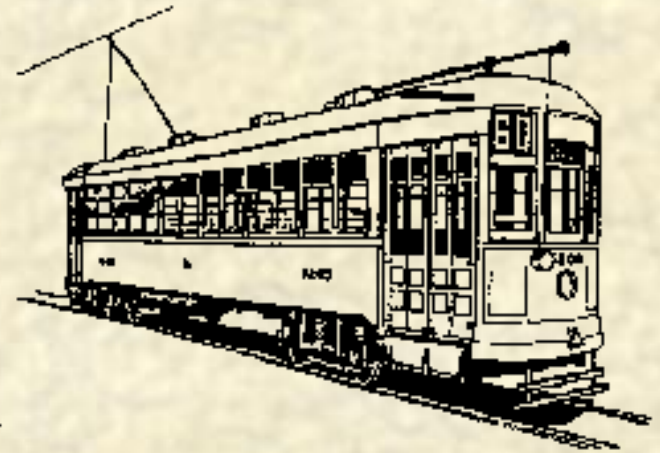
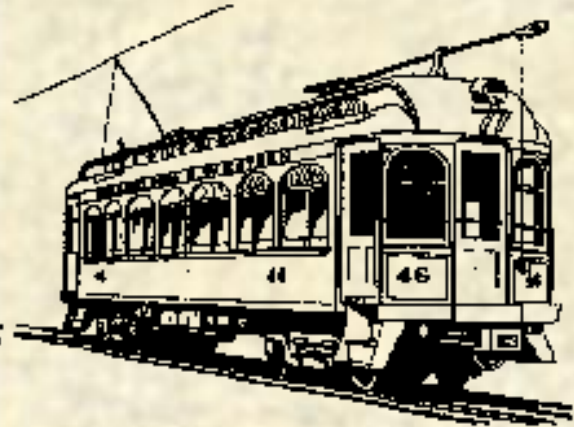
主要諸元 ●全長6990×全幅2070×全高2580mm
●車両重量3930kg ●排気量1496cc
発電用エンジン ●最大出力 49PS/3100rpm
駆動用モーター ●最大出力 70kW/1400rpm



Ônibus híbridos



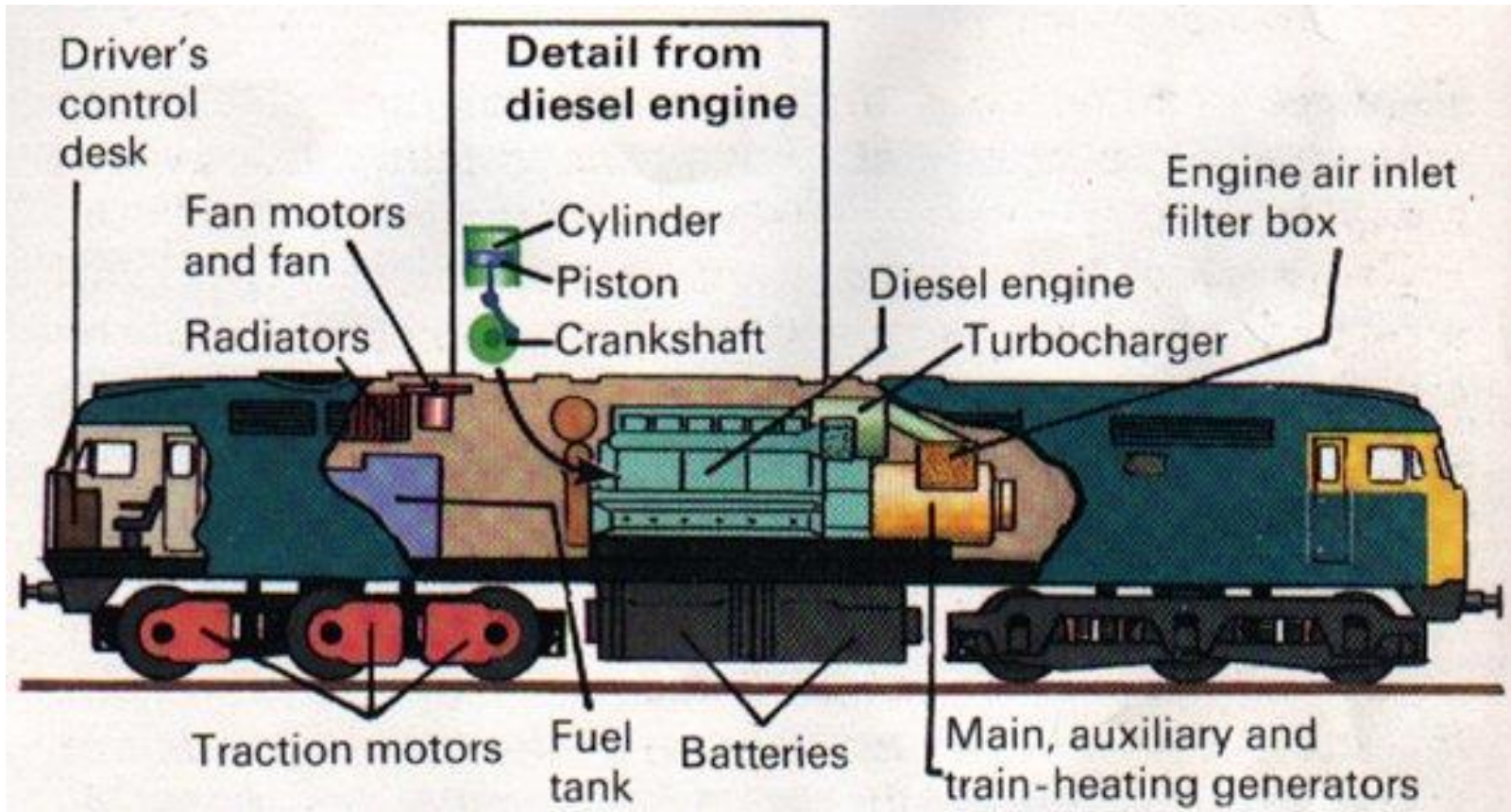
Um veículo puramente elétrico que sempre deu certo...



... e um veículo híbrido que definitivamente deu certo !



Uma locomotiva Diesel-Elétrica



Realidade eletrizante



By Steve Jurvetson - <https://www.flickr.com/photos/jurvetson/29201643830/>,
CC BY 2.0, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=51187683>

Obrigado

Comparação Insight – Prius

Dados 2003

	Insight (Honda)	Prius (Toyota)
Estrutura do carro híbrido	Paralelo puro	Série-Paralelo
Massa [kg]	850	1250
Potência do motor a explosão [kW]	50	53
Potência do motor a explosão [CV]	68	72
Potência do motor elétrico [kW]	10	33
Capacidade de corrente da bateria [Ah]	6.5	6.5
Tensão da bateria [V]	144	274
Aceleração de 0 a 100 km/h - [s]	12	13.4
Consumo de combustível [milhas/galão]	83.1	57.6
Consumo de combustível [km/litro]	29.5	20.4
Emissões de CO ₂ [g/km]	80	114