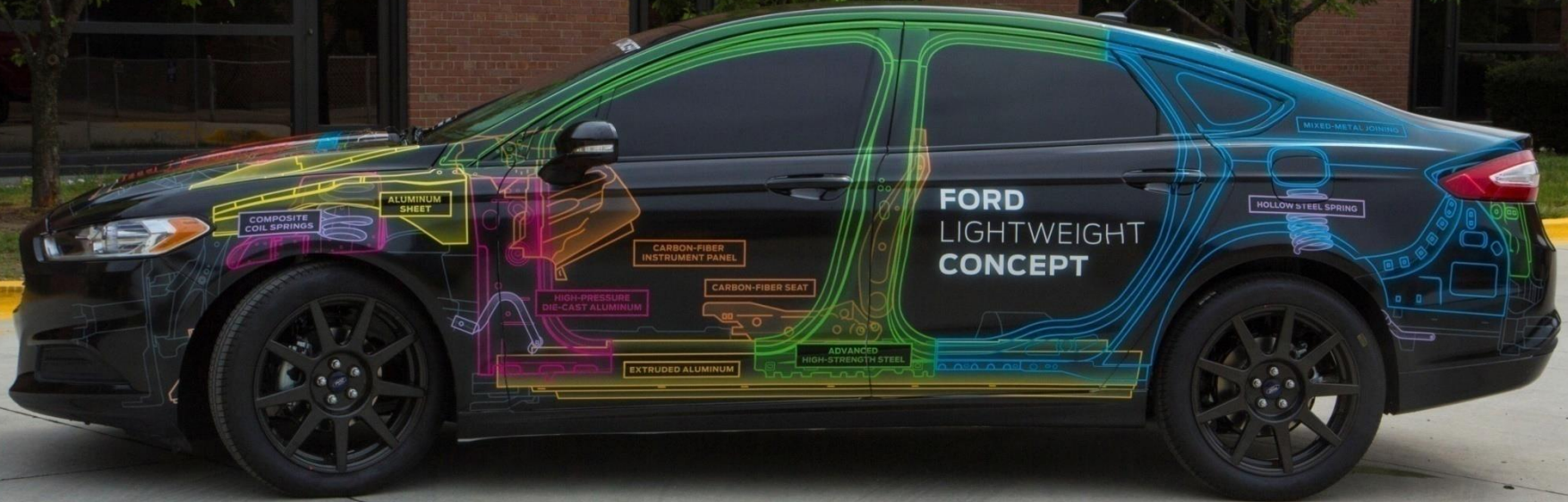


# SELEÇÃO DE MATERIAIS NA INDÚSTRIA AUTOMOTIVA: COMPETIÇÃO x COOPERAÇÃO



**Antonio Augusto Gorni**

**Julho 2014**

**[www.gorni.eng.br](http://www.gorni.eng.br)**

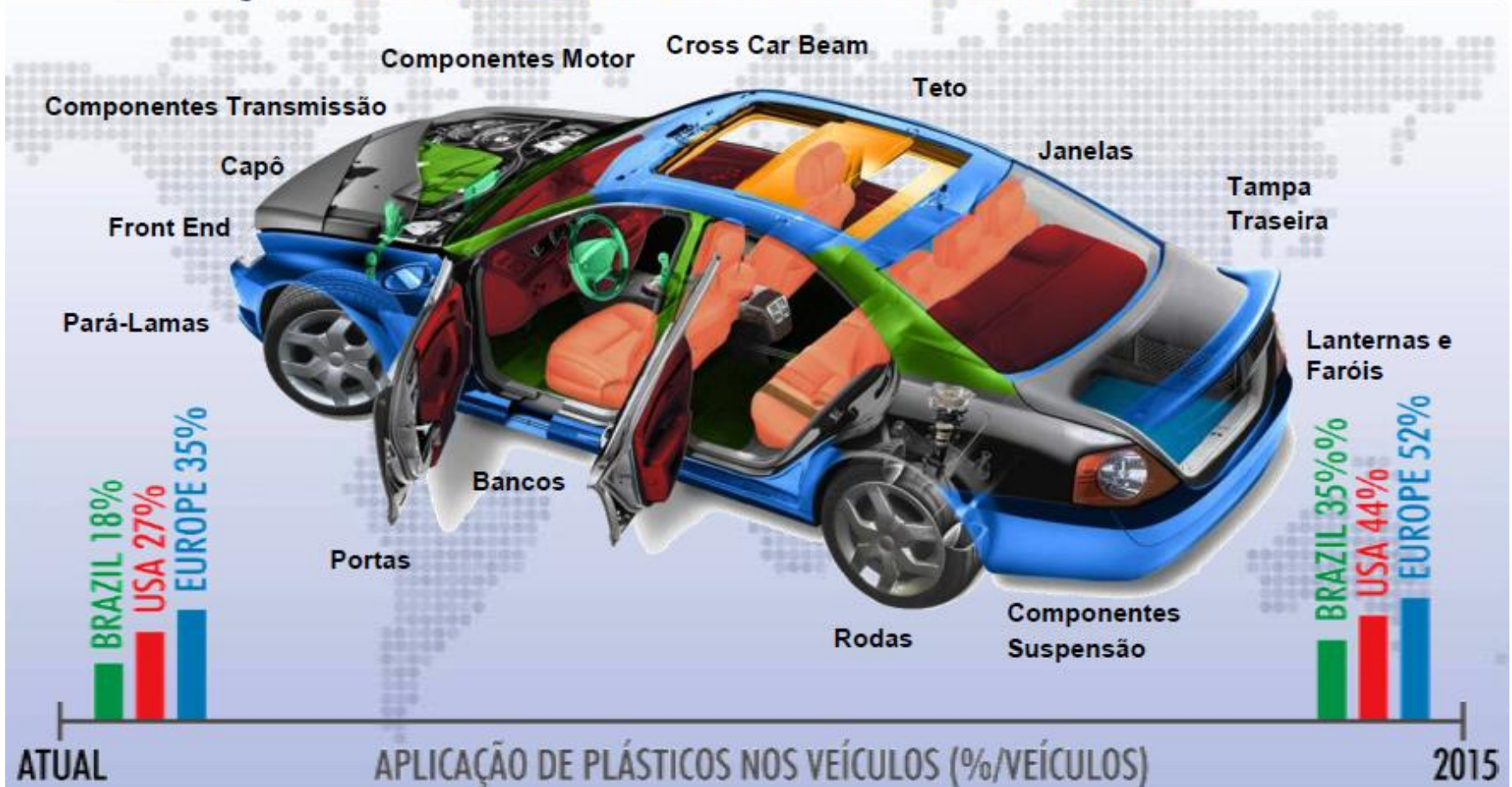
# PRÓLOGO

- Esta apresentação constitui um comentário pessoal sobre a evolução dos materiais usados na indústria automotiva ao longo das últimas décadas.
- Bagagem:
  - Engenheiro de Materiais (1981): ênfase em materiais metálicos + formação em materiais poliméricos
  - Cosipa/Usiminas (1982): Processos (Aciaria/Laminação a Quente)
  - Mestrado (1990): Aços Bifásicos (*Dual Phase*)
  - Professor de *Materiais Poliméricos* (FEI, 1995-2000)
  - Editor-Técnico da Revista Plástico Industrial (1998)
  - Doutorado (2001): Aços *HSLA80 – ULCB (UHSS)*
  - Editor-Técnico da Revista Corte e Conformação de Metais (2005)
  - Editor da Tecnologia em Metalurgia, Materiais e Mineração (2009)
  - Site: [www.gorni.eng.br](http://www.gorni.eng.br)

# PRIMEIRO CONTATO

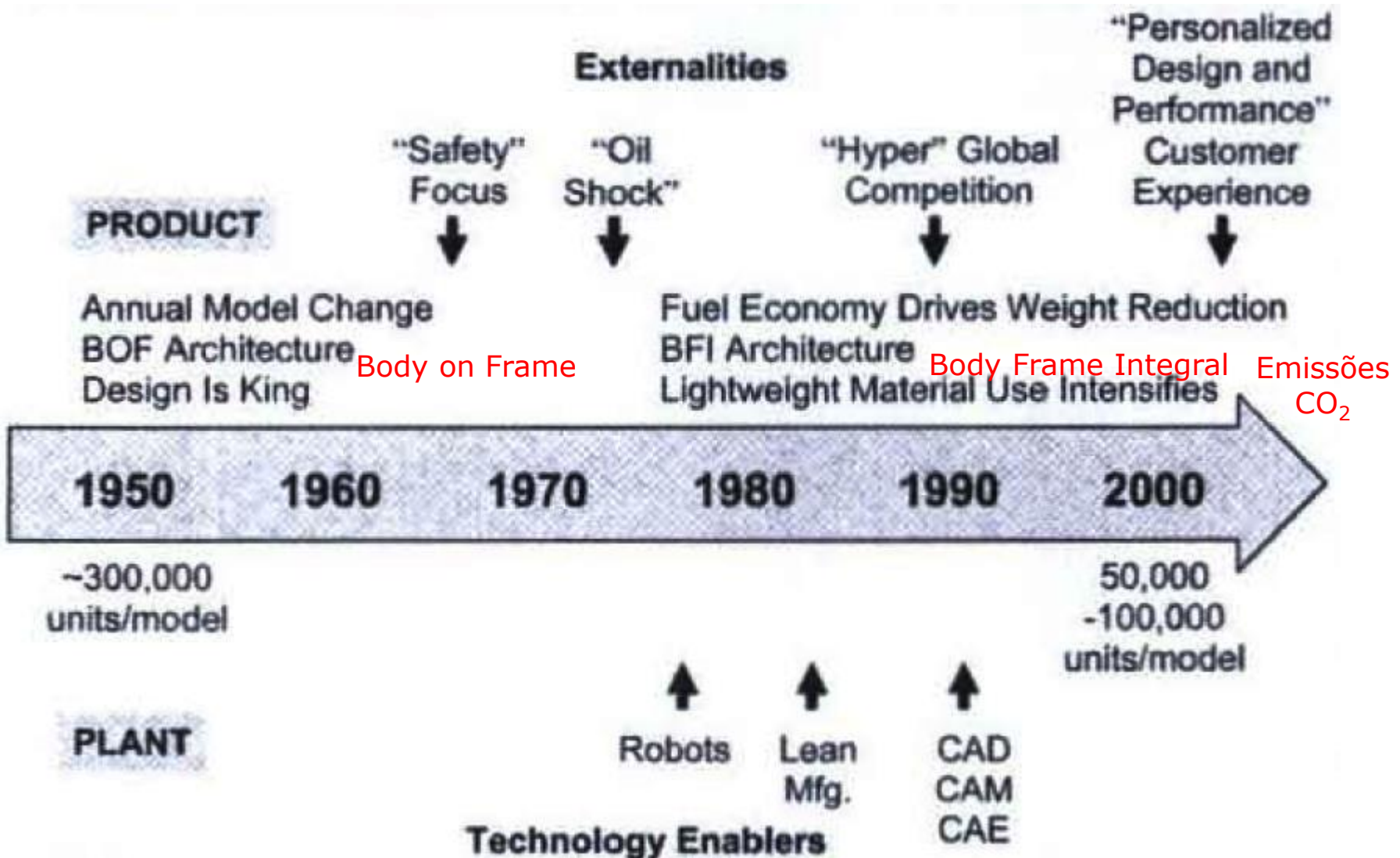
- Revista *Materials Engineering*, 1981

## Evolução dos Polímeros na Indústria Automobilística



*Plascar, 2009*

# EVOLUÇÃO

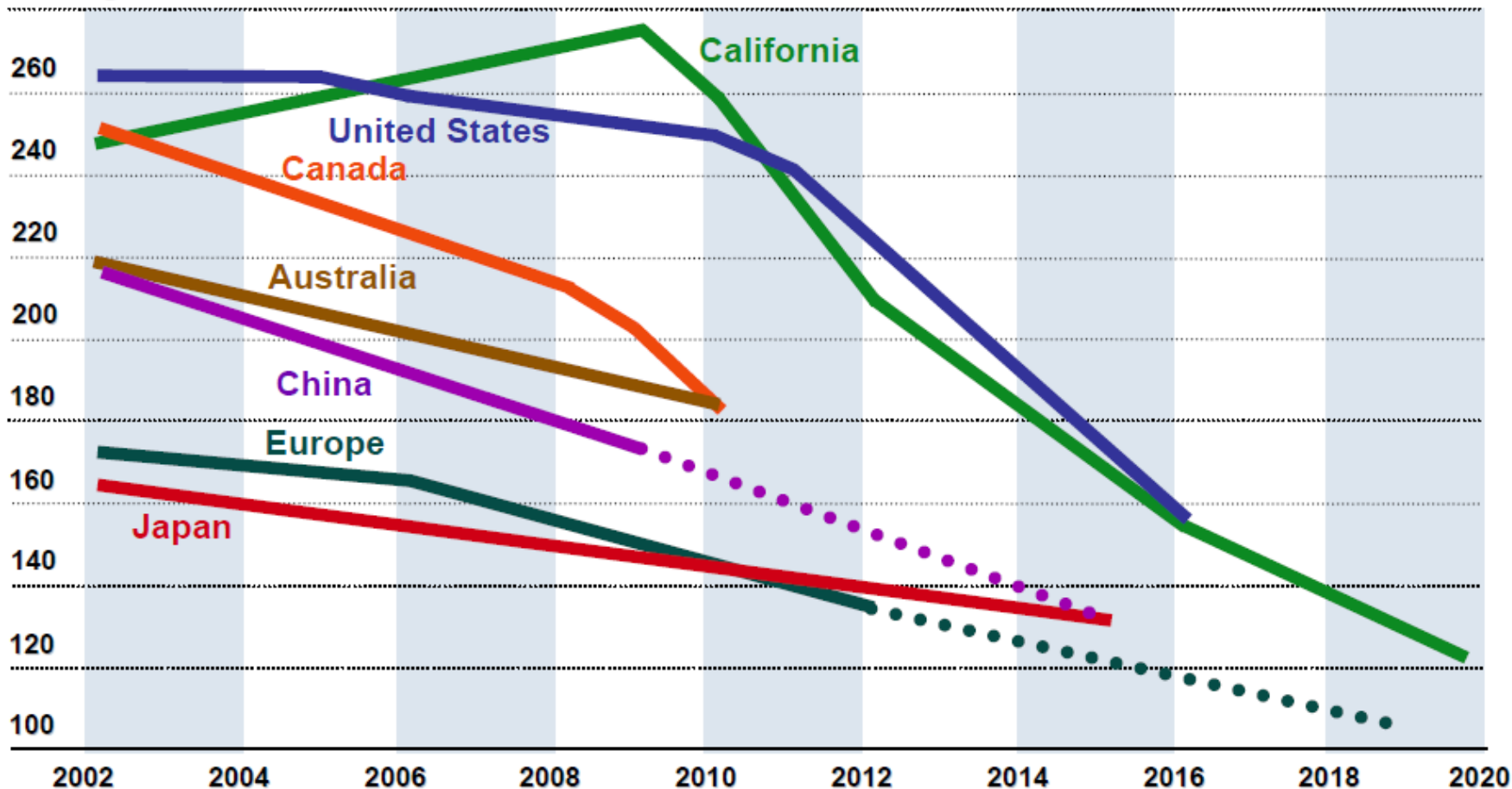


# S.A.F.E.

- Critérios básicos a serem satisfeitos por um veículo:
  - Seguro (**S***afety*)
  - Barato (**A***ffordability*)
    - US\$ 9.200 a 10.200
  - Energeticamente Eficiente (**F***uel Efficiency*)
    - 22 a 31 km/l
  - Amigável Ambientalmente (**E***nvironmental Friendliness*)
    - 86 a 108 g CO<sub>2</sub>/km
- Esses requisitos freqüentemente são *conflitantes* entre si.

# METAS PARA CO<sub>2</sub>

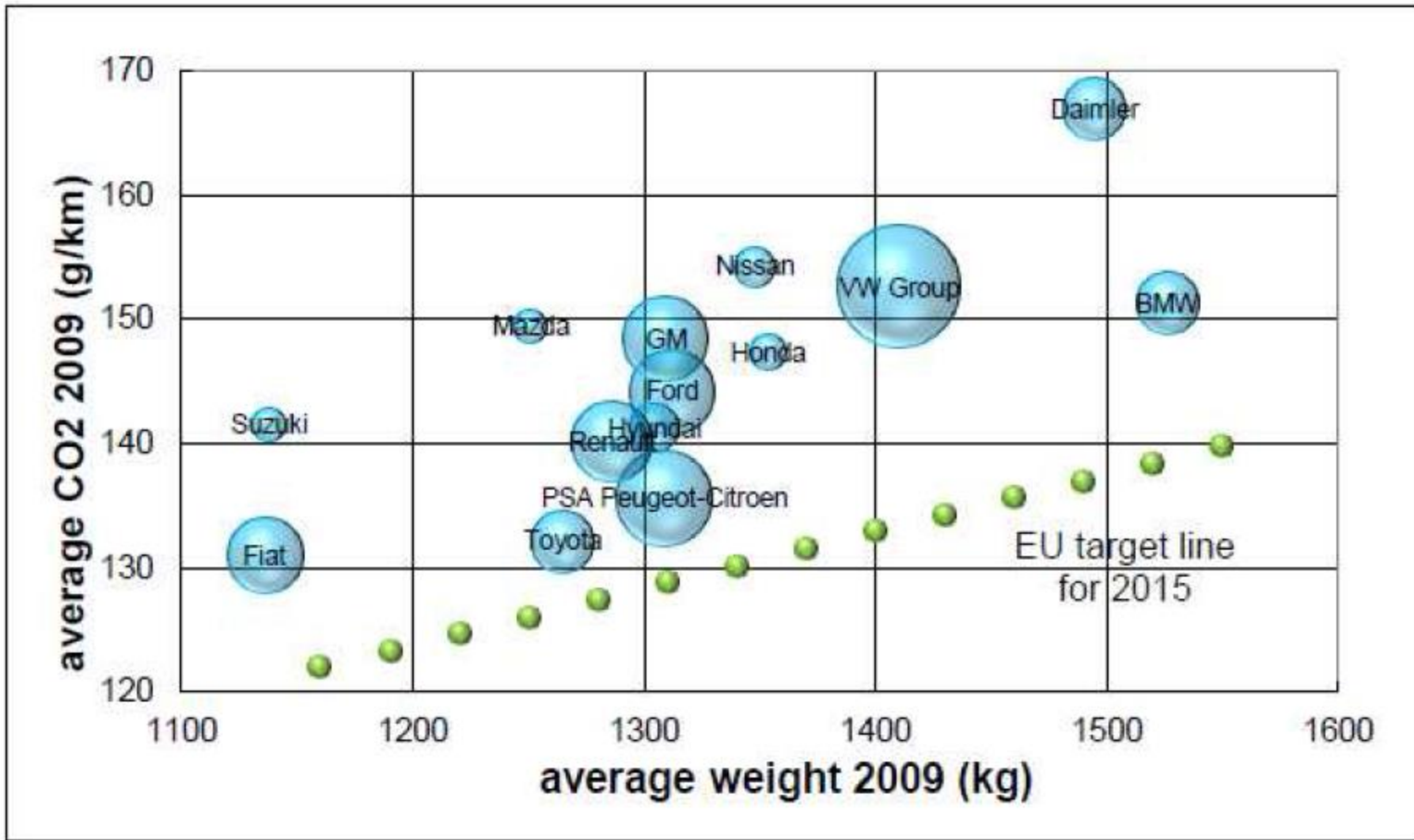
280 CO<sub>2</sub> equivalent g/Km converted to NEDC test cycle



Source: FSV Phase 1 Report

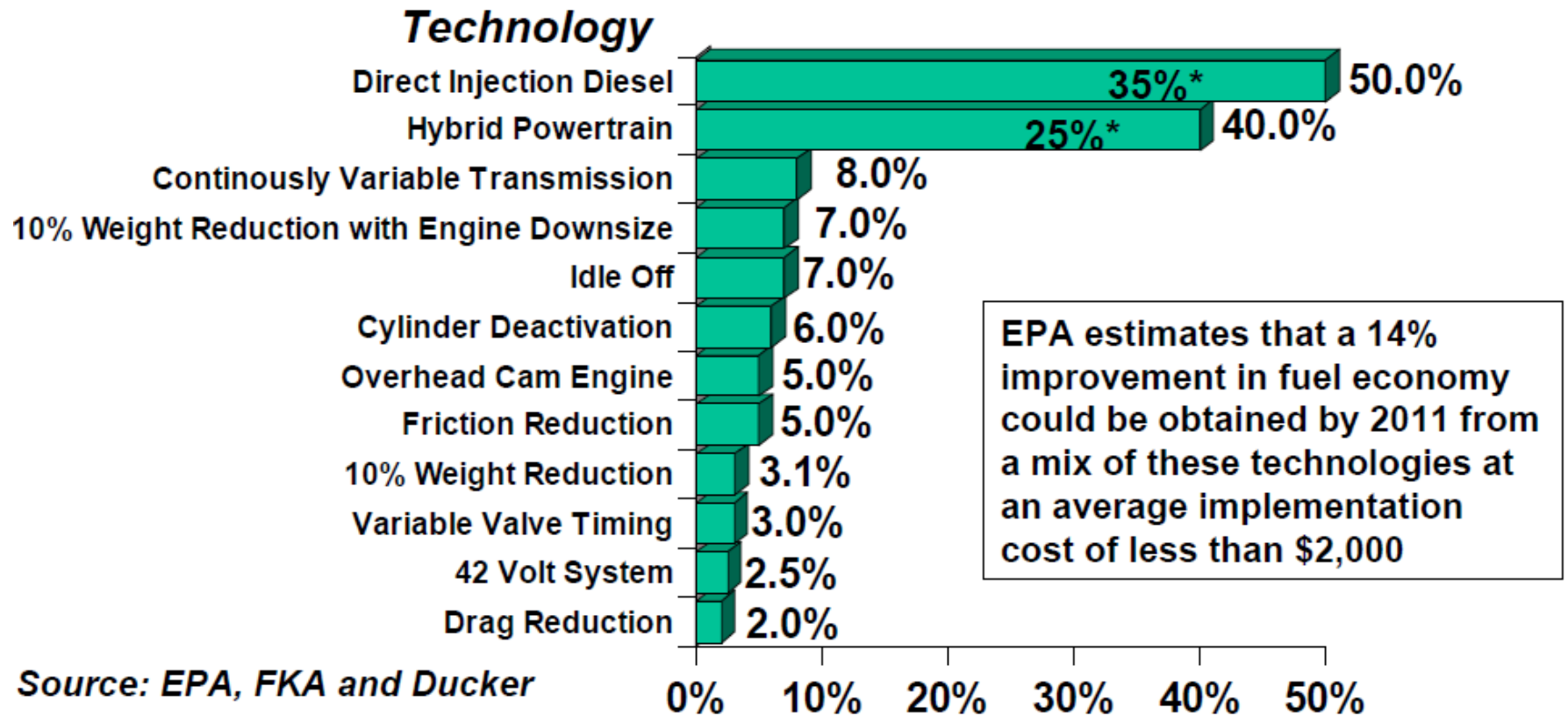
TAISS, E. 42° Seminário de Aciaria – Internacional, ABM, Salvador, 2011.

# CO<sub>2</sub>: REAL x OBJETIVO



# NÃO É SÓ O PESO...

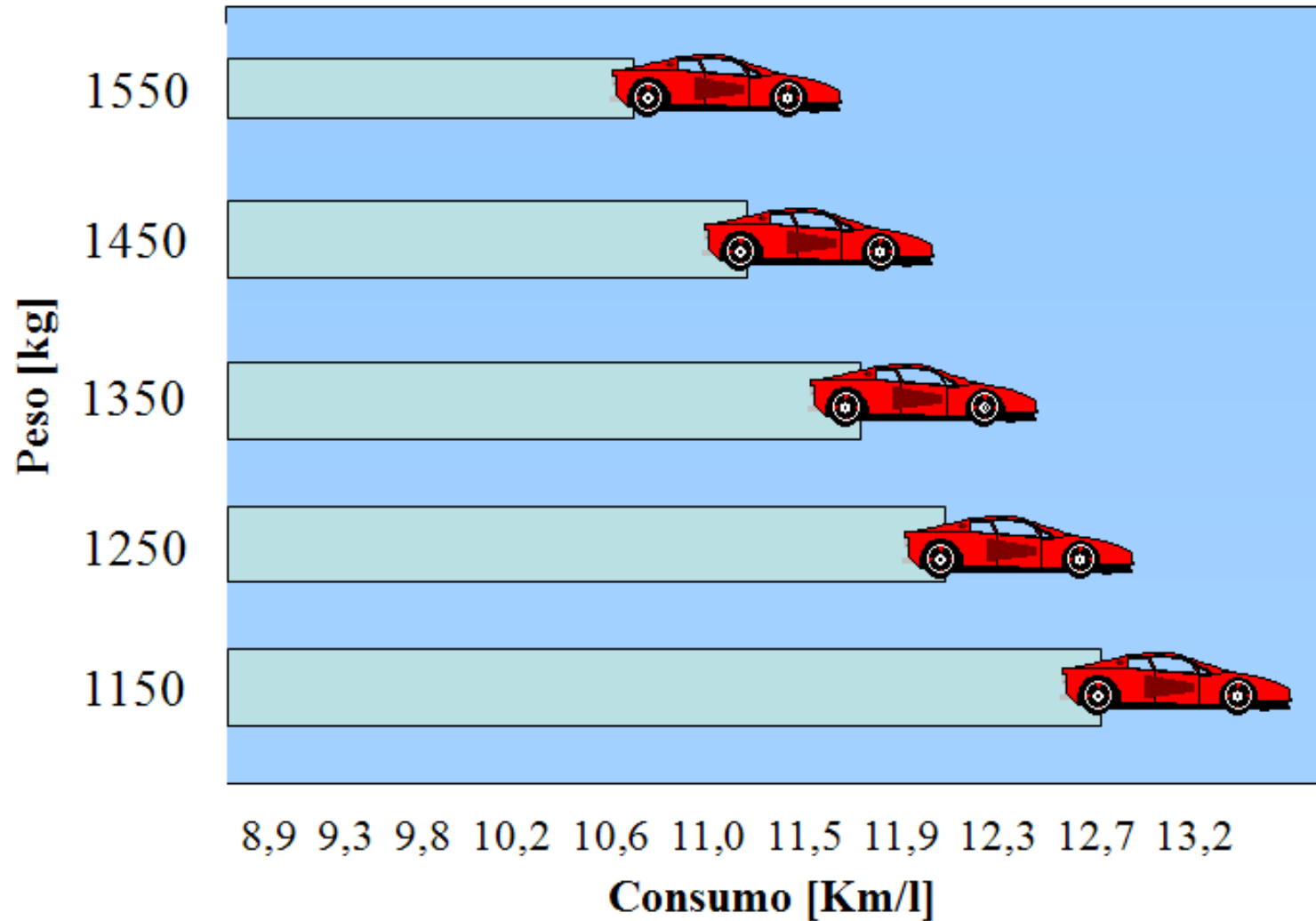
## Examples of Technology to Improve Fuel Economy Maximum Increase in Fuel Economy from Each Technology with No Decrease in Vehicle Footprint



Source: EPA, FKA and Ducker

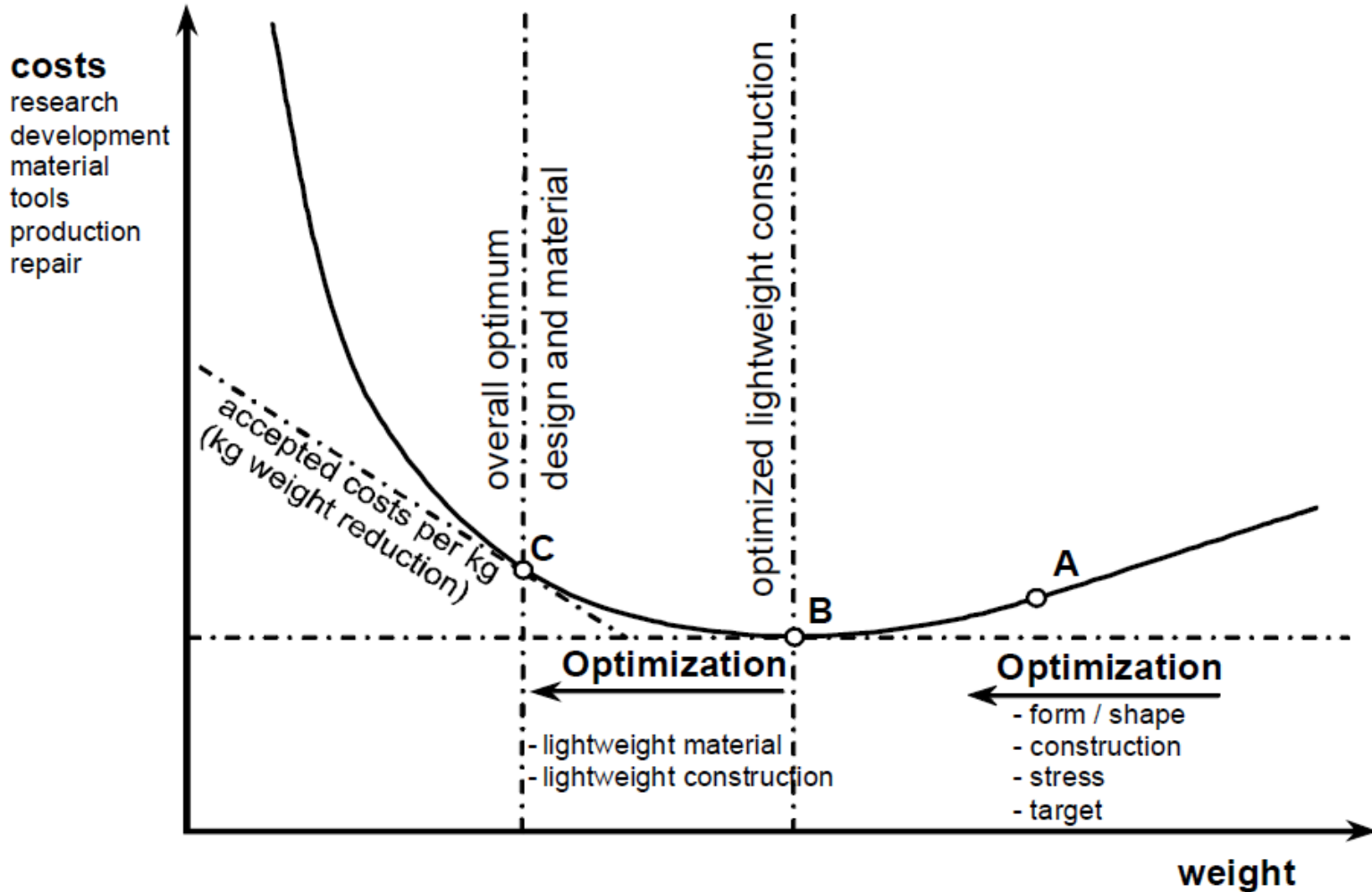
\*Actual reported increases

# NOSSO FOCO

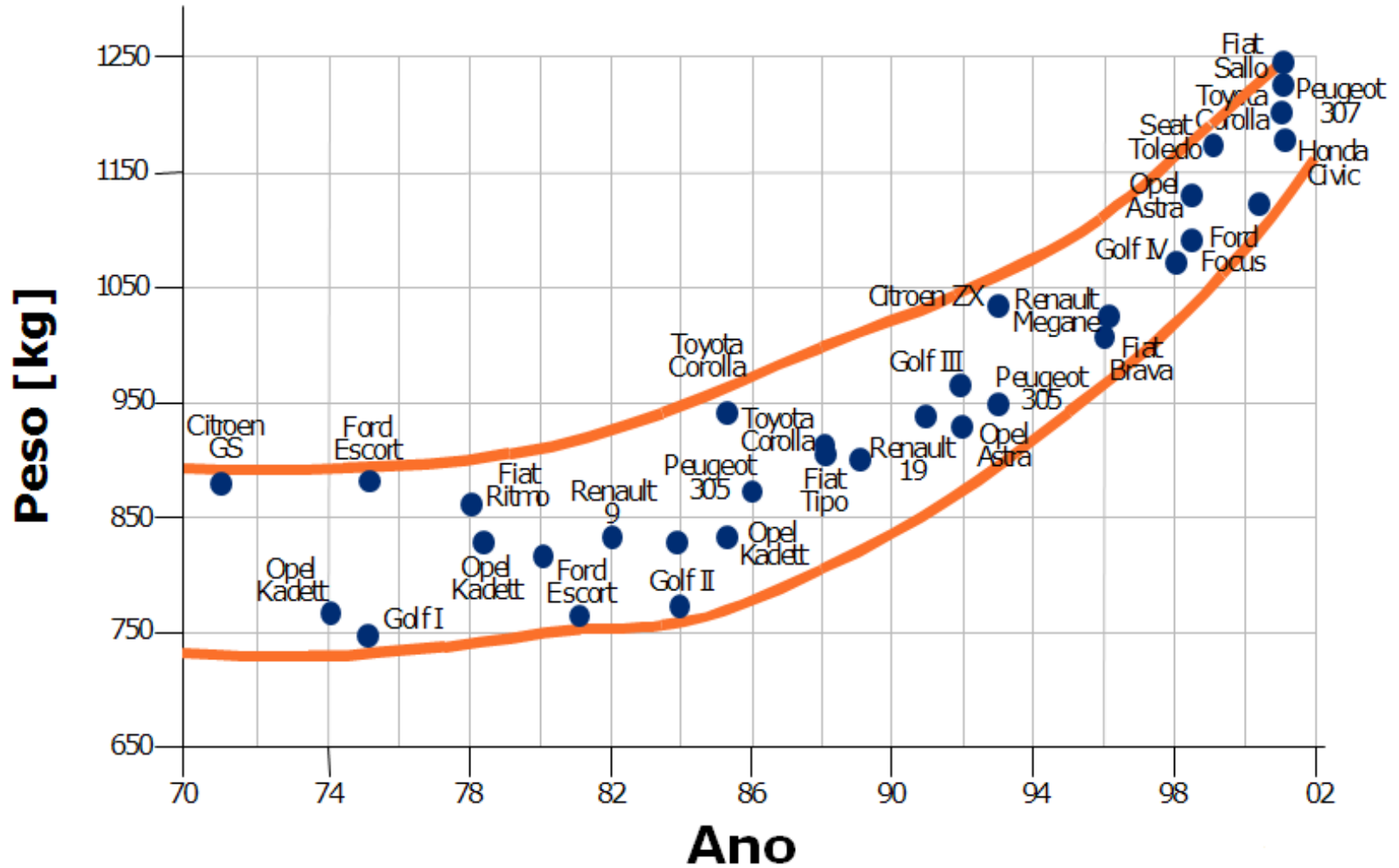


# CUSTO x PESO

## Lightweight construction: costs to weight



# REDUÇÃO DE PESO?



**FILLETI, A. 1º Workshop sobre Aplicação de Materiais na Área Automobilística, ABM, São Paulo, 2007**

# EVOLUÇÃO 1975-2015

## North American Light Vehicle Material Content Per in Pounds

	1975	2005	2007	2015	Change From 1975 to 2015
Mild Steel	2,180	1,751	1,748	1,314	Down 866 lbs.
High Strength Steel	140	324	334	315	Up 175 lbs.
Advanced HSS	--	111	149	403	Up 403 lbs.
Other Steels	65	76	76	77	Up 12 lbs.
Iron	585	290	284	244	Down 341 lbs.
Aluminum	84	307	327	374	Up 290 lbs.
Magnesium	--	9	9	22	Up 22 lbs.
Other Metals	120	150	149	145	Up 25 lbs.
Plastic/Composites	180	335	340	364	Up 184 lbs.
Other Materials	546	629	634	650	Up 104 lbs.
<b>Total Pounds</b>	<b>3,900</b>	<b>3,982</b>	<b>4,050</b>	<b>3,908*</b>	<b>Up 8 lbs.</b>

Source: Ducker Worldwide

\* Same vehicle mix and average footprint as 2007

**SCHULTZ, R.A. Great Designs in Steel Seminar, AutoSteel, 2007**

# NOVOS MATERIAIS

- **Problemas** envolvidos na adoção de novos materiais:
  - **Confiabilidade** (tecnologia pouco amadurecida);
  - **Preço** superior (poucos fornecedores);
  - **Disponibilidade** incerta;
  - **Conversão** das plantas de manufatura automotiva;
  - Maiores **tempos de ciclo** para manufatura;
  - Menor resistência: **maior risco de intrusão**;
  - Maior resistência: **dificuldades no resgate**;
  - Custo e viabilidade de **reparos**;
  - **Pior reciclabilidade**.

# PLÁSTICOS

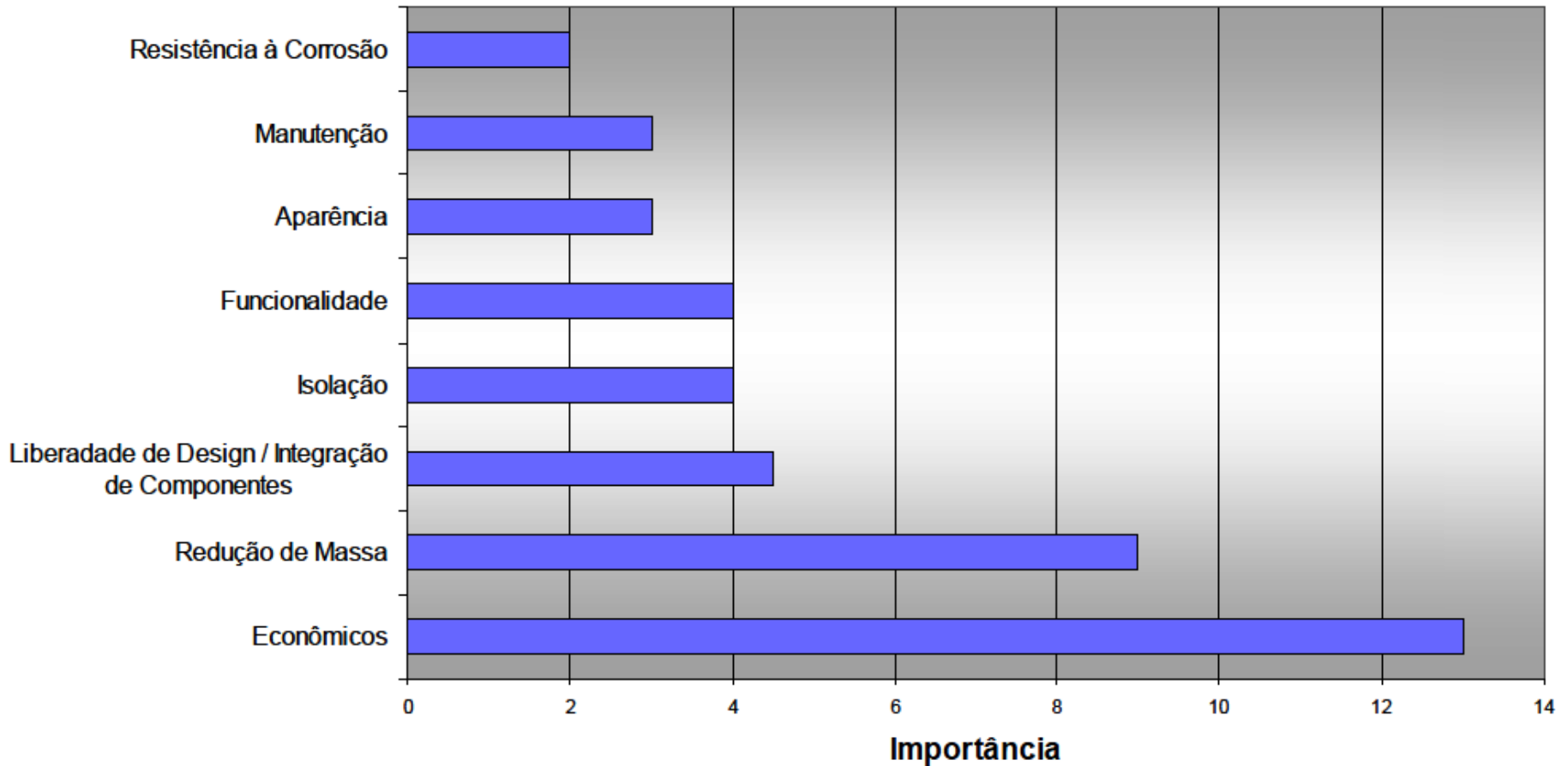
## Evolução dos Polímeros na Indústria Automobilística



*Plascar*

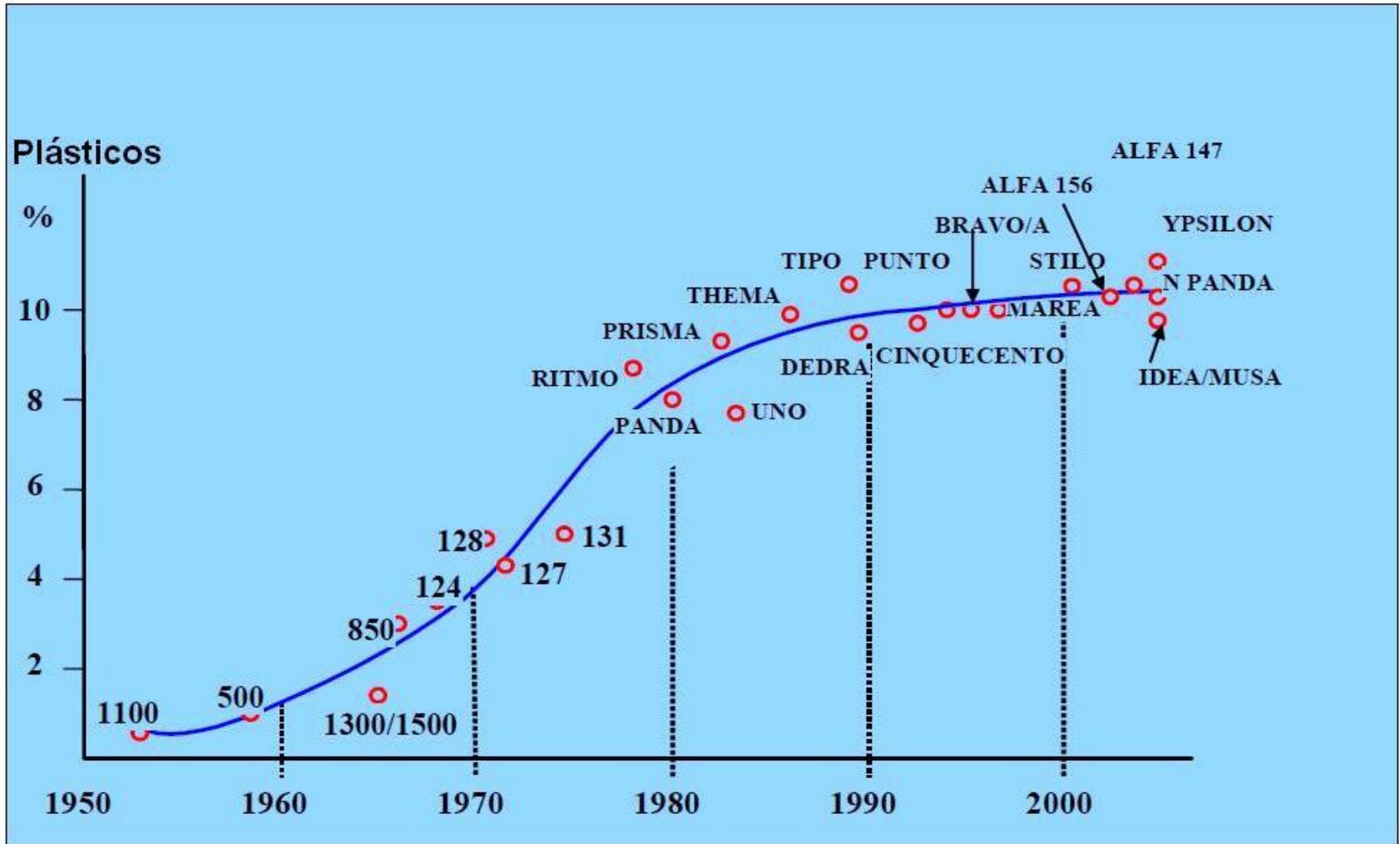
# PLÁSTICO x METAL

## Principais Critérios para Substituição de Metal



***PULQUÉRIO, E.C. (TICONA), Painel Automotivo 2009***

# PLÁSTICO: SATURAÇÃO DE APLICAÇÕES?

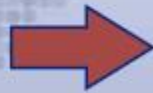


# PLÁSTICO: CÁRTER

## Componentes do Motor – Carter Plástico

### VANTAGENS

- Redução de Peso (30 – 50%).
- Integração de componentes e funções.
- Liberdade de design.
- Aumento da capacidade de óleo.
- Estruturação mecânica.
- Isenção de corrosão.
- Redução de ruído.



**Plascar**

# PLÁSTICO: PARA-LAMAS



AÇO

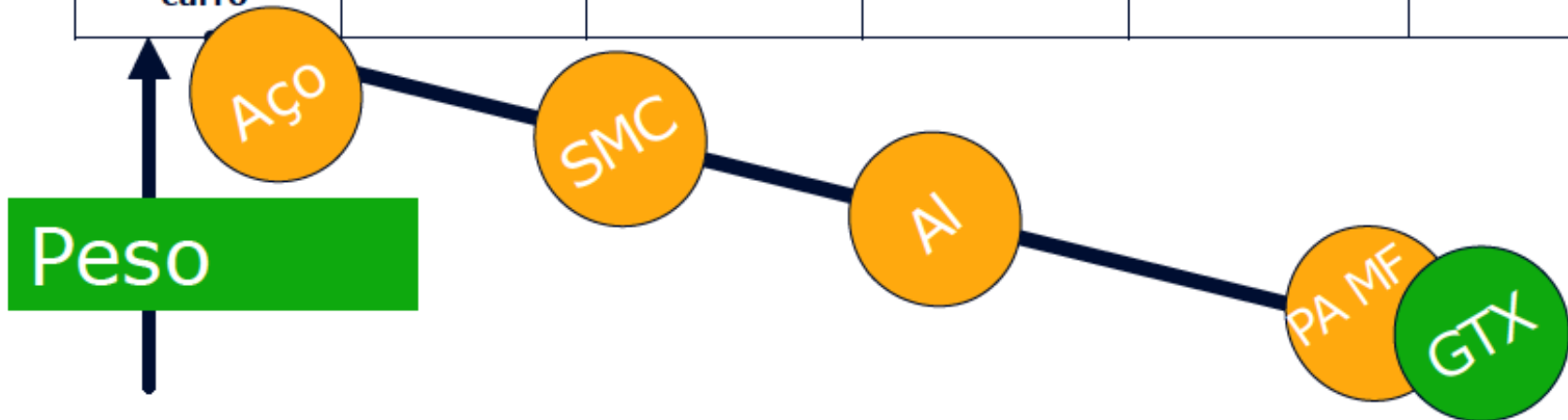
Marca : 2.5km/hr  
Troca : 4 km/hr

GTX

@ 23C 12-15 km/hr  
@ -20C 6-10 km/hr

# PLÁSTICO: PARA-LAMAS

Material	Aço (th=0,77mm)	SMC (th = 2,5mm)	Alumínio (th = 1,2mm)	PA Carga Mineral (th = 2,1 mm) (th = 2,5 mm)	Noryl* GTX (th = 2,1mm) (th = 2,5mm)
Peso total por carro	4.8 kg	3,9 kg	3,1 kg	2,2 kg 3 kg	1,9 kg 2,6 kg
Peso poupado por carro	0kg (0%)	0.9 kg(-19%)	1,7kg(-35%)	2,6 kg (-55%) 1,8 kg (-37%)	2,9kg(-60%) 2,2kg(-46%)



# PLÁSTICO: PARA-LAMAS

- Vantagens do uso da blenda **PPO/PA** na fabricação de pára-lamas:
  - Redução de até **50% no peso**;
  - **Dispensa reparos** no caso de colisões a baixa velocidade.
  - Maior **liberdade de estilo**;
  - **Integração** entre componentes isolados.
  - Atende aos **critérios de segurança do pedestre** na Europa, Japão e E.U.A.

# PLÁSTICO: TANQUES



<http://polysys.com/wp-content/uploads/2013/02/gas-tank.jpg>

# PLÁSTICO: TANQUES

- Nas últimas décadas o **formato** dos tanques de combustível automotivos precisou ficar mais **complexo**, de forma a:
  - **Aproveitar melhor o espaço** disponível na parte inferior do veículo;
  - **Aumentar a capacidade** volumétrica do tanque;
  - Melhorar a **segurança**.
- **Outros requisitos:**
  - **Redução de peso;**
  - **Integração** de vários componentes num só.
  - **Vida útil** de 15 anos ou 250.000 km;
  - Resistência à **corrosão externa;**
  - Resistência interna a **vários tipos de combustível**.
- O **plástico** (principalmente PEAD) ganharam este mercado por atenderem a esses requisitos, via moldagem por sopro.

# PLÁSTICO: TANQUES

- Mas aqui o plástico apresenta um grande problema: **o combustível se infiltra entre suas moléculas** e chega até o exterior do tanque, sendo liberado na atmosfera.
- As contramedidas para esse inconveniente – **revestimentos** ou **camadas intermediárias menos permeáveis** – pioram ainda mais sua **reciclabilidade**, pois o material do tanque deixa de ser homogêneo.
- Os **requisitos para emissões de hidrocarbonetos** definidos pela *California Air Resources Board* (CARB):
  - Todo o veículo: **< 0,35 g/24 hs**
  - Sistema de Combustível: **< 0,054 g/24 hs**
  - Tanque de Combustível: **< 0,015 g/24 hs**praticamente **inviabilizaram o uso do plástico** nessa aplicação. E estão ficando cada vez mais severos!

# PLÁSTICO: TANQUES

- Outro ponto polêmico: a **comparação entre os pesos** de tanques de aço e plástico é feita considerando-se **tanques “virgens”**. Isso não é correto, pois **tanques de plástico, ao absorver combustível** (*swell* ou inchamento), têm seu **peso aumentado**:
  - + **8%** para tanques de plástico monocamada
  - + **4%** para tanques de plástico multicamada.
- As **espessuras de parede** variam conforme o material:
  - **Aço**: constante. Valor típico: 0,8 mm
  - **Plástico**: variável entre 5 e 15 mm.
- Muitas vezes o tanque de plástico recebe um **escudo térmico metálico** para evitar o aquecimento do combustível, o que **eleva seu peso** e reduz sua competitividade.

# PLÁSTICO: RODAS

## Roda em Polímero de Alta Performance

### VANTAGENS

- Redução de Peso (20-30% em comparação a liga leve – Al e 30-40% em comparação ao aço).
- Liberdade de design.
- Isenção de corrosão.
- Melhor performance – não amassa.
- Melhor desempenho do veículo.



# PLÁSTICO: RODAS

**Junho 2014**

**Compósito  
Reforçado  
com  
Fibras de Carbono**

**Sabic + Kringlan**



# PLÁSTICO: RODAS

- Material Compósito: **Polieterimida + Fibras de Carbono.**
- **Moldagem tridimensional** de resina termoplástica reforçada por fibras de carbono.
- Primeira roda automotiva feita com **resina termoplástica**. Os protótipos anteriores usavam **resina termofixa**, cujo processamento é demorado (e a reciclabilidade é pior).
- Protótipo desenvolvido para uma **montadora alemã**.
- Redução de consumo de combustível/emissões de gás carbônico: **de 2 a 3%.**

# MOLAS

**Julho 2014**

**Resina Epóxi  
Reforçada  
com  
Fibras de Vidro**

**Audi  
+  
Fabricante Italiano**



<http://www.springerprofessional.de/audi-setzt-auf-fahrwerksfedern-aus-glasfaserverstaerktem-kunststoff-statt-stahl/5191930>.

# MOLAS

- **40% mais leves** (2,7 kg x 1,6 kg) que o mesmo modelo feito em aço: **-4,4 kg/veículo**.
- Fibras de reforço orientadas em **+45°/-45°** para suportar os esforços de tração/compressão.
- Resistentes à **corrosão** e ao **impacto de pedras**.
- Resistentes a produtos usados na **limpeza de rodas**.
- Sua manufatura requer **menos energia** do que o modelo equivalente feito em aço.
- A nova mola deverá ser usada em **automóvel de médio porte** ainda este ano.



# MAS... E O LIXO PLÁSTICO?

- Na maior parte dos casos o plástico leva **séculos** para se degradar no meio ambiente, pois são **macromoléculas artificiais**, não atacadas por agentes biológicos. Só o **calor** e a **radiação ultravioleta** os degrada.
- A **reciclagem por reutilização** de plásticos nem sempre é viável:
  - **Economicamente** (termoplásticos): o produto virgem tende a ser muito mais barato (e com melhor qualidade) do que o reciclado.
  - **Tecnicamente** (termofixos): o material queima sem se derreter.
- Em **2015** legislação europeia imporá que 95% dos veículos em fim de vida útil sejam **recolhidos, desmantelados e reciclados** por seus fabricantes, o que o questiona uso dos plásticos.
- Plásticos **reforçados com fibras** (rodas) ou em **sanduíche** (tanques de combustível) são piores para reciclar.

# SOLUÇÕES PROPOSTAS

- Usar **material reciclado** em aplicações não-estéticas ou que não precisem atender altas propriedades mecânicas. Ex: PET (eventualmente vindo de garrafas) para tapetes.
- Usar **materiais biológicos**. Ex: fibra de coco ou banana em guarnições rígidas no interior das portas.
- **Uniformizar o plástico** a ser utilizado. Por exemplo: usar só polipropileno (PP, termoplástico) nas peças do interior do veículo, dispensando análises para classificação.
- **Casos perdidos:** reaproveitar por incineração em altos-fornos, fornos elétricos a arco e fornos de cimenteiras, gerando energia e carbono para redução/recarburação.
- **Não são soluções fáceis**, mas...

# ALUMÍNIO: RODAS



<http://portuguese.alibaba.com/product-gs-img/darwin-ga1132-corrída-de-alum-nio-auto-rodade-liga-117996999.html>

# ALUMÍNIO: RODAS

- **Maior liberdade de formatos e estilos** proporcionada pelo processo de **fundição**;
- **Maior precisão dimensional** em função de **usinagem em equipamento CNC**:
  - Melhor **balanceamento**;
  - Melhor **vedação para pneus**, especialmente os sem câmara.
- **Maior capacidade térmica**, dissipando melhor o calor gerado pelo pneu e freios;
- **Redução de peso**;
- Resistência inerente à **corrosão**.

# ALUMÍNIO: CARROCERIAS

- Idéia não é nova: **Henry Kaiser** (1940's).
- Situação das carrocerias **exclusivamente feitas de alumínio** até há alguns anos atrás:
  - Ainda **raras**, mesmo para carros exclusivos;
  - Seu **alto preço** inviabilizava o uso exclusivo desse metal;
  - Opção pela **construção mista** com aço era considerada mais viável, mas impunha desafios em termos da união dos componentes;
- Uso de alumínio em **capôs e tampas** parecia promissor.
- Contudo, de 2012 para cá, surgiu uma **onda de euforia** sobre o uso do alumínio como **principal solução** ao atendimento dos requisitos legais impostos às **emissões de gás carbônico**.

# Range Rover: 100.000 un/ano



<http://www.autonews.com/article/20140602/OEM01/306029952/a-flurry-of-activity-in-aluminum>

# S.U.V. F-150: FORD



<http://www.forbes.com/sites/matthewdepaula/2014/05/31/aluminum-inferior-to-steel-not-on-the-2015-ford-f-150/>

# S.U.V. F-150: FORD

**Liga Militar de  
Alumínio Série 6000  
Tratada  
Termicamente**



<http://www.ford.ca/trucks/f150/2015/>

# S.U.V. F-150: FORD

**Aços 500 MPa:  
23% para 77%  
Redução de 30 kg**



<http://www.ford.ca/trucks/f150/2015/>

# S.U.V. F-150: FORD

- **Primeira grande aposta comercial** feita em uso massivo de alumínio num modelo não-esportivo (650.000 unidades/ano).
- União entre carroceria e chassis feita através de **rebites**, ao invés da soldagem a ponto convencional (aço-aço).
- **Experiência adquirida** na fabricação de **capôs e tampas** de alumínio forneceu dados para programas CAD-CAE.
- Redução total de peso: **340 kg**.
- Redução de consumo de combustível: de **9,8 km/l** para **12,8 km/l**.
- Meta global americana imposta para 2025: **23,3 km/l**.
- **Caso especial**: veículo produzido numa **única planta e em grande escala**, o que **reduz os investimentos** necessários e **viabiliza** o uso do alumínio.

# PREVISÕES

- **Ford:** 1.000.000 unidades/ano com carroceria de alumínio em 2017 nos SUV's F-150, F-250, Navigator e Expedition.
- **GM:**
  - Prevê usar carroceria de alumínio em suas pick-ups Silverado e Sierra em 2018.
  - Desenvolveu tecnologia para soldagem de alumínio, evitando assim o uso de união mecânica.
  - Dúvida: **altos custos do reparo** dessas carrocerias.
- **Chrysler:** prevê uso de carroceria de alumínio em seu SUV Jeep Wrangler, em 2017.
- **Novelis:** prevê aumento no consumo anual de chapas de alumínio dos atuais 350.000 t para 1.800.000 t até 2020 – (+500%). Junto com **Alcoa** e **Kobe Steel/Toyota Tsusho**, está investindo no aumento da capacidade de produção.

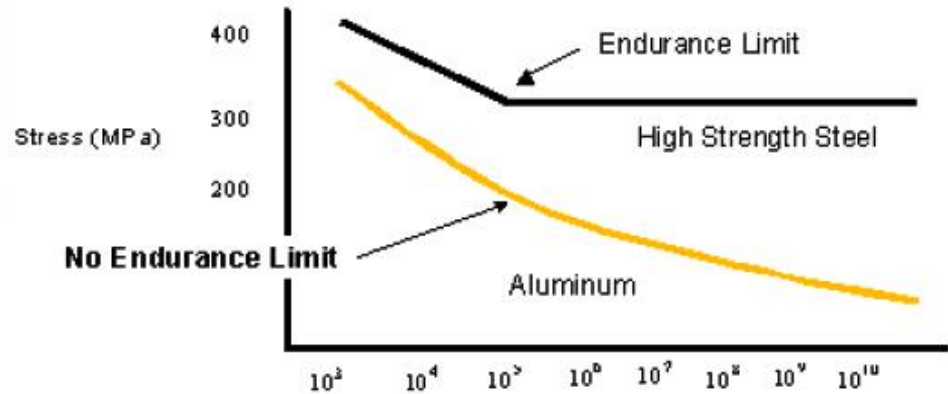
# ALUMÍNIO x AÇO

- **Módulo Elástico [GPa]:** 210 GPa x 70 GPa;
- **Densidade [g/cm<sup>3</sup>]:** 7,85 g/cm<sup>3</sup> x 2,72 g/cm<sup>3</sup>;
- **Rigidez Específica (E/ρ) [GPa cm<sup>3</sup>/g]:** 26,75 x 25,64 - favorece o aço em aplicações com **geometria côncava**;
- O aço **absorve mais energia** no caso de solicitações mecânicas em alta velocidade (colisões);
- O aço apresenta **limite de fadiga** (vida infinita abaixo de certo valor de tensão), ao contrário do alumínio, cuja vida sempre se mostra **finita**, mesmo sob baixas tensões.

# ALUMÍNIO x AÇO



## Fatigue Comparison



Aluminum 5052-O	= 124 MPa at 50( $10^7$ ) Cycles
Dual Phase 800	= 307 MPa (Endurance Limit)
TRIP 600	= 336 MPa (Endurance Limit)

Source: US Steel Website

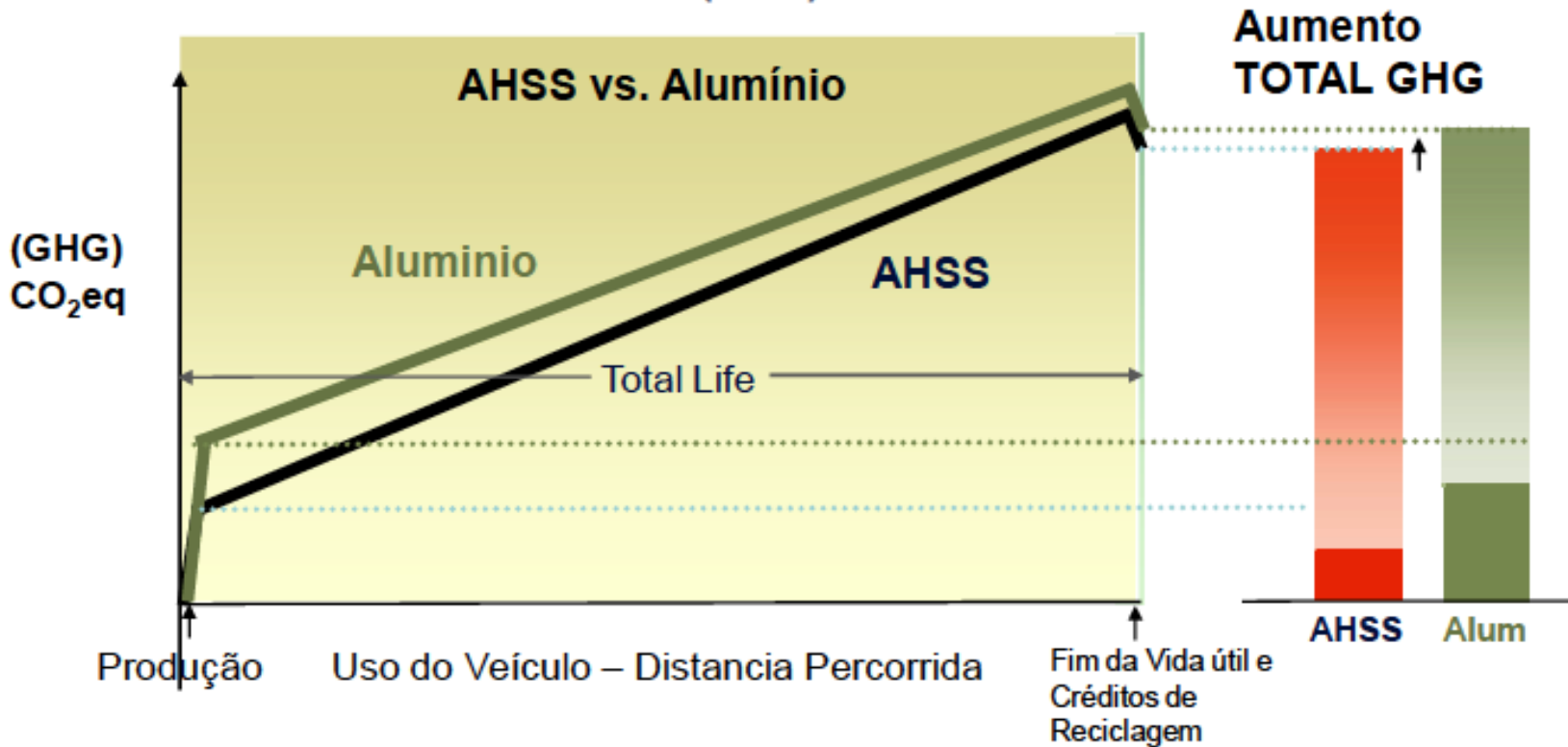
- Since aluminum does not have an endurance limit, they can only be designed for a specified number of cycles.
- On the other hand, steel solutions can be theoretically designed for infinite cycles.

# ALUMÍNIO x AÇO

- O aço apresenta **maior conformabilidade** que o alumínio (cerca de 1/3 a mais);
- O aço, em função de sua maior dureza, apresenta maior resistência à endentação (*dent resistance*);
- O aço, em função de sua maior densidade, apresenta maior capacidade **para absorver vibrações**.
- O **magnetismo** do aço ajuda nas operações logísticas para sua reciclagem.
- As peças convertidas ao **alumínio** são **40% mais leves**, mas também **40% mais volumosas** do que as feitas de aço, criando problemas com a **administração do espaço** dentro do projeto automotivo.

# GERAÇÃO DE CO<sub>2</sub>

Ciclo de Vida Total - Greenhouse Gas (GHG) Emissions



	Produção (kg CO <sub>2</sub> eq/ veículo)	Veículo em Uso (kg CO <sub>2</sub> eq / mês)	Final de Vida - Reciclagem (kg CO <sub>2</sub> eq / veículo)
Aço	4.054,2	226,9	- 2.476,4
ULSAB - AVC	3.589,2	218,8	- 2.825,6
Alumínio	5.612,3	214,0	- 2.198,7

# APP THYSSEN-KRUPP



*Break-even* típico para favorecer  
Al: **200.000 km**

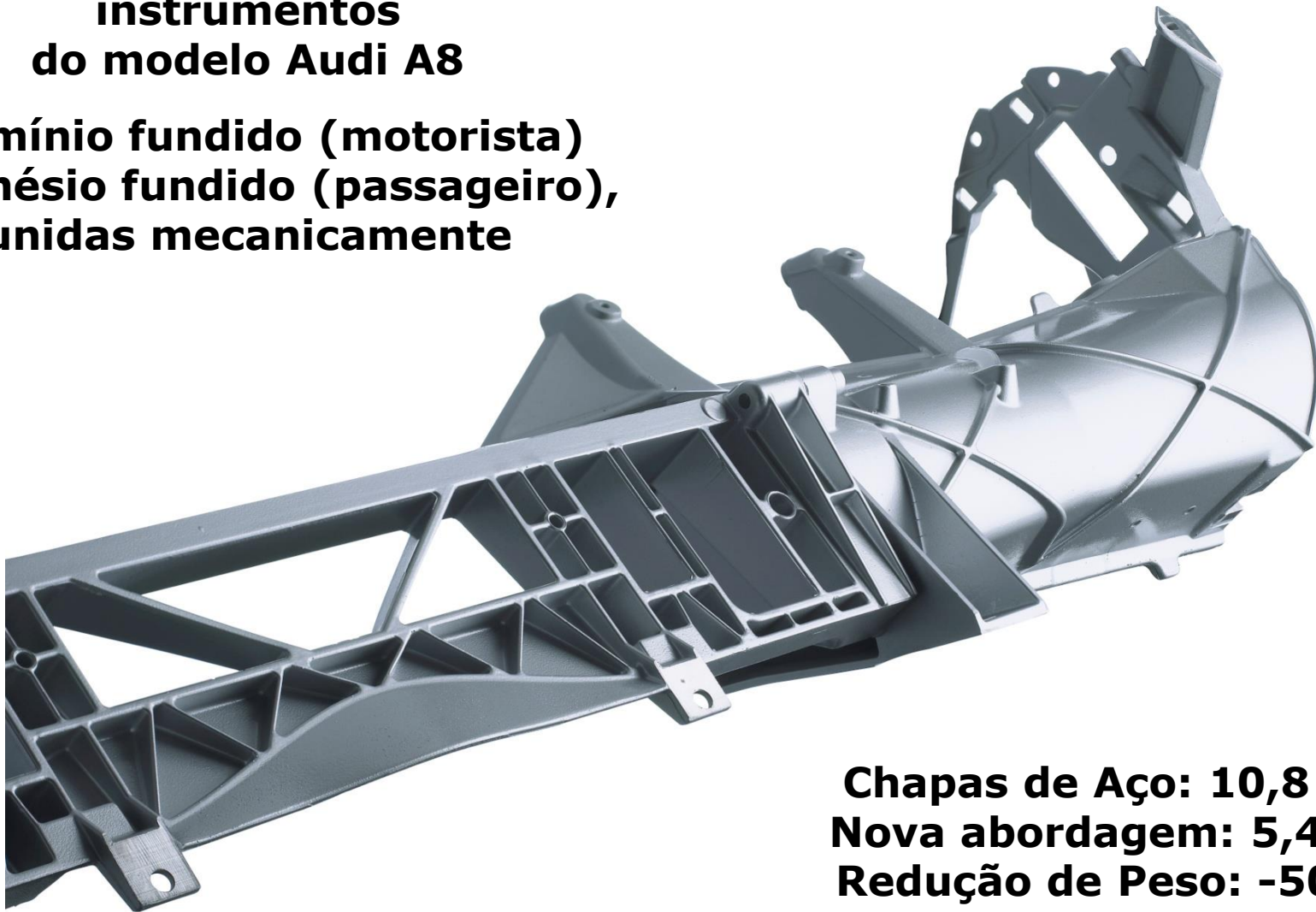
Acima da vida útil média de um  
automóvel.

[itunes.apple.com/br/app/autobody-lca/id543203333?mt=8](https://itunes.apple.com/br/app/autobody-lca/id543203333?mt=8)

# ALUMÍNIO + MAGNÉSIO

**Suporte do painel de  
instrumentos  
do modelo Audi A8**

**Alumínio fundido (motorista)  
Magnésio fundido (passageiro),  
unidas mecanicamente**



**Chapas de Aço: 10,8 kg  
Nova abordagem: 5,4 kg  
Redução de Peso: -50%**

# ALUMÍNIO x MAGNÉSIO

**Módulo para  
condução de  
óleo do  
Porsche  
Panamera**

**Liga de  
magnésio  
resistente à  
fluência  
fundida sob  
pressão**

**1 kg a menos  
do que peça  
similar feita  
com liga de  
alumínio**



<http://media.materialsvIEWS.com/wp-content/uploads/2014/06/Award-winning-lightweight-design.jpg>

# ...E O AÇO?

Desenvolvimentos de Aços Avançados de Alta Resistência para a Indústria Automobilística Feitos desde 1975

Objetivo:  
Estruturas Leves de Aço

Novos Processos?

Projeto de Materiais?

22MnB5 LR > 1000 MPa

Aços TWIP LR > 500 MPa

Aços Fase Complexa, LR = 800~1000 MPa

Aços Parcialmente Martensíticos - LR = 600 ~ 1000 MPa

Aços Super IF - LE = 200 MPa, LR = 300 MPa

Aços TRIP - LR > 600 MPa

Aços Isotrópicos - LE = 250 MPa

Aços IF de Alta Resistência - LR > 350 MPa

Aços Bake Hardening - LE = 180 ~ 300 MPa

Aços Bifásicos - LE = 450 ~ 950 MPa

Aços Refosforados - LE = 220 ~ 300 MPa

Aços Microligados - LE = 260 ~ 420 MPa

1975

1980

1985

1990

1995

2000

2005

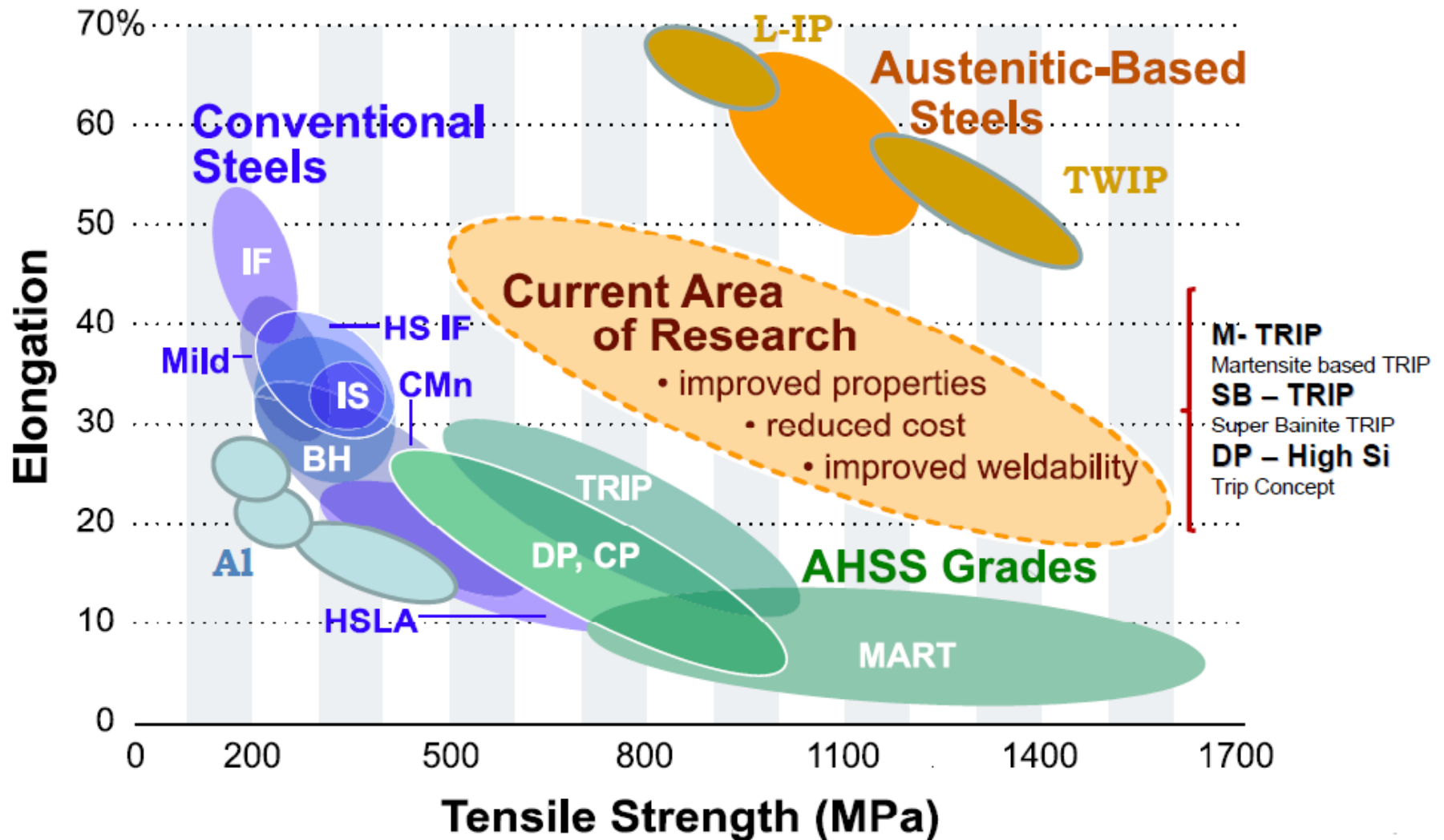
2010

*Wuppermann, C. P. 62º Congresso Anual da ABM. Vitória, 2007, 71 p.*

## ...E O AÇO?

- Em função dessas pressões históricas a metalurgia dos aços para chapas vem evoluindo continuamente, proporcionando **economia e eficiência** cada vez maiores na fabricação e uso dos bens de consumo duráveis.
- Nas aplicações automotivas o impacto dessas melhorias é mais intenso devido ao **enorme tamanho** desse mercado e seu **impacto global** na economia. Os principais objetivos:
  - **Redução de peso** através de aumento de resistência mecânica.
  - **Manutenção ou aumento da segurança** dos ocupantes do veículo em caso de colisão.
- De forma geral, o uso dos aços AHSS **reduz o peso dos componentes em 25%** e o **espaço** ocupado por eles em **60%**.

# GRÁFICO DA "BANANA"



TAISS, E. 42° Seminário de Aciaria – Internacional, ABM, Salvador, 2011.

# RODAS: DESAFIOS AO AÇO

- **Aumento da resistência à fadiga** – maiores esforços nas rodas graças a pneus que apresentam maior aderência;
- **Redução de peso** - vital para enfrentar as ligas leves;
- **Maior liberdade de formato e estilos** - idem;
- **Maior precisão dimensional (“redondeza”)** – idem;
- **Aumento da rigidez:**
  - Rodas de aço são mais flexíveis que as de ligas leves;
  - Vibram com baixas frequências, produzindo desconforto aos ocupantes do veículo.

# RODAS: DESAFIOS AO AÇO

**Chevy Malibu**



# RODAS: DESAFIOS AO AÇO

## Roda *Kühl* (Thyssen Krupp)

“Calota” com  
Design Variável  
de Aço Inox



Roda Básica de  
Aço Bifásico  
(DP-W 600)

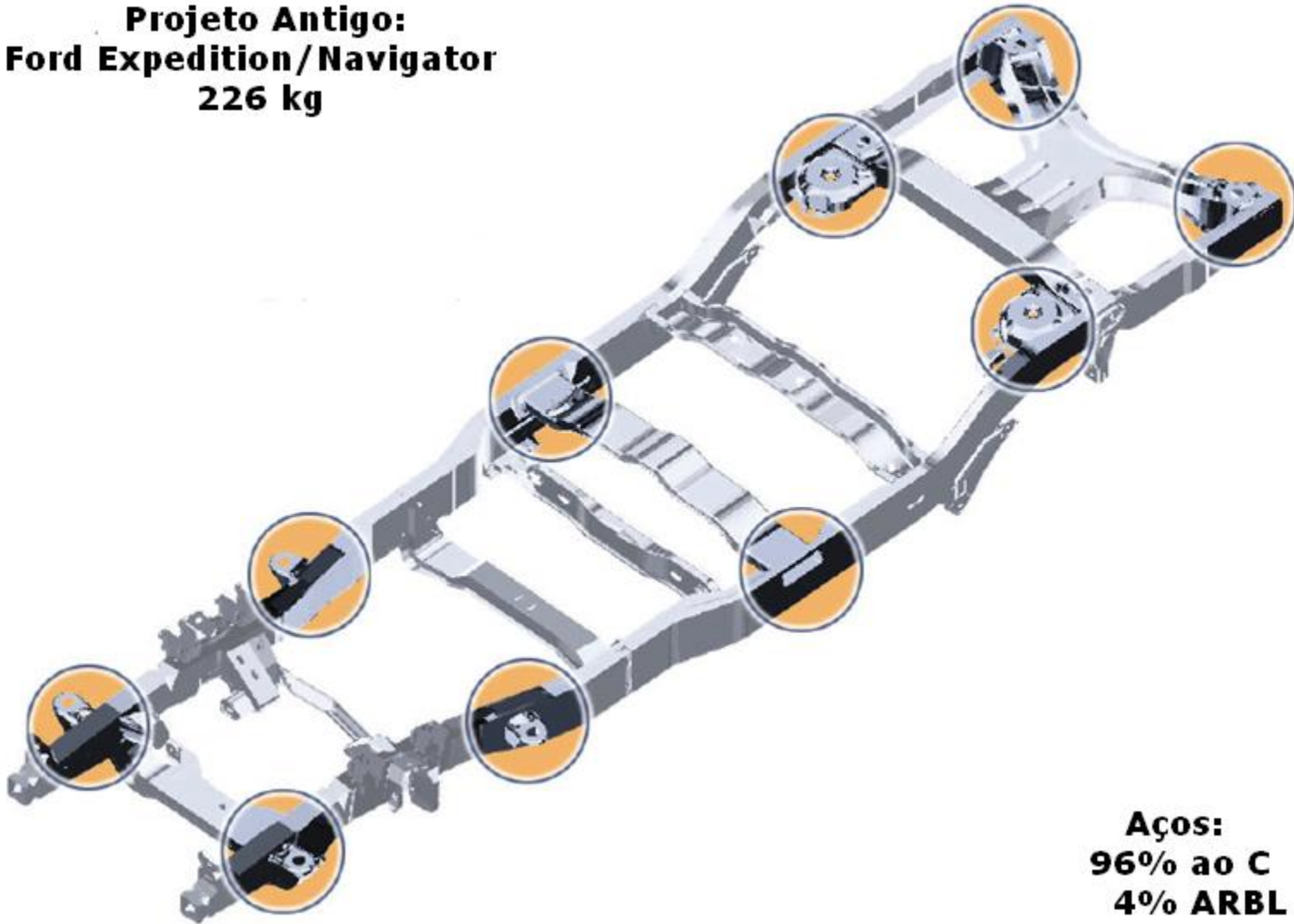


# CHASSIS/LONGARINAS

- O projeto *Lightweight SUV Frame Project*, desenvolvido no início do milênio pelo Departamento de Energia dos E.U.A., Auto/Steel Partnership e Altair Engineering, objetivava **reduzir em 25%** o peso do **chassis de SUV's**.
- Recursos:
  - Desenvolvimento de **arquitetura mais eficiente** para o chassis;
  - Aplicação intensa de **aços AHSS**;
  - **Tecnologias avançadas** de manufatura, como hidroconformação;
  - **Manutenção do desempenho** estrutural original.
- Redução de peso: de 226 kg para 133 kg (**-93 kg ou -41%**)
- Redução do comprimento de juntas soldadas: **50%**
- Aumento de custos: **US\$ 0,69/kg reduzido**.

# CHASSIS/LONGARINAS

**Projeto Antigo:  
Ford Expedition/Navigator  
226 kg**

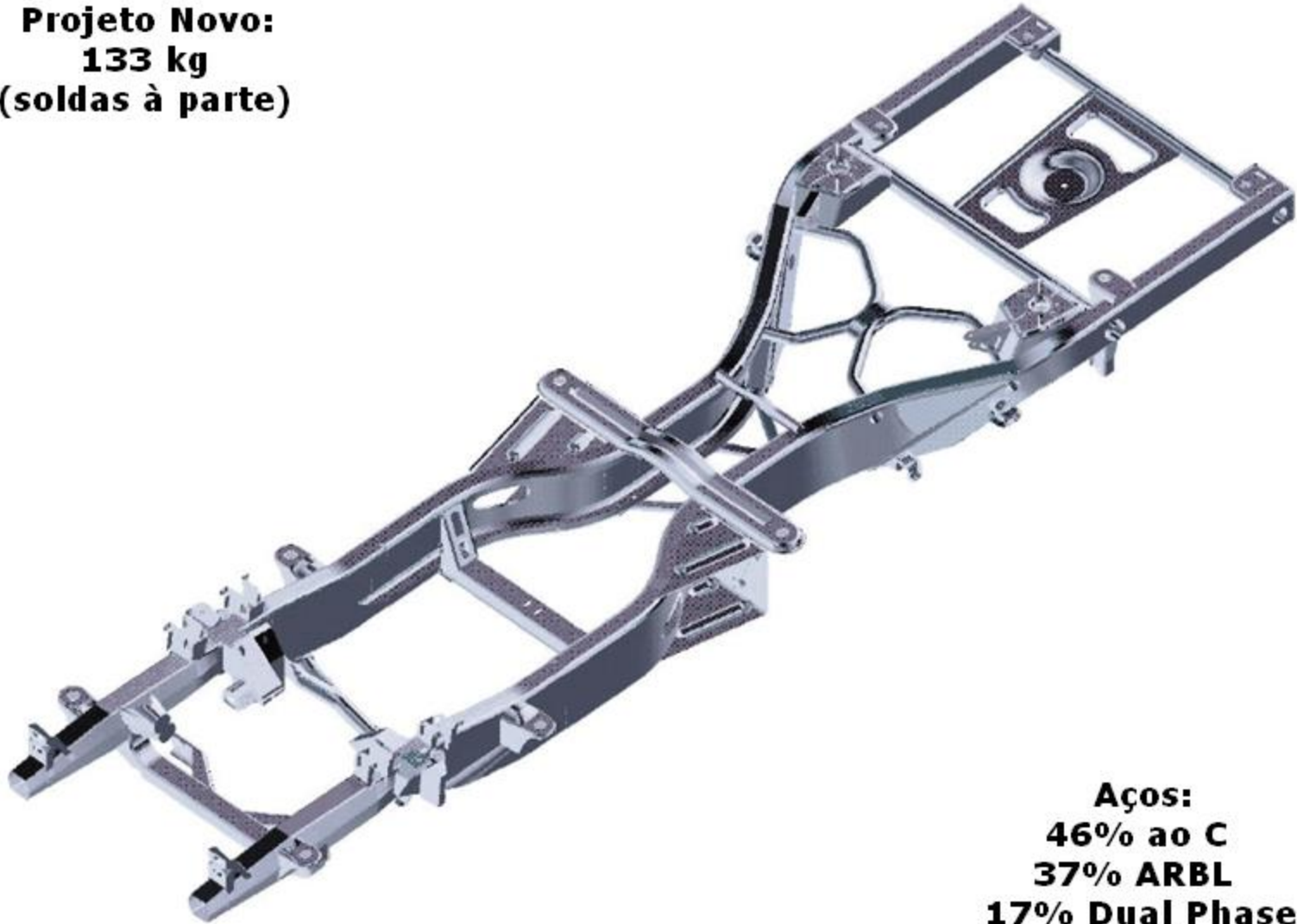


**Aços:  
96% ao C  
4% ARBL**

***CRAN, B. e outros. Light Weight SUV Frame – Design Development. Oak Ridge National Laboratory, 2003***

# CHASSIS/LONGARINAS

**Projeto Novo:  
133 kg  
(soldas à parte)**

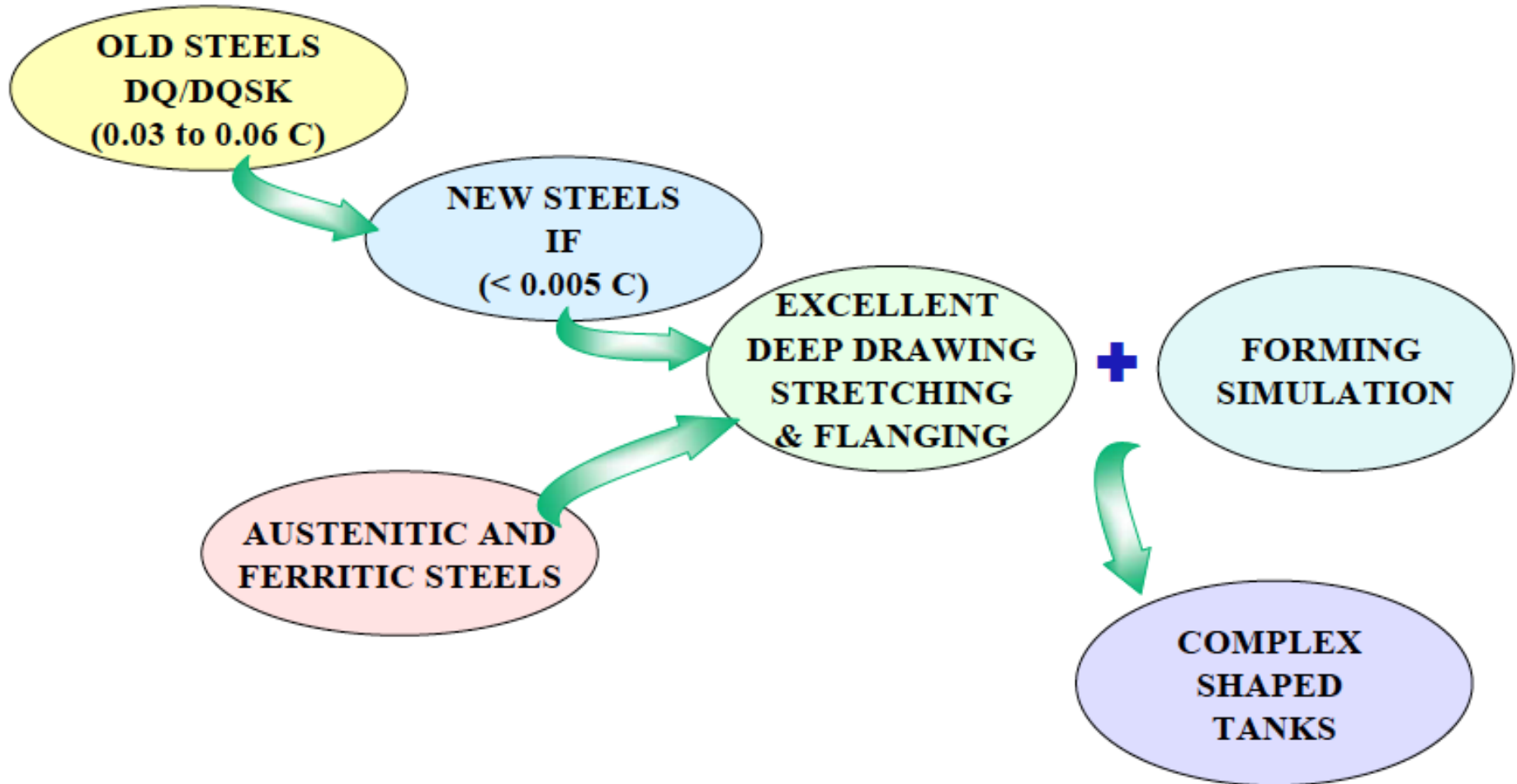


**Aços:  
46% ao C  
37% ARBL  
17% Dual Phase**

***CRAN, B. e outros. Light Weight SUV Frame – Design Development. Oak Ridge National Laboratory, 2003***

# TANQUES: REAÇÃO DO AÇO

Maior Conformabilidade



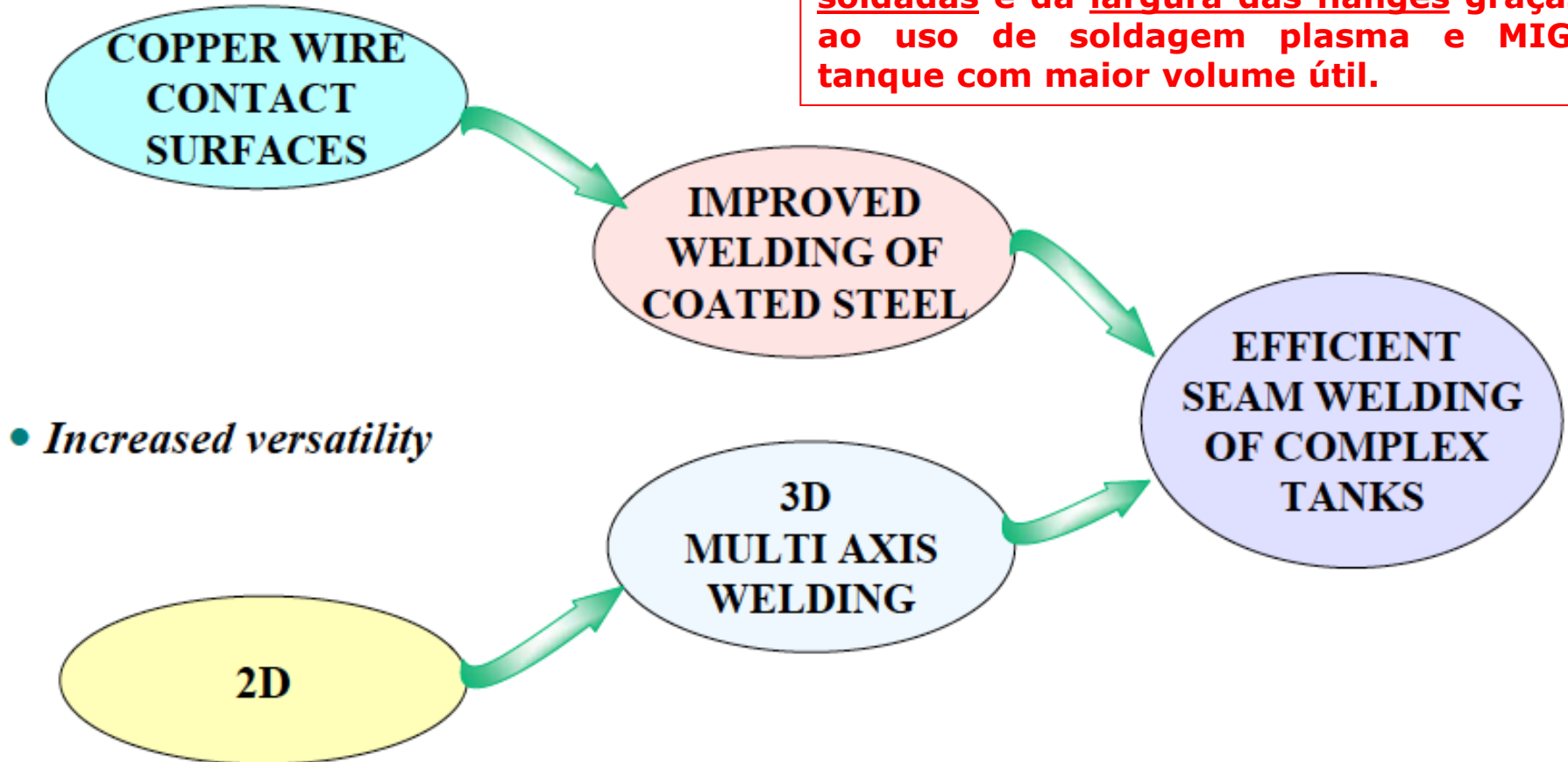
*MOULD, P.R. Great Designs in Steel Seminar. Proceedings.  
World Steel Association, 2006, 23 p.*

# TANQUES: REAÇÃO DO AÇO

Maior Soldabilidade

- *Improved seam welding techniques*

Redução da espessura das juntas soldadas e da largura das flanges graças ao uso de soldagem plasma e MIG: tanque com maior volume útil.



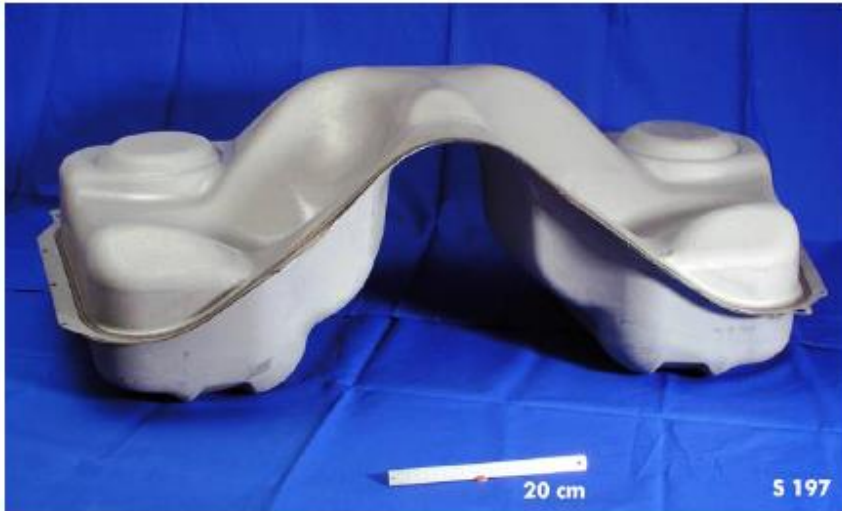
- *Increased versatility*

# TANQUES: REAÇÃO DO AÇO

## Melhores Revestimentos

- **Aços pré-pintados** (filmes de epóxi com 10  $\mu\text{m}$  de espes-sura) sobre aços C com vários revestimentos metálicos:
  - Eletrogalvanizado Zn-Ni;
  - Galvanizado por imersão (*galvannealed*)
  - Aluminizado por imersão
- **Aços pós-pintados** (revestimentos de PVC com até 300  $\mu\text{m}$  de espessura) em
  - Aços ao C com vários revestimentos metálicos:
    - Galvanizado por imersão (aluminizado);
    - Galvanizado por imersão (Sn-Zn).
  - Aço Inoxidável.
- Aço inoxidável **sem revestimento**.

# TANQUES: REAÇÃO DO AÇO



Ford Mustang

Mercedes Benz



***MOULD, P.R. Great Designs in Steel Seminar. Proceedings.  
World Steel Association, 2006, 23 p.***

# TANQUES: REAÇÃO DO AÇO

## *Volume Effects of Steel versus Plastic Shells*

### Example:

- Wall thickness of 0.8 to 1.0 mm compared to a thickness of 5 to 7 mm for a plastic tank

**Average Tank Surface 1.5 m<sup>2</sup>: + 7.5 liters**

- Reduced clearance with surrounding parts due to the absence of swelling

**Calculated Seam length 4m: + 2.4 liters**

- Optimized volume due to internal packaging of components, fuel and vapour lines

**Estimate: + 1.5 liters**

- Volume loss due to packaging constraints

**Estimate: - 4.0 liters**

**Net Volume Advantage: 7.4 liters**

*Courtesy:  
Dr. G. Pozgainer  
(Magna Steyr)*

***MOULD, P.R. Great Designs in Steel Seminar. Proceedings.  
World Steel Association, 2006, 23 p.***

# TANQUES: REAÇÃO DO AÇO

- Participação do **aço** em **tanques de combustível** automotivos, 1996 e 2004:
  - Japão: **95% ▶ 80%**
  - E.U.A.: **75% ▶ 40%**
  - Europa: **20% ▶ 8%**
  - Mundo: **58% ▶ 41%**
- Contudo, a CARB prevê que em 2015 essa participação será da ordem de **95%**, quando entrarão em vigor **normas mais rígidas** em termos de **emissões evaporativas de hidrocarbonetos** e de **reciclabilidade dos tanques**.

# CARROCERIAS

- Programas para evolução tecnológica do aço desenvolvidos pela AISI/IISI ([www.autosteel.org](http://www.autosteel.org)):

1994 - 1998



- 25% de redução de peso;
- 90% de aços de alta resistência;
- 2,5% de aços de ultra alta resistência.

1999 - 2000



- 46% de redução de peso em portas;
- 27% de redução de peso em relação à porta mais leve das classes analisadas.

1999 - 2004



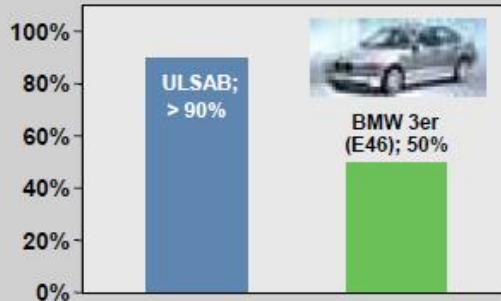
- 17% de redução de peso;
- 100% de aços de alta resistência;
- 82% de Advanced High Strength Steel (AHSS).

# CARROCERIAS

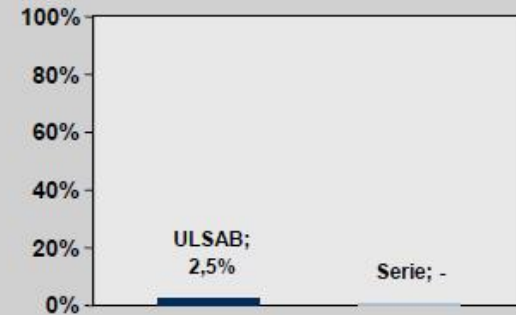


ULSAB  
1999

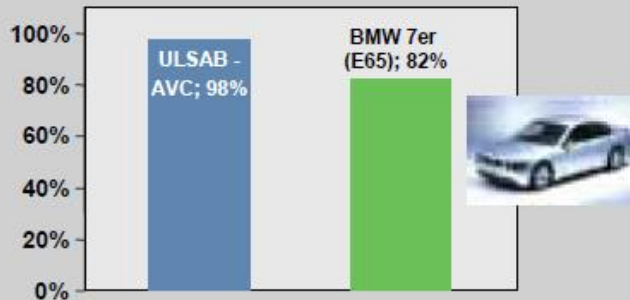
Anteil höherfester Stahl



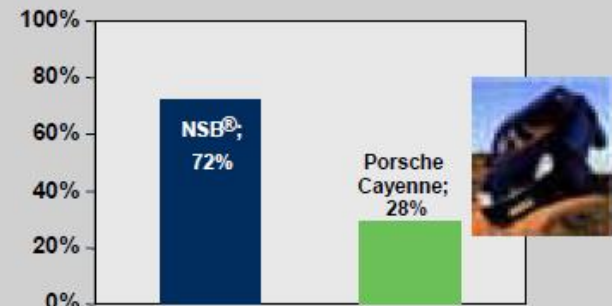
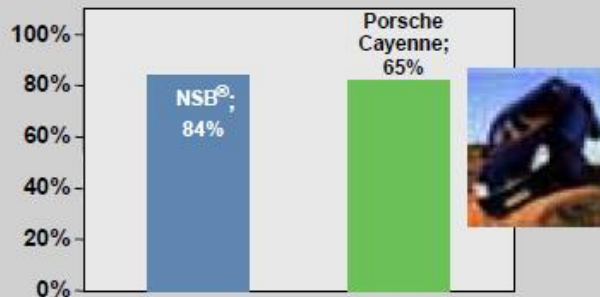
Anteil Mehrphasenstahl



ULSAB-AVC  
2002

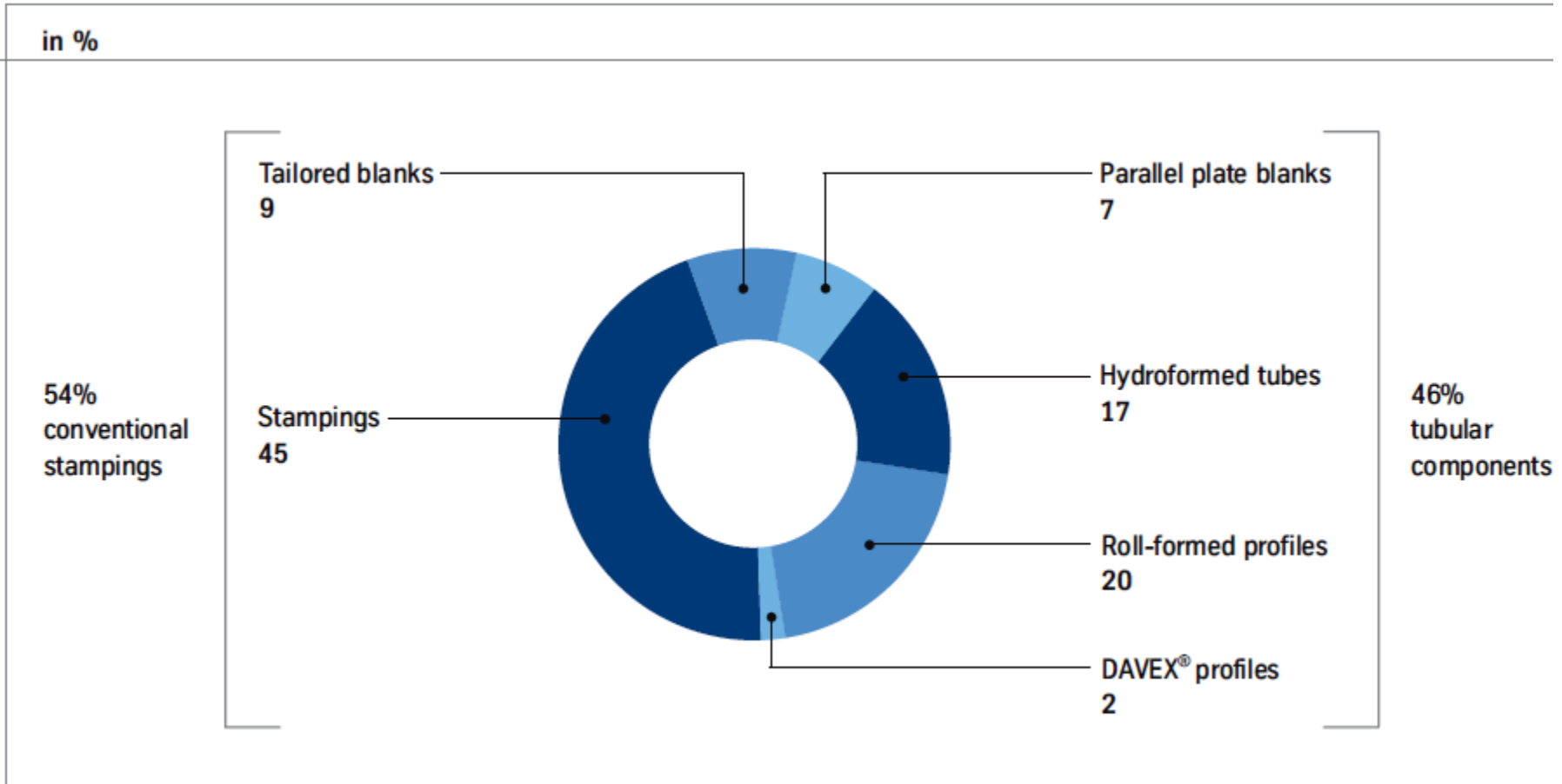


NSB®  
2004



# NEW STEEL BODY

## Novos Processos de Conformação

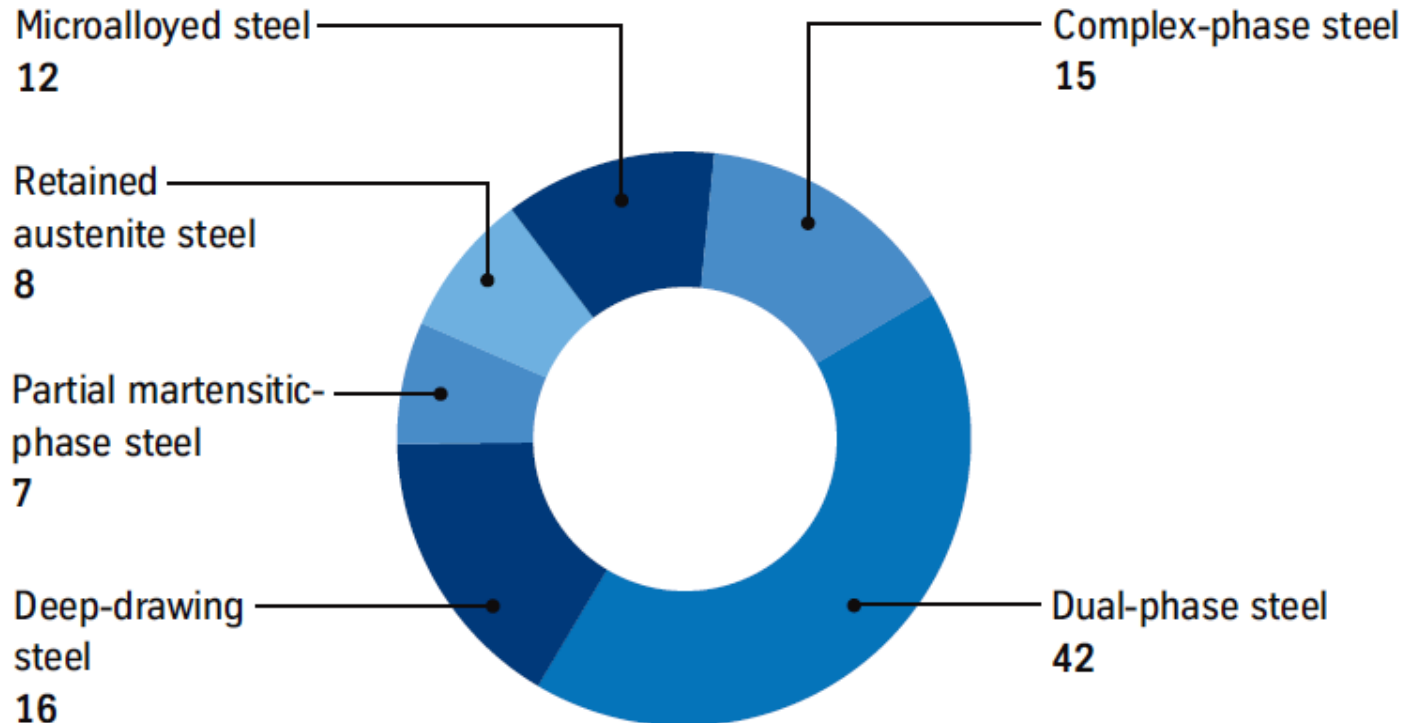


**ADAM, H. e outros. ThyssenKrupp TechForum, July 2004, 8-13**

# ***NEW STEEL BODY***

## Novos Aços

in %



# NEW STEEL BODY

## Novos Processos de União

in %

Adhesive bonding  
3 (4,1 m)

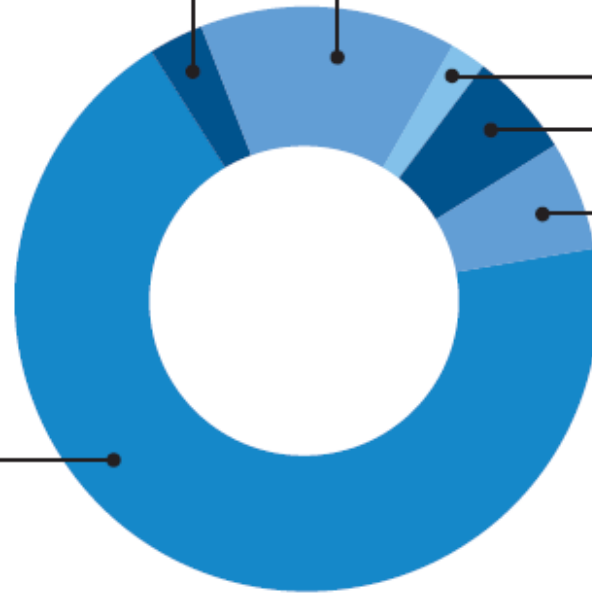
Resistance spot  
welding  
14 (642 Pkt.)

MIG brazing  
2 (2,6 m)

MAG welding  
6 (8,7 m)

Laser brazing  
6 (8,2 m)

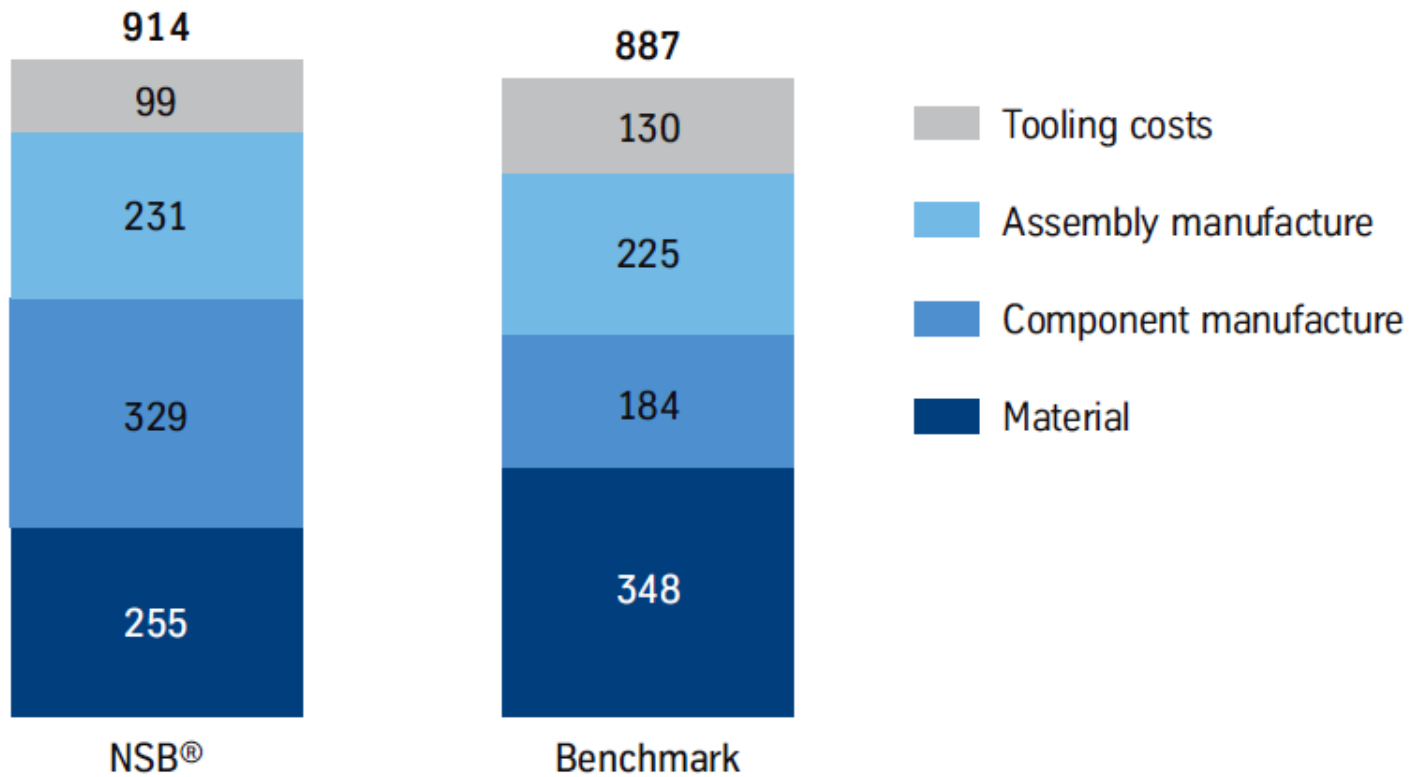
Laser welding  
69 (97,8 m)



# ***NEW STEEL BODY***

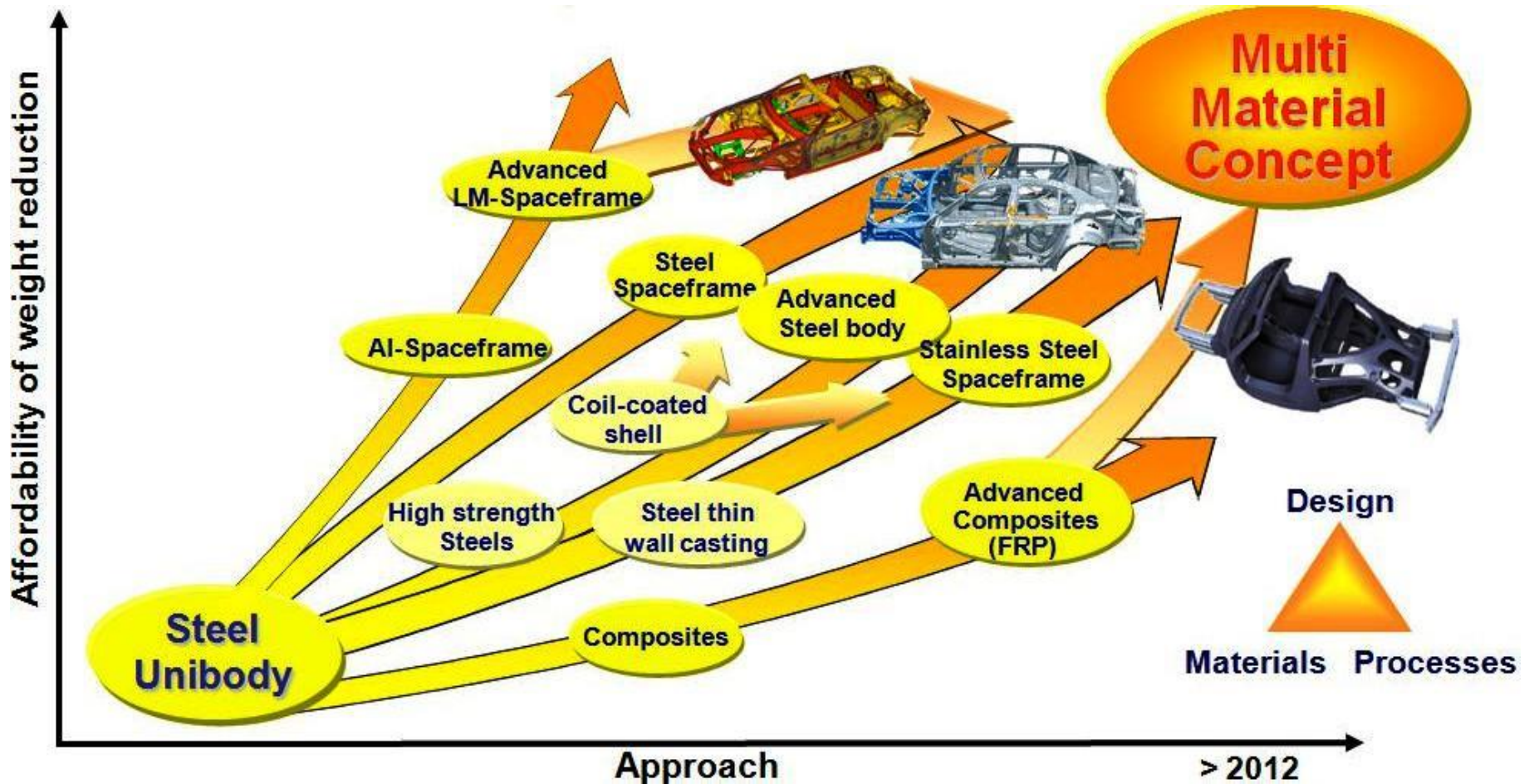
## Impacto nos Custos

in €



***ADAM, H. e outros. ThyssenKrupp TechForum, July 2004, 8-13***

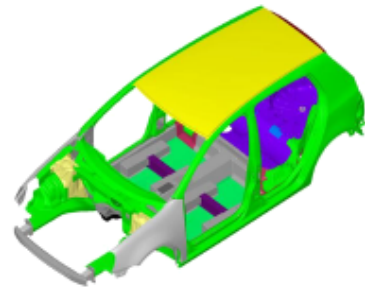
# CONSTRUÇÃO LEVE/MISTA



*STEHLIN, M. Transport Research Arena Europe, 2008*

# CONSTRUÇÃO LEVE/MISTA

## SLC body structure concept



SLC

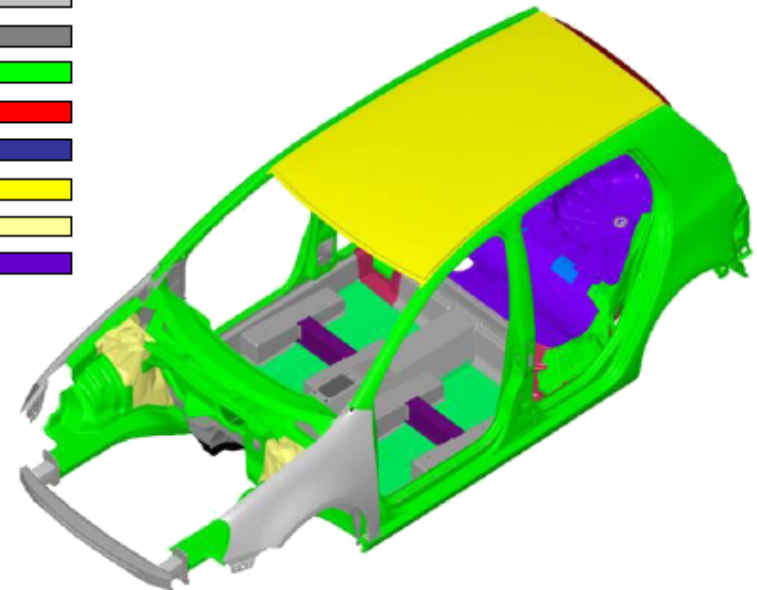
Weight reduction: ~30%

Additional part costs: < 5,0 €/kg

### Highlights:

- Mg-Strut tower (die cast)
- Mg-Roof
- Hot formed steel door aperture
- FR plastic roof cross beam
- FR plastic rear floor
- Al-Casting rear longitudinal
- Polymer reinforced seat cross-member

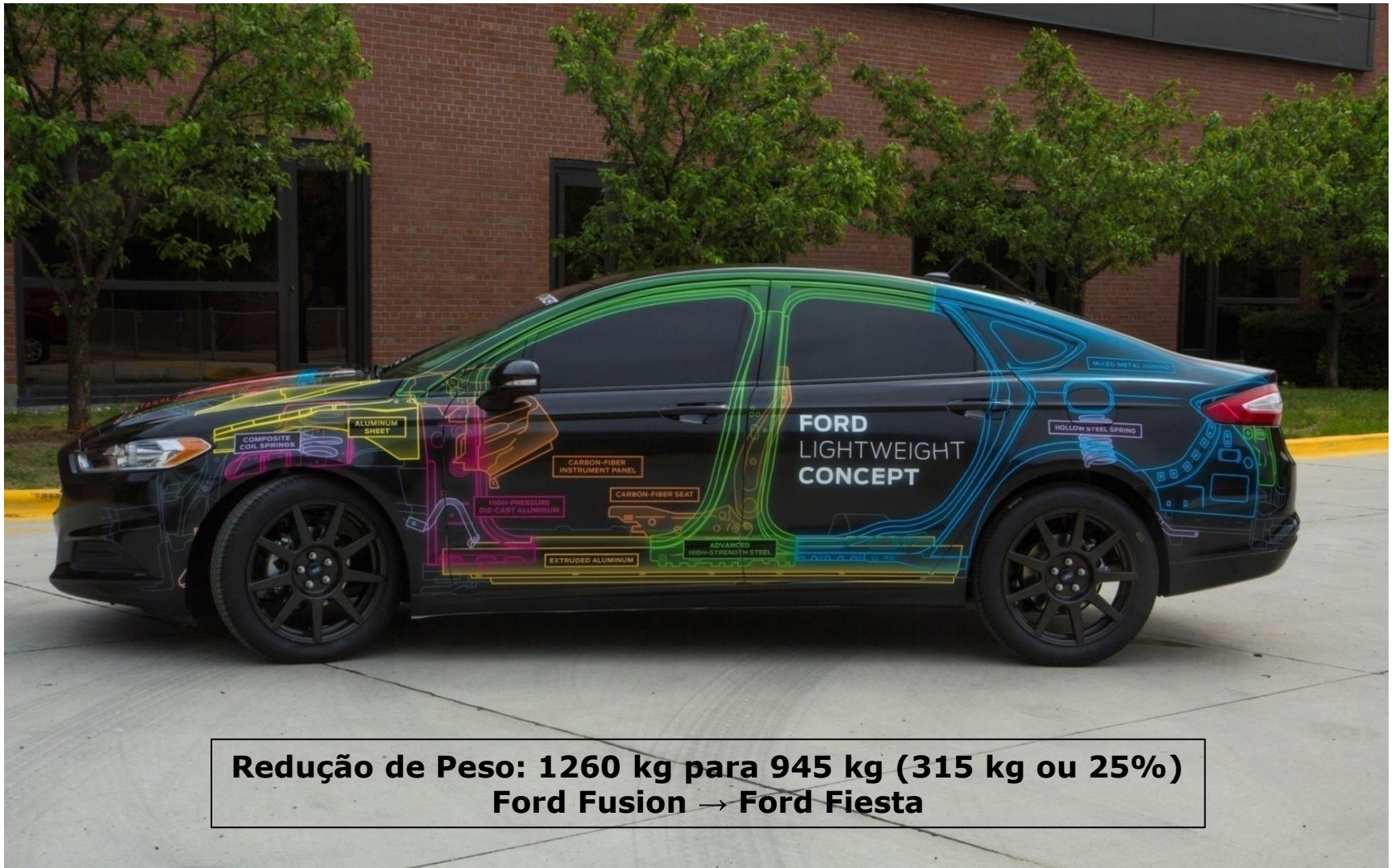
High strength steel  
Hot-formed steel  
Aluminium sheet  
Aluminium cast  
Aluminum extrusion  
Mg-sheet  
Mg-diecast  
Fibre reinforced plastic



### Material Mix:

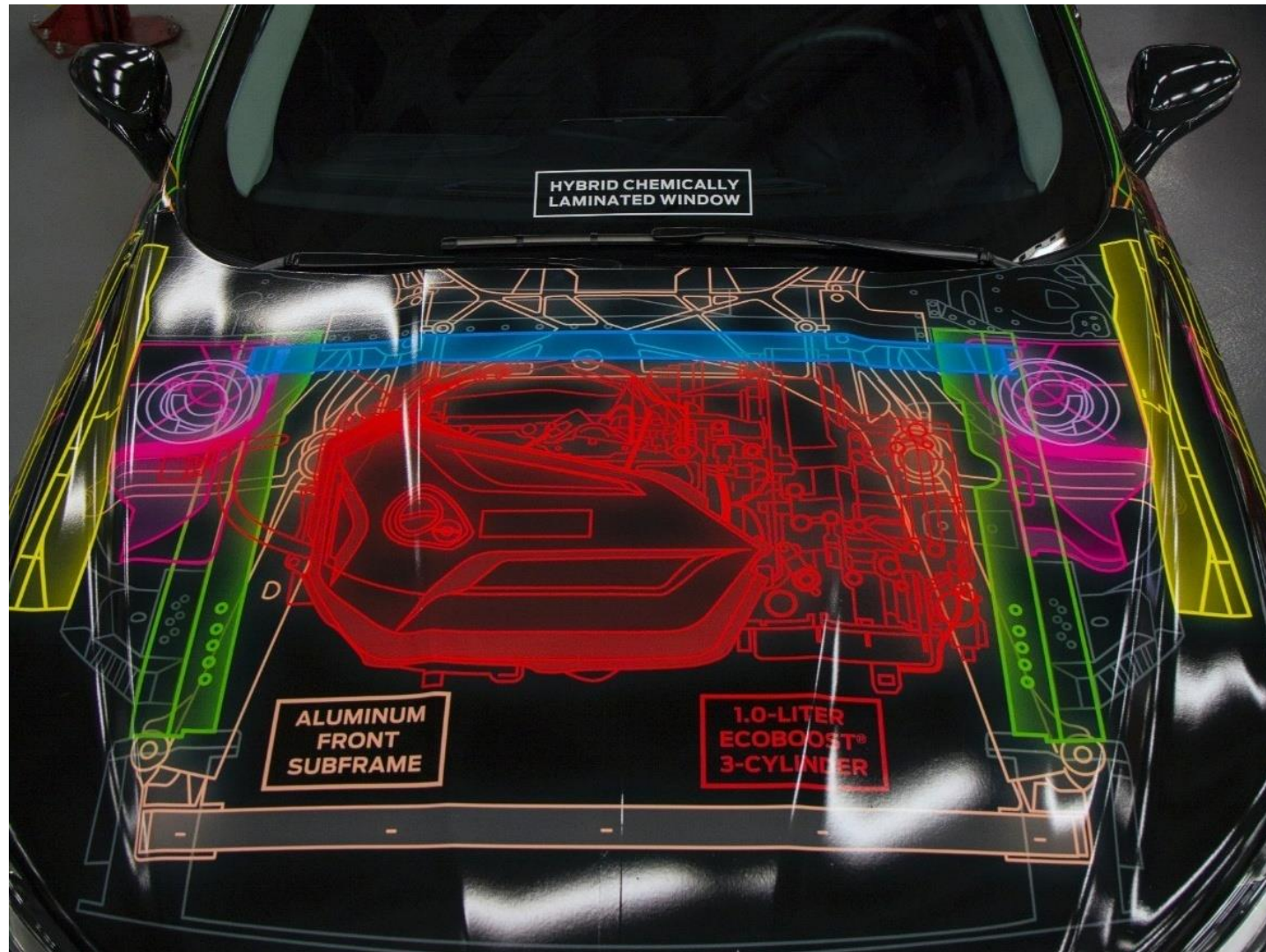
Steel parts weight:	approx. 50 %
Al parts weight:	approx. 35 %
Mg parts weight:	approx. 8 %
Plastic parts weight:	approx. 7 %

# FORD LIGHTWEIGHT CONCEPT JUNHO 2014



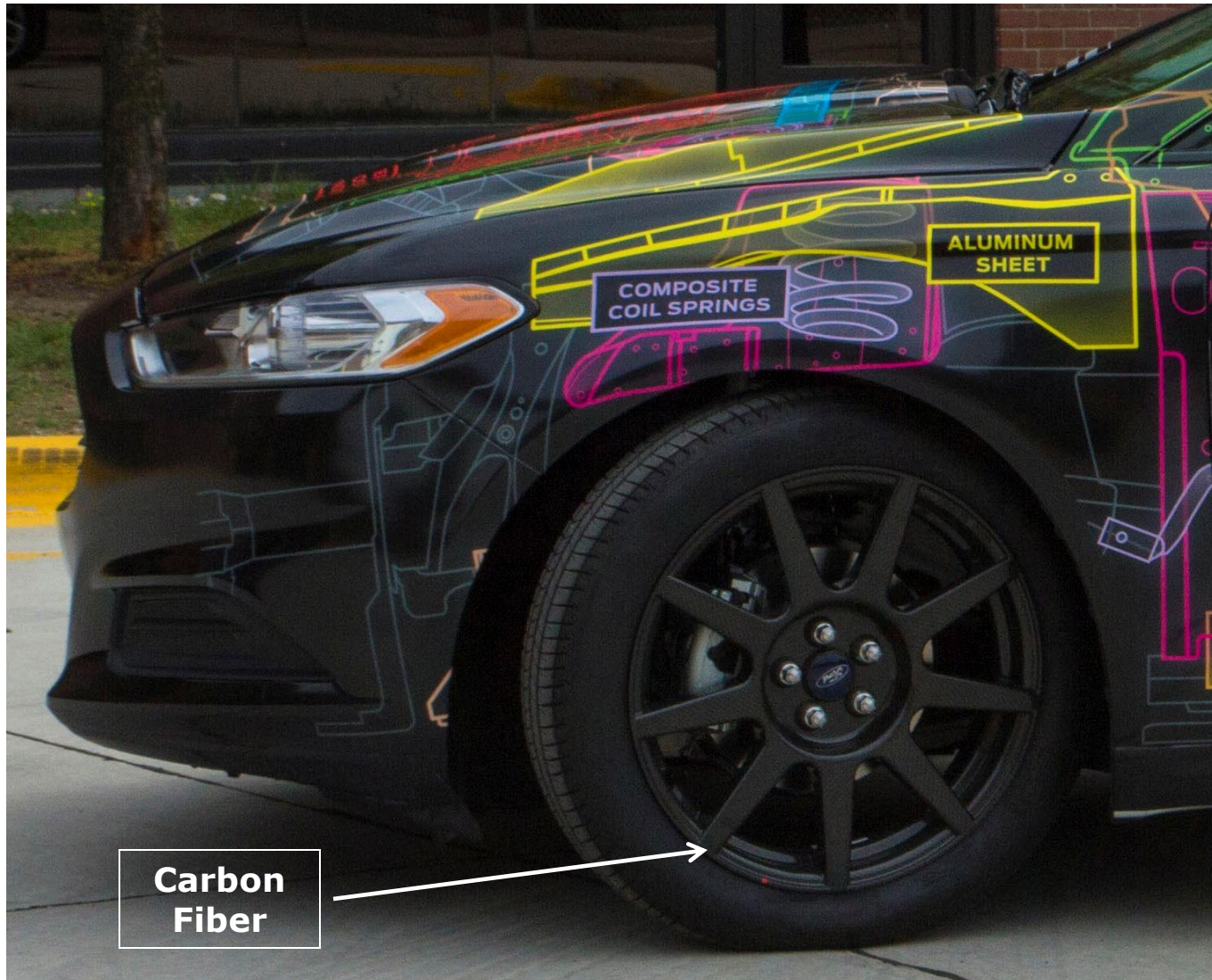
<https://media.ford.com/content/fordmedia/fna/us/en/news/2014/06/03/ford-builds-on-advanced-materials-use-with-lightweight-concept.html>

# FORD LIGHTWEIGHT CONCEPT JUNHO 2014



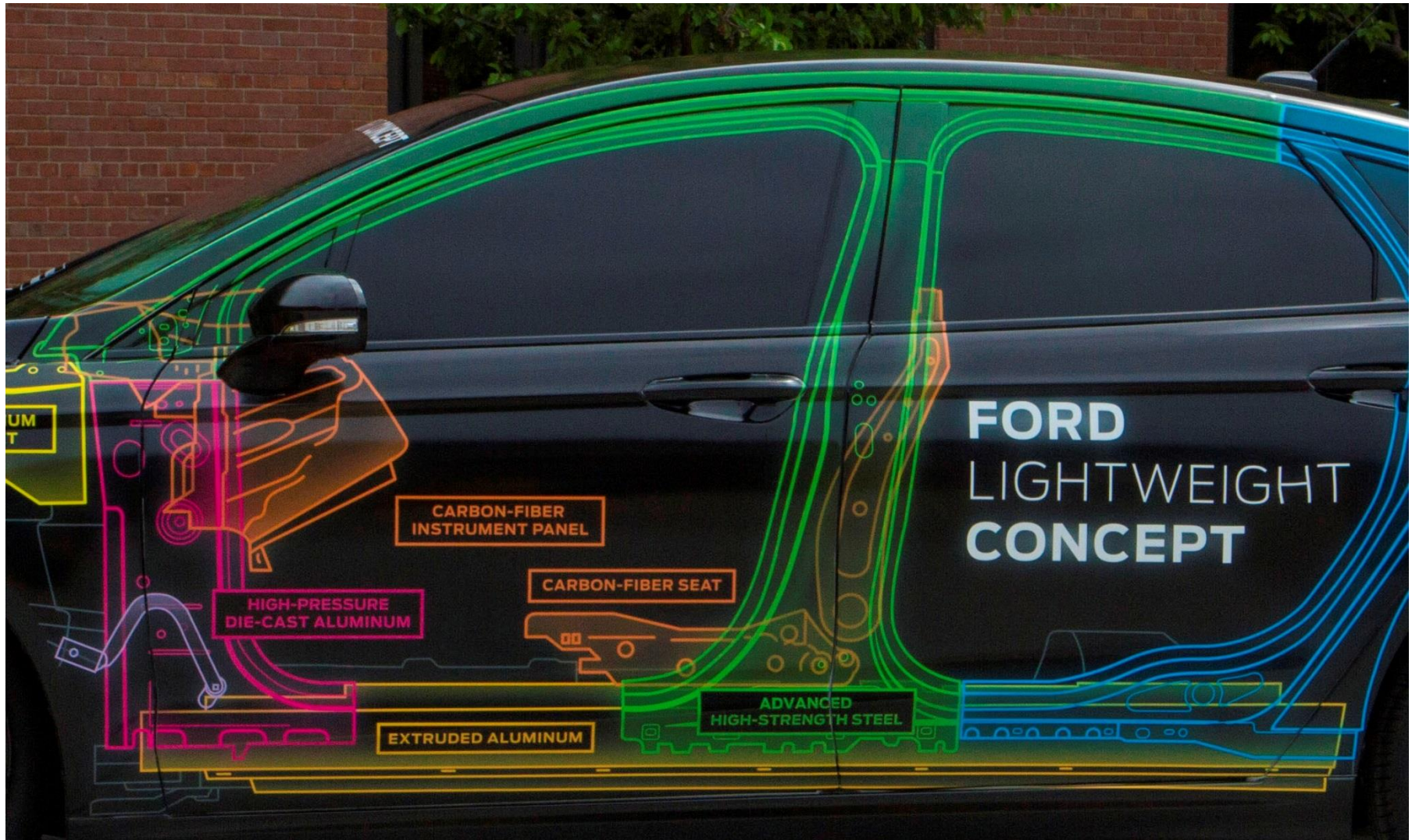
<https://media.ford.com/content/fordmedia/fna/us/en/news/2014/06/03/ford-builds-on-advanced-materials-use-with-lightweight-concept.html>

# FORD LIGHTWEIGHT CONCEPT JUNHO 2014



<https://media.ford.com/content/fordmedia/fna/us/en/news/2014/06/03/ford-builds-on-advanced-materials-use-with-lightweight-concept.html>

# FORD LIGHTWEIGHT CONCEPT JUNHO 2014



<https://media.ford.com/content/fordmedia/fna/us/en/news/2014/06/03/ford-builds-on-advanced-materials-use-with-lightweight-concept.html>

# FORD LIGHTWEIGHT CONCEPT JUNHO 2014



<https://media.ford.com/content/fordmedia/fna/us/en/news/2014/06/03/ford-builds-on-advanced-materials-use-with-lightweight-concept.html>

# CONCLUSÃO

- O sucesso das sociedades humanas está fundamentado em duas tendências antagônicas: **competição** e **cooperação**.
- É o correto balanceamento entre elas que viabiliza a **sobrevivência** e a **evolução positiva** da **Humanidade**.
- A **competição desenfreada** tende a aniquilar as sociedades a longo prazo – seria a “**guerra de todos contra todos**” de **Hobbes**, terminando com as poderosas forças da Natureza liquidando os últimos (e poucos) sobreviventes.
- Por outro lado, a **cooperação excessiva** leva à **ineficiência e acomodação**, interrompendo a evolução humana.
- A **evolução histórica dos materiais** segue esses mesmos princípios, particularmente na área automotiva.

# CONCLUSÃO

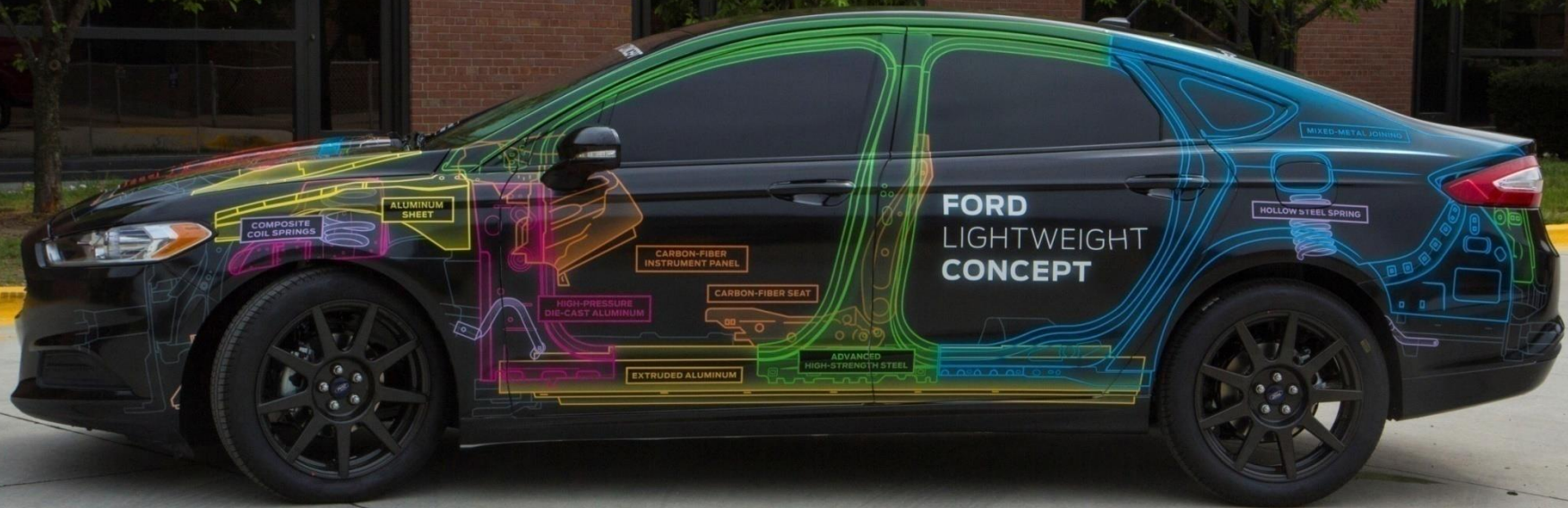
- A pressão pela **redução no consumo de combustível**, surgida e mantida desde a década de 1970 por diversos motivos, tirou o aço – e a indústria automotiva – de sua **zona de conforto**.
- Uma das respostas a esse desafio é a **redução do peso do carro** – e o uso de materiais mais **leves** é uma medida elementar nesse sentido.
- Até o momento, o **melhor substituto** para o aço tem sido... **o próprio aço**, mas em formas mais evoluídas (ARBL, AHSS, UHSS), as quais foram desenvolvidas justamente para enfrentar essa ameaça.

# CONCLUSÃO

- Mas a pressão continuará, já que os **requisitos ambientais** a serem atendidos pelos veículos – na **fabricação, vida útil e desmantelamento** – são **cada vez mais rigorosos**.
- Além disso, a **evolução técnica** dos materiais competidores não pára.
- Por outro lado, a **gigantesca escala** da indústria automotiva impede mudanças a curto prazo, devido aos **custos e questões comerciais e logísticas** envolvidas.
- A resposta mais viável que vem sendo adotada pela indústria automotiva é selecionar **materiais de forma cooperativa**, elegendo o melhor deles conforme as características de cada componente.

# CONCLUSÃO

- O **aço** apresenta **bons trunfos** para manter-se **competitivo** dentro dessa situação:
  - Pode assumir **infinitos perfis de propriedades** mediante pequenas alterações na **composição química** e **tratamento térmico/termomecânico**;
  - **Vasta experiência** obtida a partir de seu intenso uso, inclusive em **reparos**;
  - Os **ferramentais** para seu processamento já se encontram **projetados e construídos**;
  - **Novos processos** vêm permitindo seu uso de forma ainda mais eficaz;
  - **Ampla base produtiva**, proporcionando **ampla disponibilidade a baixo custo**;
  - Contínua atividade de **pesquisa e desenvolvimento**.



**FINIS**