



**Aplicação do Nb em aços**

**carbono de alta resistência**

**A experiência da Usiminas**

Leonardo de Oliveira Turani  
Especialista de Produtos PI

Brasília, 05 de Setembro de 2019

**“Liderança Brasileira na Cadeia Produtiva do Nióbio”**

**USIMINAS** 

# Agenda

- A Usiminas
- A Metalurgia do Nb no aço carbono
- Desafios e Tendências da indústria
- Aplicações de aços ao Nb - Cases da Usiminas
- Considerações finais



## TRAJETÓRIA



**Líder**

Mercado de  
aços planos  
no Brasil



**13,7 bi**

Receita Líquida (R\$)  
em 2018



**13 mil**

Empregados  
diretos

## CERTIFICAÇÕES

**ISO 9001**

1ª Siderúrgica brasileira  
certificada em 1992

**ISO 14001**

1ª Siderúrgica brasileira e  
2ª do mundo certificada em 1996

# PRESENÇA EM TODA A CADEIA DE VALOR DO AÇO



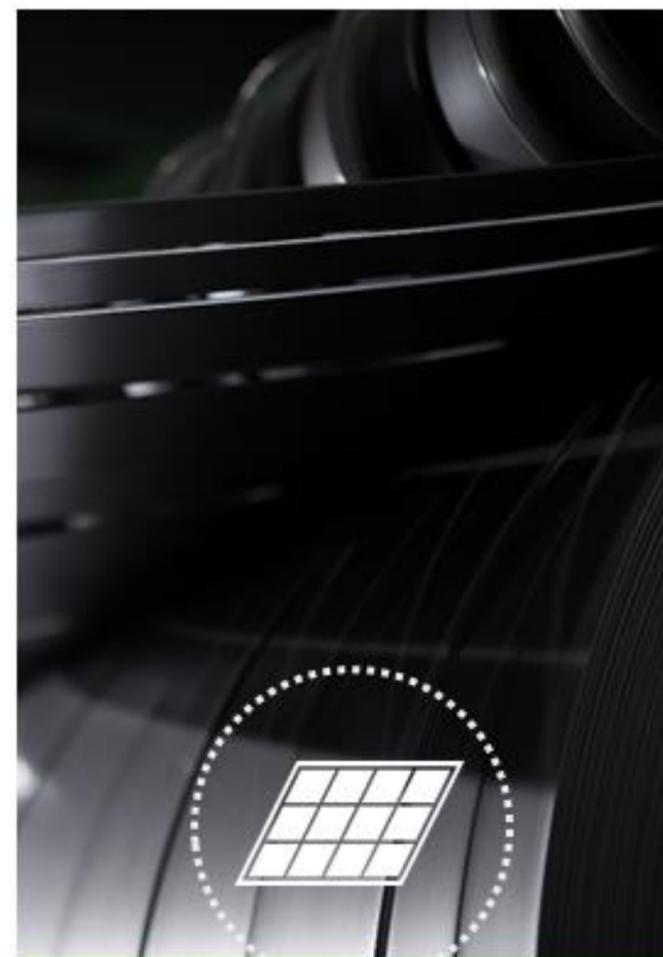
**MINERAÇÃO**

Mineração Usiminas



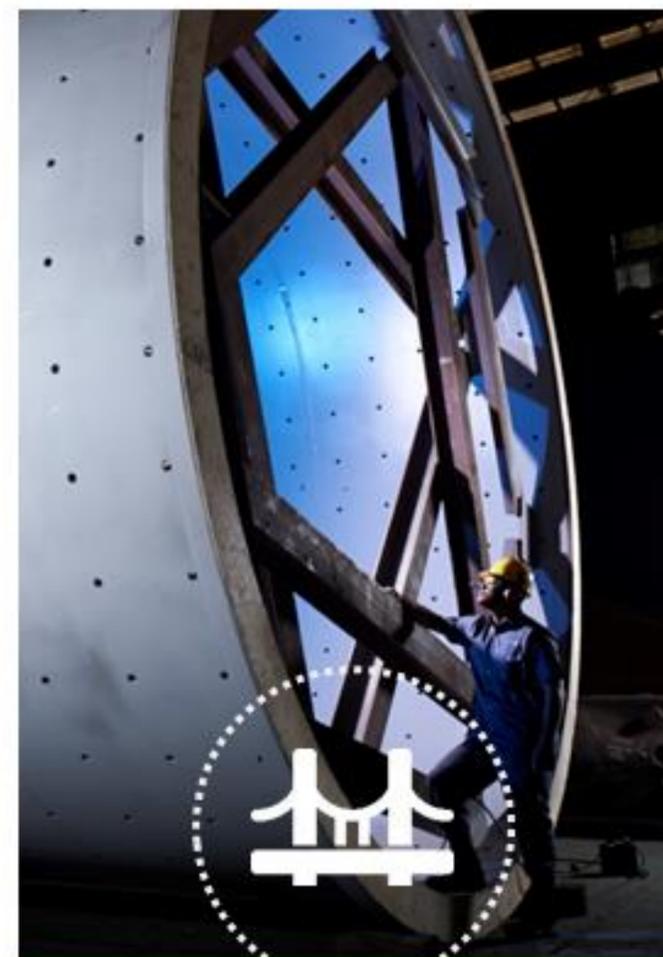
**SIDERURGIA**

Ipatinga, Cubatão, Unigal



**TRANSFORMAÇÃO DO AÇO**

Soluções Usiminas



**BENS DE CAPITAL**

Usiminas Mecânica

# LOCALIZAÇÃO GEOGRÁFICA

## MINERAÇÃO

- Itatiaiuçu - MG

## SIDERURGIA

- Ipatinga - MG
- Cubatão - SP

## SOLUÇÕES

- Santa Luzia - MG
- Betim - MG
- São Paulo - SP
- Taubaté - SP
- Guarulhos - SP
- Porto Alegre - RS
- Suape - PE

## Mecânica

- Ipatinga - MG





# SEGMENTOS DE MERCADO



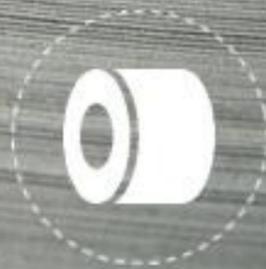
**AUTOMOBILÍSTICO  
E AUTOPEÇAS**



**CONSTRUÇÃO  
CIVIL**



**LINHA  
BRANCA**



**DISTRIBUIÇÃO**



**EQUIPAMENTOS  
INDUSTRIAIS**



**NAVAL**



**ÓLEO E  
GÁS**

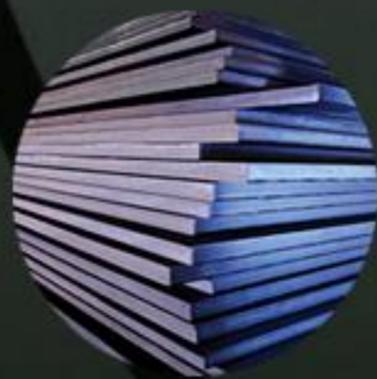


**MÁQUINAS  
AGRÍCOLAS**

# SIDERURGIA

CAPACIDADE INSTALADA  
**10 milhões**  
de toneladas de aço/ano

Oferecem aos **mercados interno e externo**  
uma linha completa:



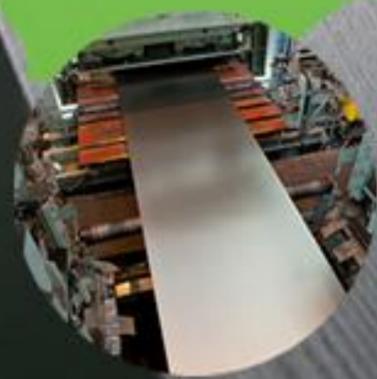
**CHAPAS  
GROSSAS**



**LAMINADOS A  
QUENTE**



**LAMINADOS  
A FRIO**



**ELETROGALVANIZADOS**



**GALVANIZADOS POR  
IMERSÃO A QUENTE**





**PESQUISA &  
DESENVOLVIMENTO**

**Investimento anual**

**0,2% a 0,3%**

**receita bruta**

## Maior Centro de Pesquisas em siderurgia na América Latina



Mais de **40 anos**  
de atuação



**17** laboratórios



**Aprimora** processos e  
**desenvolve** produtos



Contribui para a liderança na  
**geração de patentes**  
no Brasil

**A Usiminas é a usina siderúrgica com o maior**

**número de patentes na América Latina.**

# A Metalurgia do Nb no aço carbono

- **Porque usar o Nb?**

- Elemento químico que proporciona a obtenção de aços de maior resistência mecânica, ótima tenacidade, elevada relação elástica (LE/LR) e com melhor soldabilidade (menor  $C_{eq}$ ).
- Custos competitivos em relação a outros elementos, exemplo V.

- **Como o Nb age na microestrutura do aço?**

- Melhor dissolução de precipitados na etapa de reaquecimento da placa a ser laminada;
- Permite laminação controlada em temperaturas mais altas, retardando a recristalização da  $\gamma$ , aumentando sua taxa de deformação e promovendo o refino do grão  $\gamma$  de forma homogênea na fase de desbaste;
- Precipitação no contorno de grão ferrítico, servindo de âncora e barreira para crescimento grão com elevação de temperaturas (solda).

O Nb provoca o aumento de resistência por precipitação e por refino de grão.

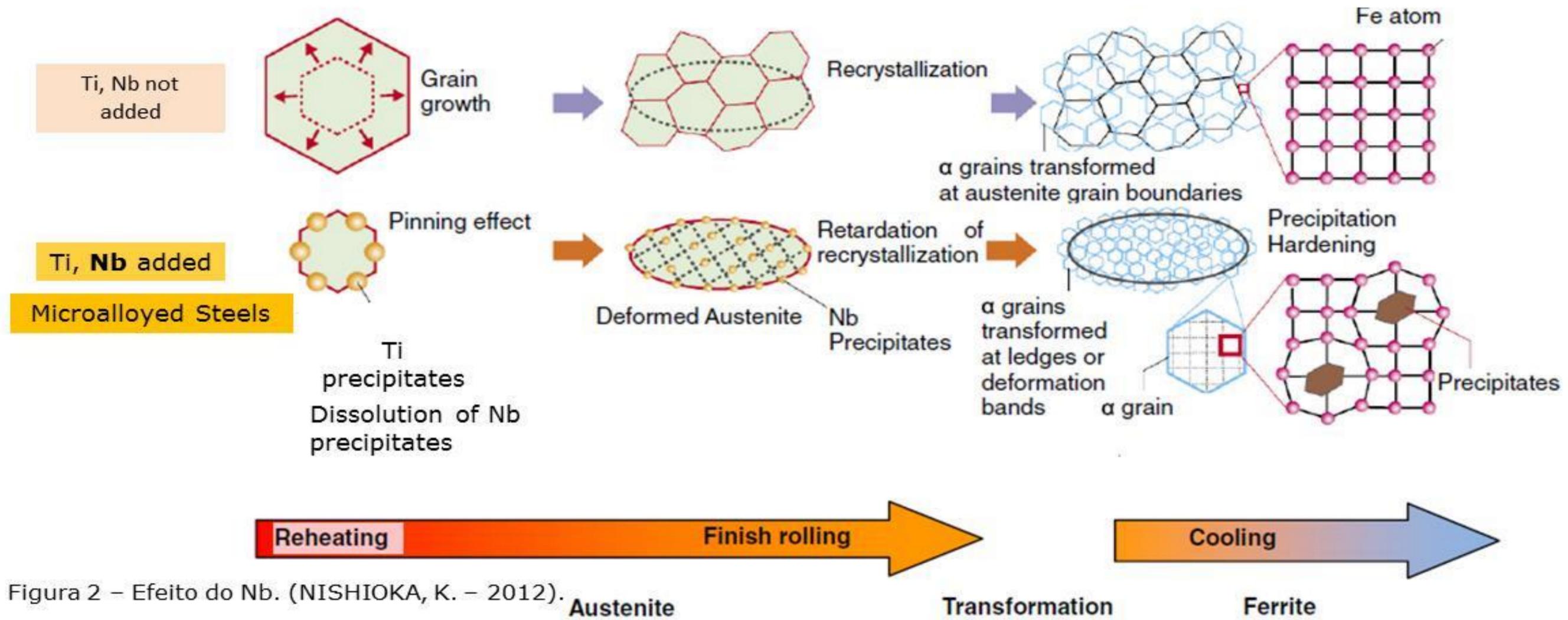


Figura 2 – Efeito do Nb. (NISHIOKA, K. – 2012).

### Precipitação de Nb na $\gamma$ :

- ✓ Retarda a recrystalização de  $\gamma$   $\rightarrow$  refino do grão ferrítico;
- ✓ Aumenta a resistência do aço por meio endurecimento por precipitação.

**Para exercer todo o seu potencial, o Nb precisa estar dissolvido na matriz ao final do reaquecimento!**

# O Nb na produção de chapas TMCP

## CARACTERÍSTICAS METALÚRGICAS

① Aços convencionais: Ferrita poligonal + Perlita



② Aços TMCP-Resfriamento acelerado: Ferrita refinada + Bainita



Refinamento do grão ferrítico

Qualidade dos aços TMCP controlados por:

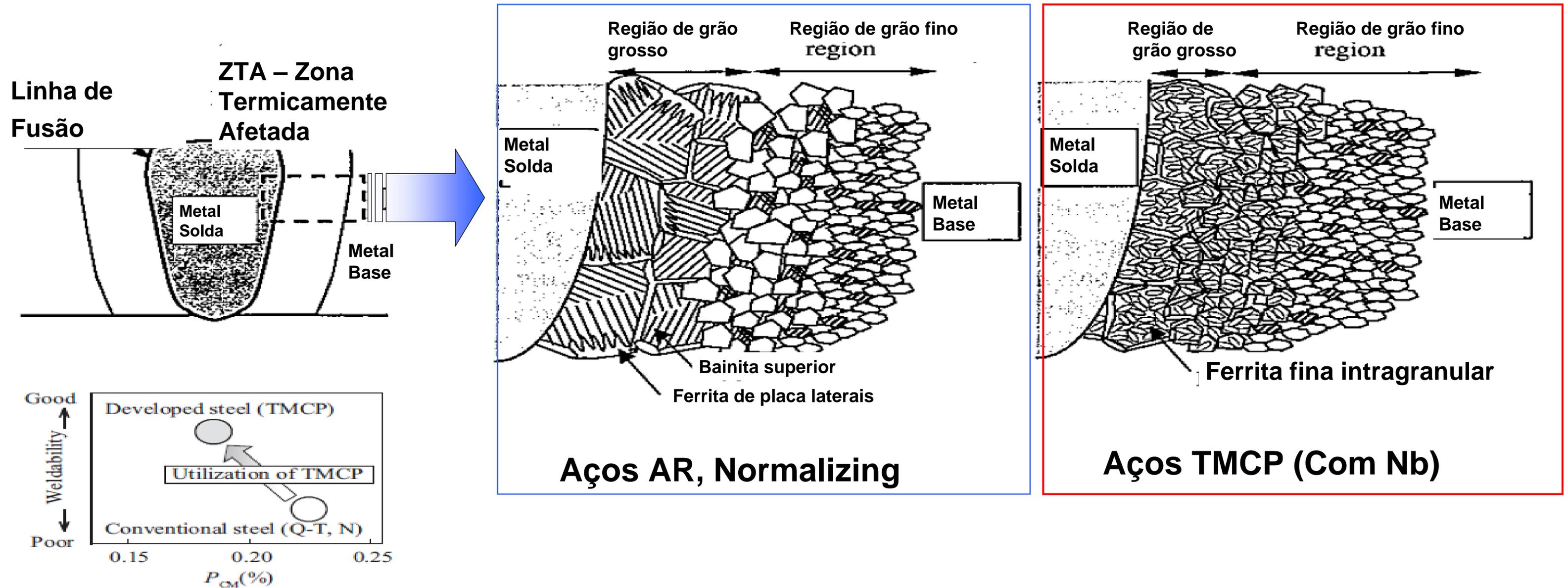
- Composição química (Nb, V, Ti, Cu, Ni, Cr, Mo)
- Controle de grão e fase por meio de:
  - Temperatura reaquecimento
  - Temperatura de laminação
  - Taxa de laminação
  - Temperatura e velocidade de resfriamento acelerado

**Características dos aços TMCP:**

- Baixo  $C_{eq}$ , Alta Resistência Mecânica, Excelente Tenacidade
- Microestrutura refinada, Soldabilidade superior e Alta tenacidade nas juntas soldadas

# Benefícios na aplicação

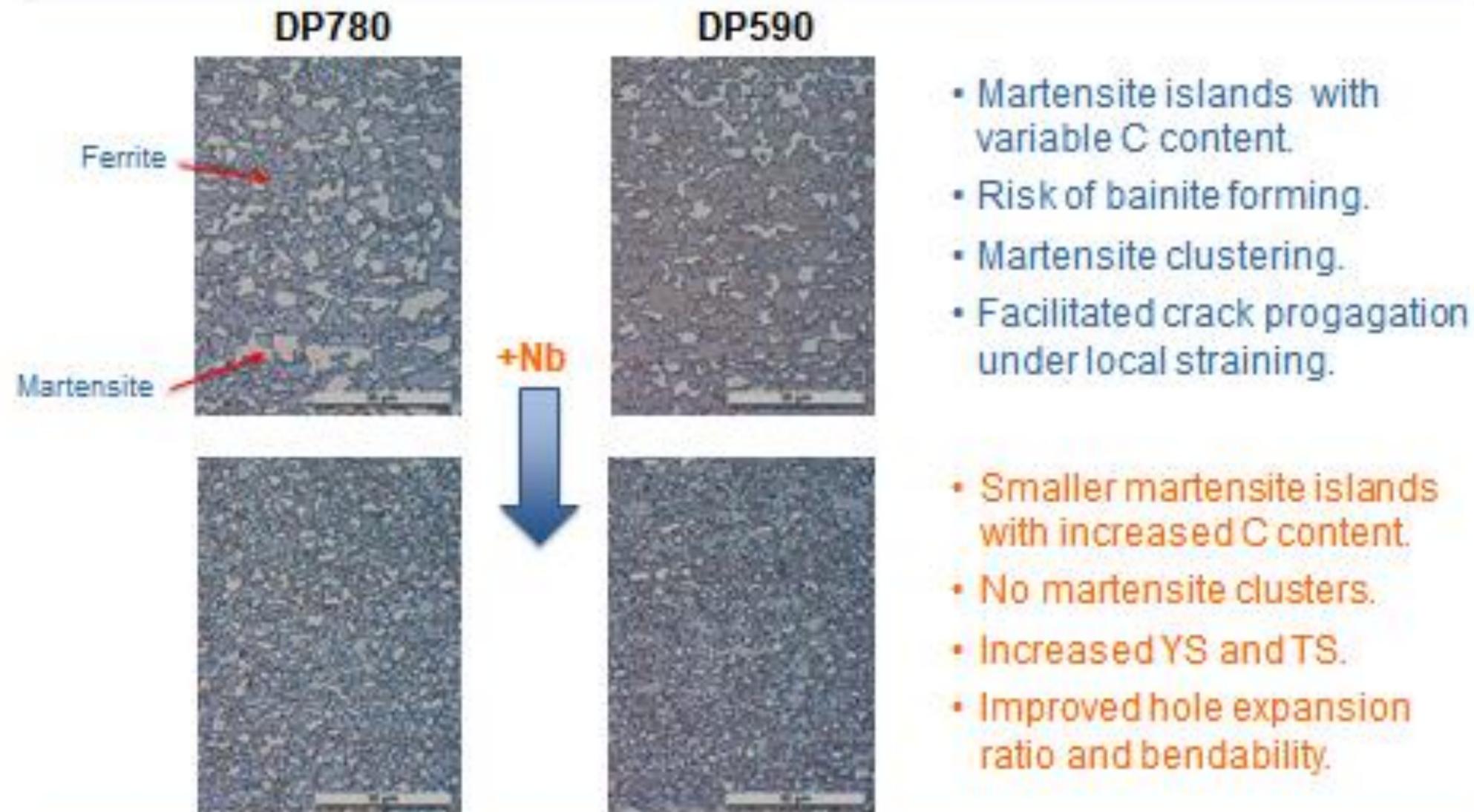
Produtividade na indústria: Redução de passes de solda, uso de alto aporte térmico



# Benefícios na aplicação

Melhoria na conformação e expansão de furo em aços automotivos

Microstructural refinement of dual phase steel – Nb does the job!



# Consumo de Nb (%) na Usiminas

## Usiminas

(% em peso)

Aço	Auto	Energia	Construção	Transportes	Máquinas	Bens de Consumo	Exportação	TOTAL
CG	-	7,2	3,7	0,8	3,2	-	0,1	15,0
LF	13,5	-	0,2	-	0,1	-	-	13,8
Revestidos	34,7	0,5	3,5	0,4	0,2	0,1	1,1	40,5
TQ	20,8	3,1	1,4	4,1	1,3	-	-	30,7
<b>TOTAL</b>	<b>60,9</b>	<b>10,8</b>	<b>8,8</b>	<b>5,3</b>	<b>4,8</b>	<b>0,1</b>	<b>1,2</b>	<b>100,0</b>



Setor	
Auto	Montadoras, autopeças e rodas
Energia	Óleo e gas, energia eólica e energia solar
Construção	Construção civil e silos
Transportes	Naval, Caminhões, encarroçadoras e implementos rodoviários
Máquinas	Máquina agrícolas
Bens de Consum	Linha branca e botijões
Exportação	Exportação não globalizado

# Desafios e Tendências da Indústria



# Aços ao Nb – Mercado de Aplicação

**Automotivo**



**Naval e Offshore**



**Hidrelétrica**



**Pontes e Viadutos**



**Eólico**



**Linha Amarela**



**Sucroalcooleiro**



**Agrícola**



**Mineração**



**Rodoviário**



# Desafios e Tendências - Setor Automotivo

## Consumo de combustível / Emissão de CO<sub>2</sub> Principais Fatores que Influenciam na Redução

- Eficiência do motor
- Peso do veículo
- Aerodinâmica
- Atrito dos pneus

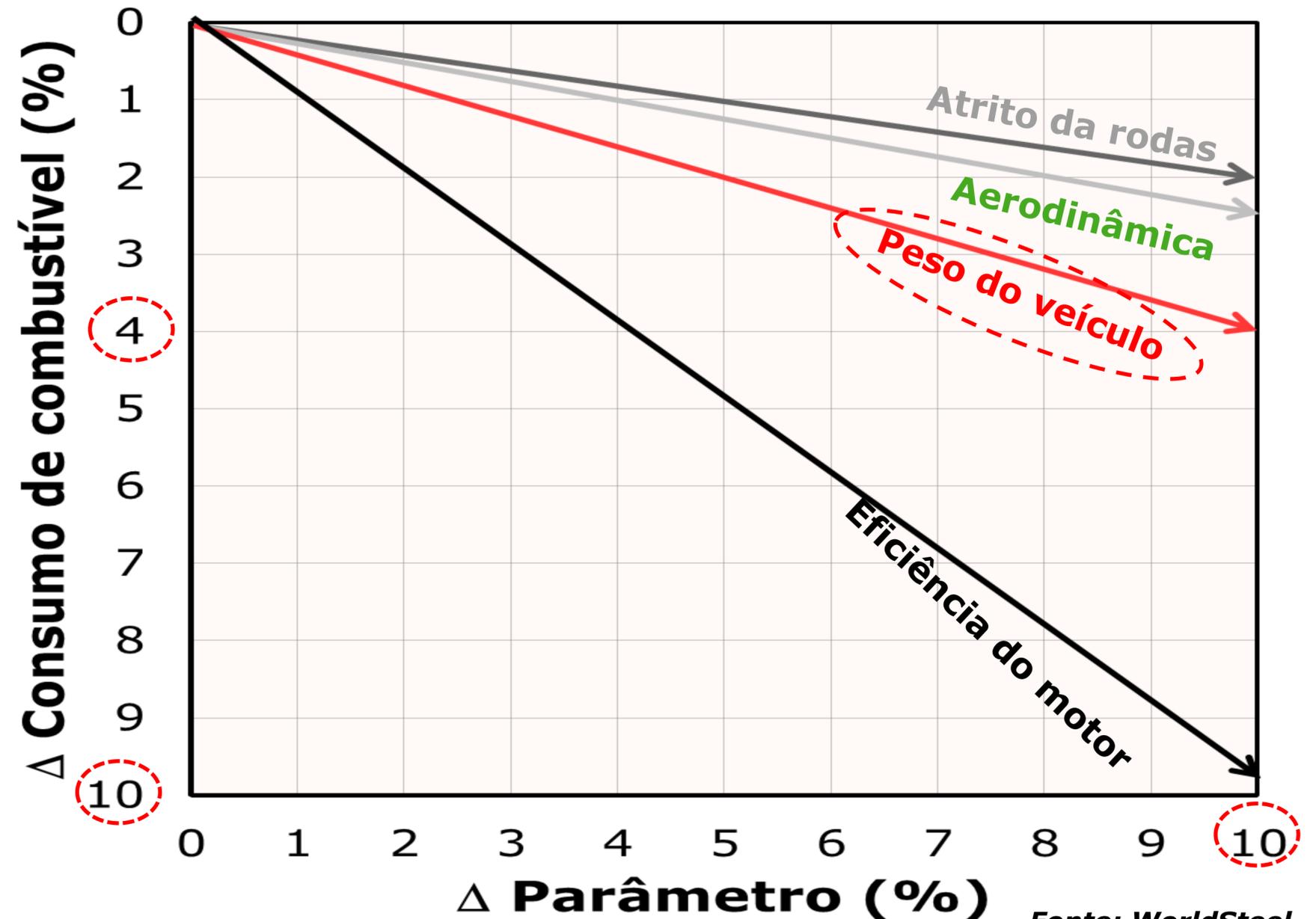


# Desafios e Tendências - Setor Automotivo - Peso

## Consumo de combustível / Emissão de CO<sub>2</sub> Principais Fatores que Influenciam na Redução

- Eficiência do motor
- Peso do veículo
- Aerodinâmica
- Atrito dos pneus

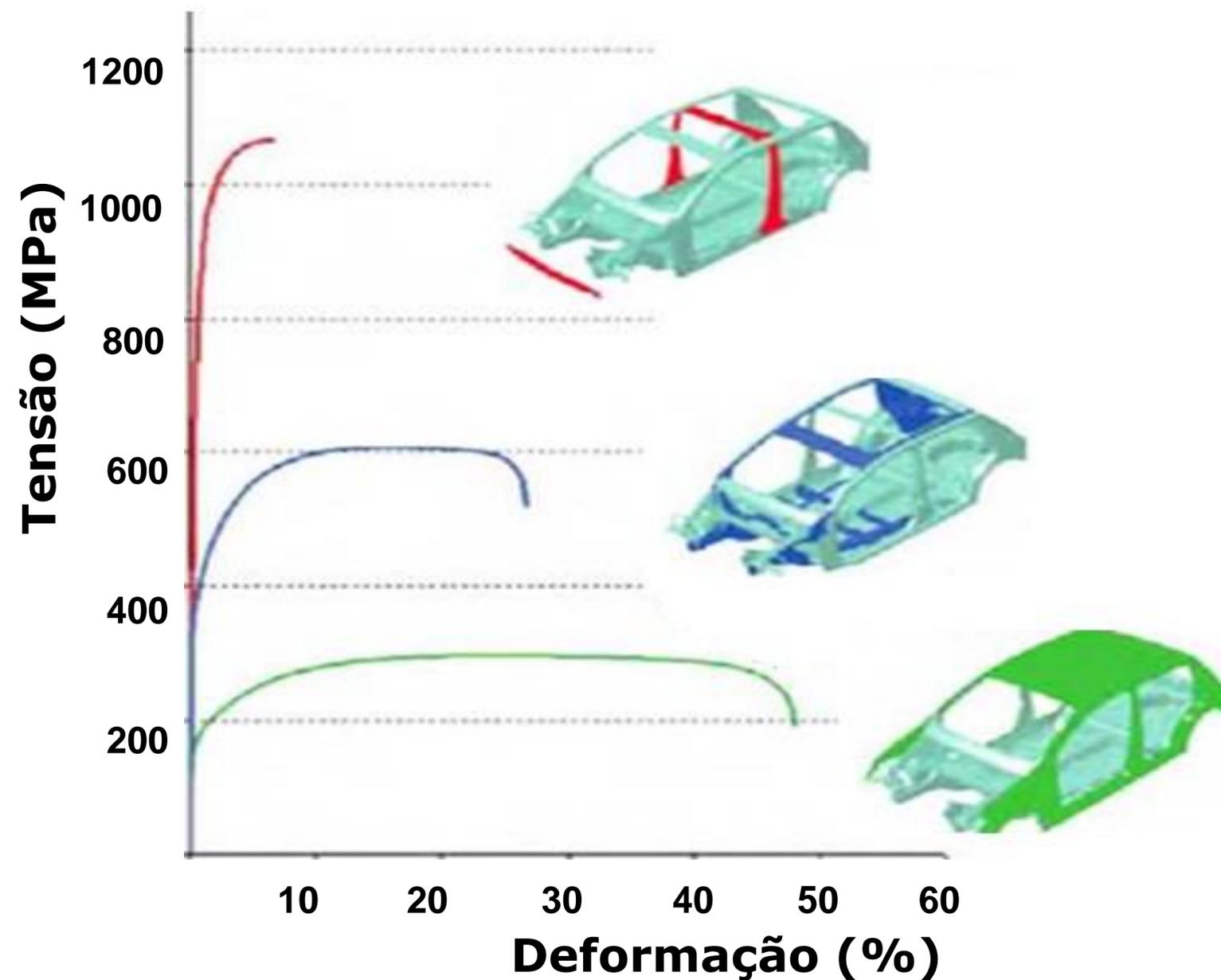
✓ **Uso de aços de alta resistência de menor espessura, permite uma redução significativa de peso em carrocerias de automóveis.**



Fonte: WorldSteel

# Desafios e Tendências – Setor Automotivo

## Segurança veicular



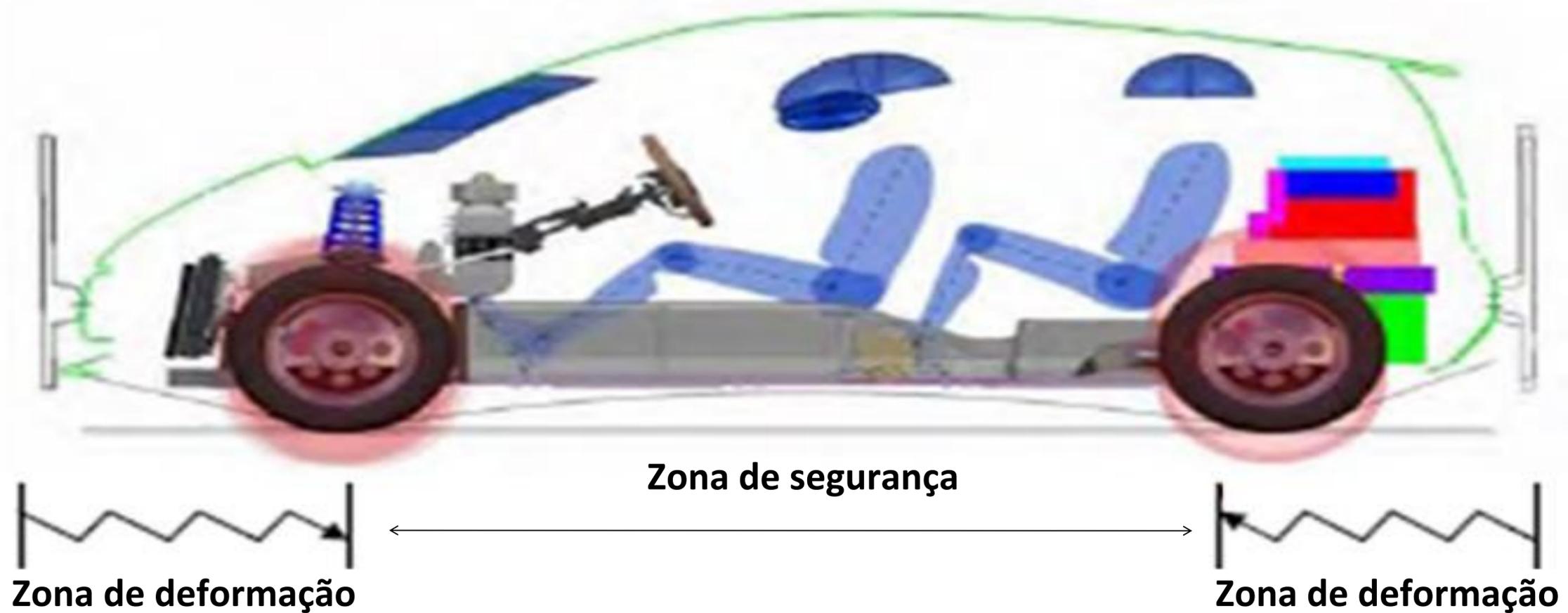
**Aço para peças de segurança críticas nos automóveis. Necessárias para manter o espaço de sobrevivência dos passageiros em um evento de impacto.**

**Aços de alta resistência que possibilitam um balanço entre resistência mecânica, conformação e absorção de energia.**

**Aços com excelente capacidade de conformação.**

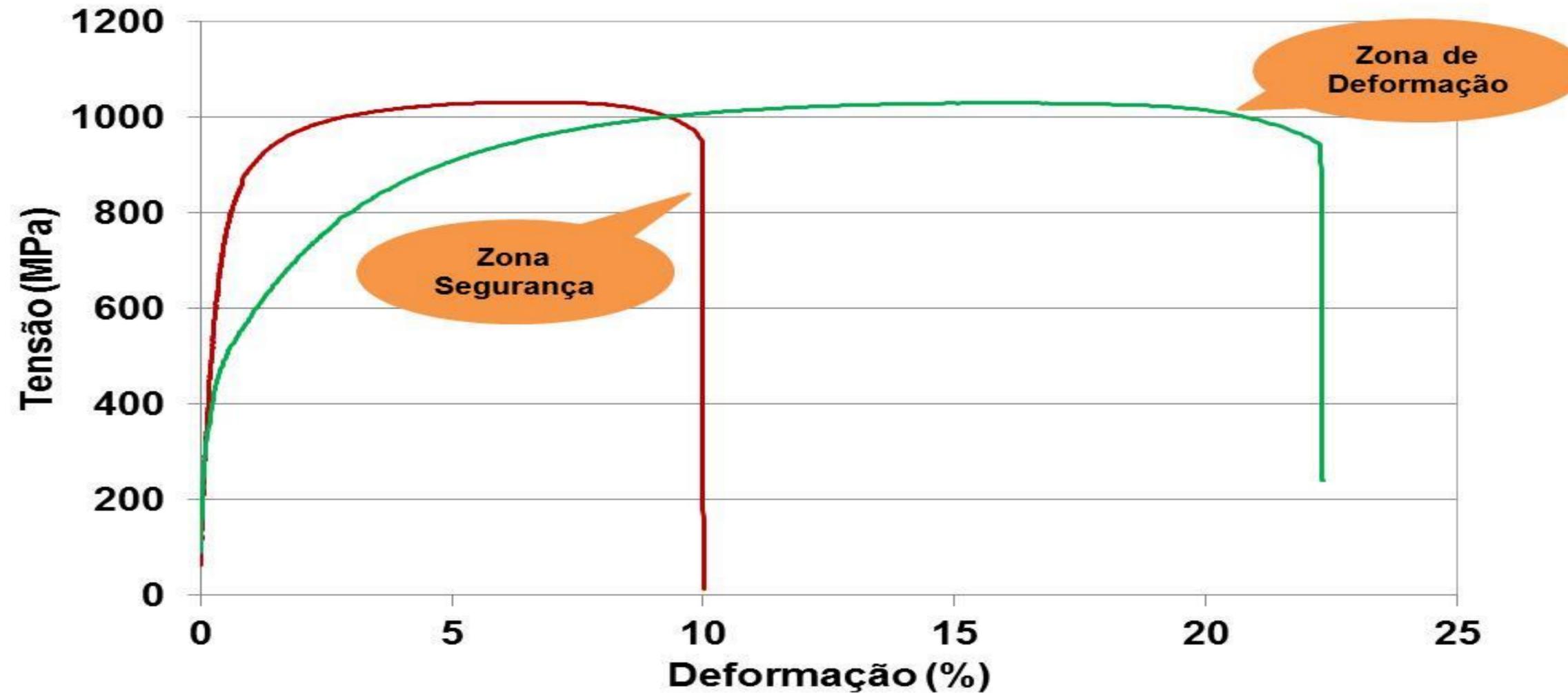
# Desafios e Tendências - Setor Automotivo

## Segurança veicular



Zonas	Característica Para Alto Desempenho
Zona de Deformação	Absorção de energia em evento de impacto
Zona de Segurança	Nenhuma deformação/intrusão durante impacto

# UHSS – Absorção de energia x Rigidez



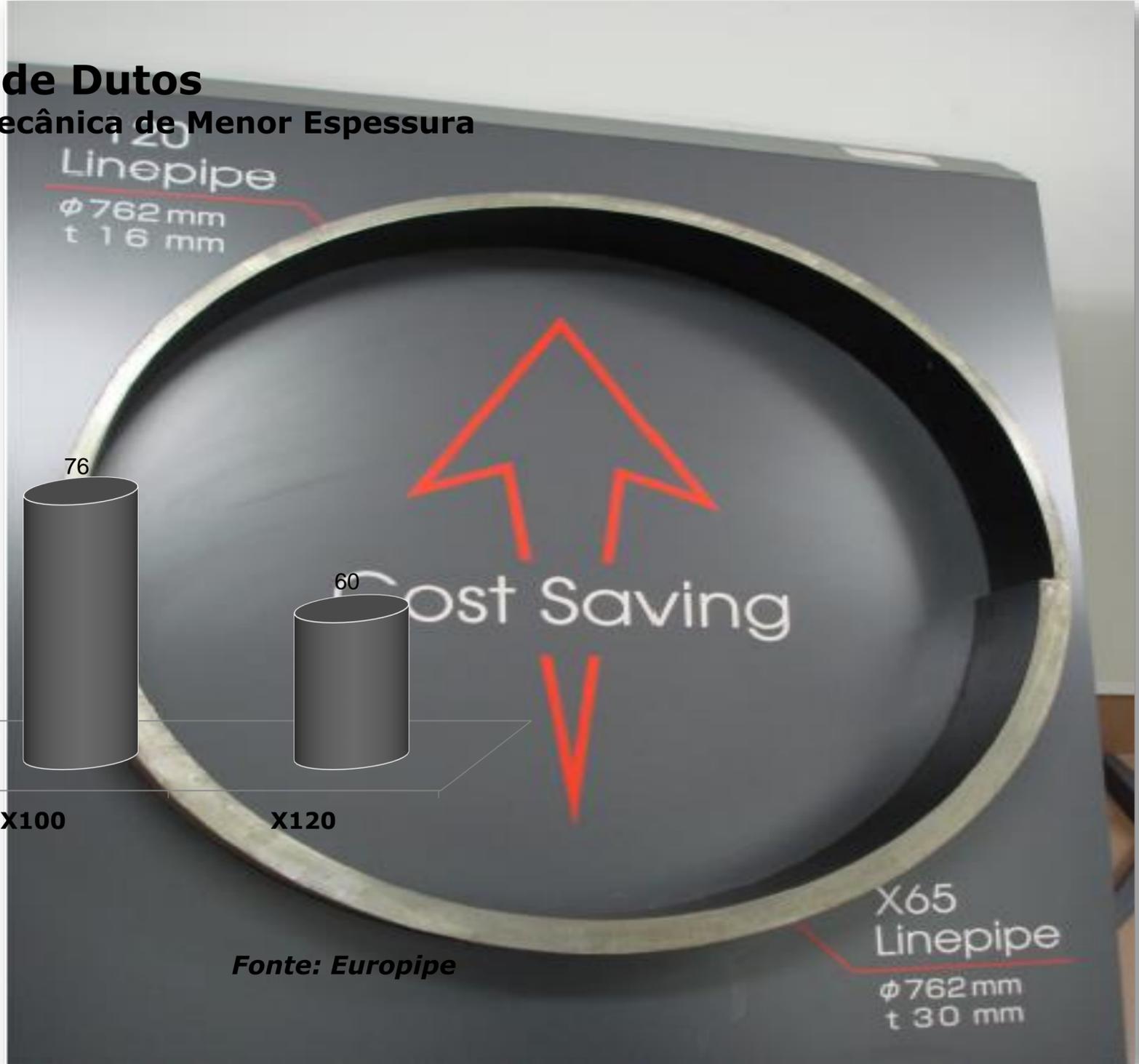
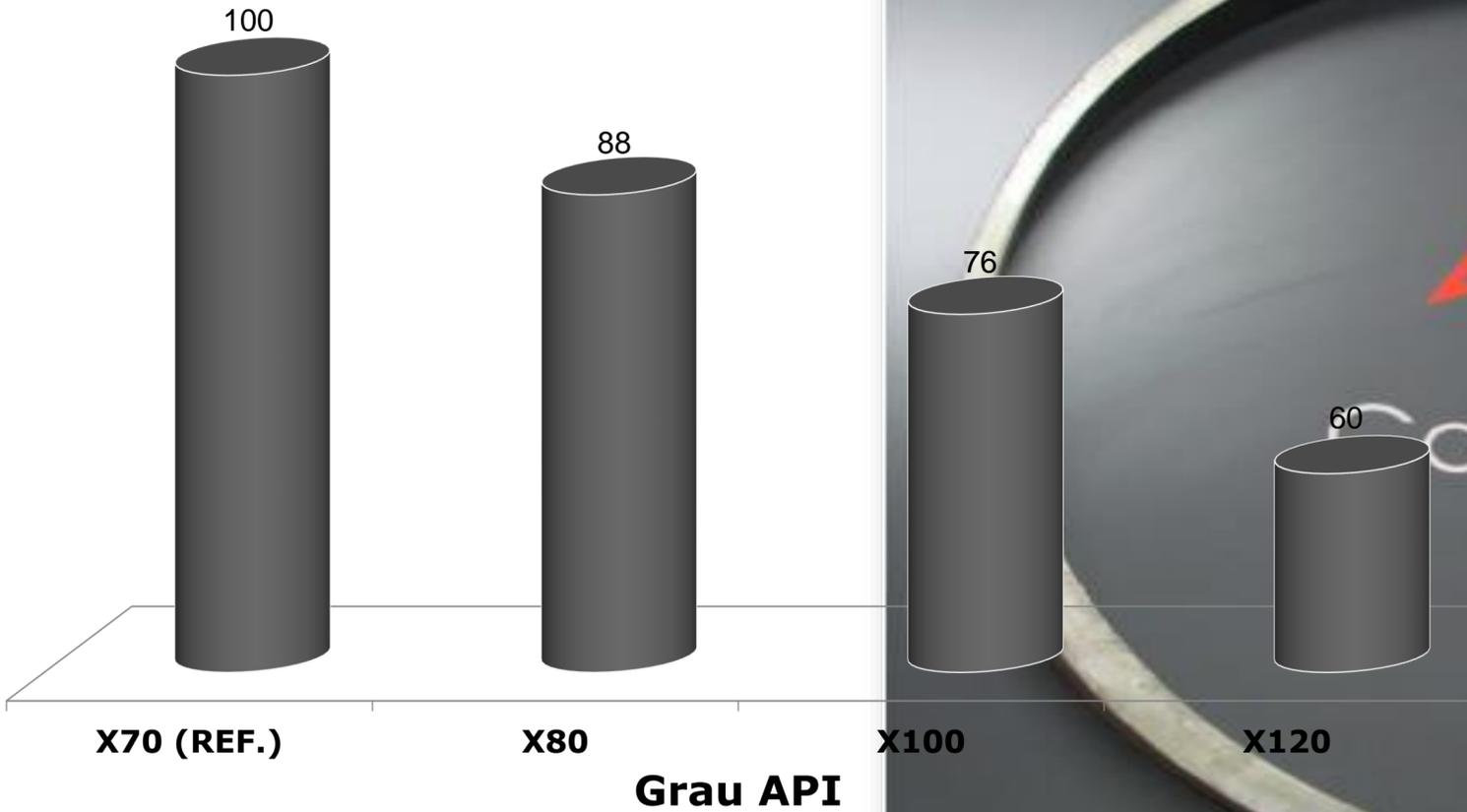
**Zona de Deformação: Aço DP1000 de alta capacidade de deformação**  
**Zona de Segurança: Aço Complex Phase 1000 ao Nb**

**Aço Complex Phase 1000 é um produto desenvolvido pela Usiminas que possui matriz contendo ferrita, bainita e martensita, contendo ainda adição de Nb que propicia o refinamento dos grão ferríticos com aumento da resistência dessa fase específica.**

# Desafios e Tendências - Setor de Óleo e Gás

## Redução de Peso de Dutos

Uso de Aços de Mais Alta Resistência Mecânica de Menor Espessura



Fonte: Europipe

# Desafios e Tendências – Setor Rodoviário



## FOCO: REDUÇÃO DE PESO



### MANUFATURA e MEIO AMBIENTE:

- 
- 40% de redução no consumo energético;
  - 40% de redução no consumo de água;
  - 40% de redução na emissão de CO<sub>2</sub> na atmosfera.

Para cada 1kg de aço convencional produzido, pode-se utilizar 0,6kg de HSS

### PROCESSO PRODUTIVO:

**Corte térmico:** Incremento na velocidade de corte em função de menores espessuras de chapas, resultando em ganhos de produtividade;

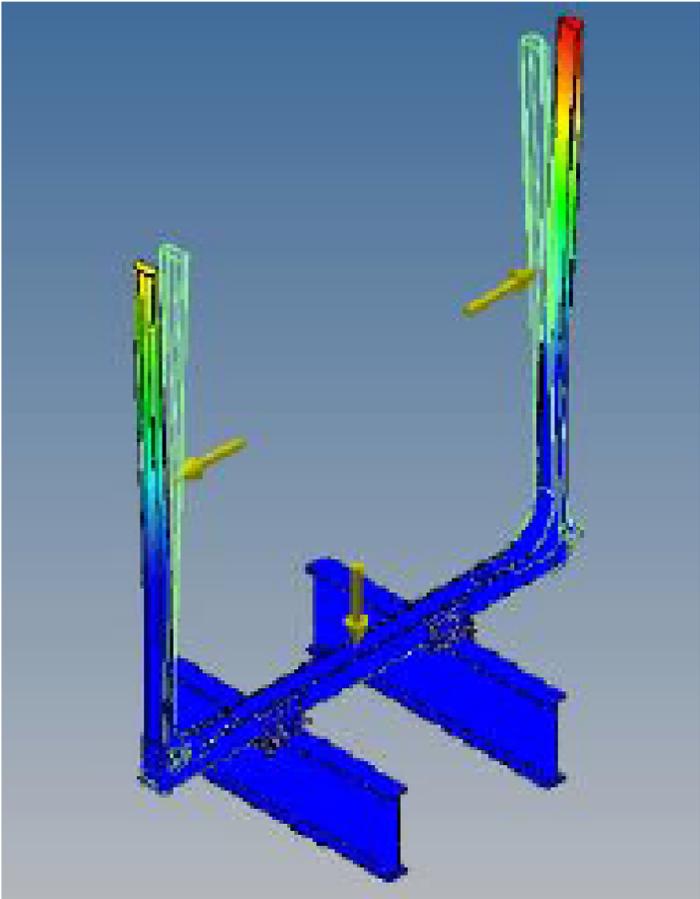
**Solda:** Redução de tempo de processo e consumo de arame em função da redução das espessuras de chapa utilizadas.



# Desafios e Tendências – Setor Rodoviário

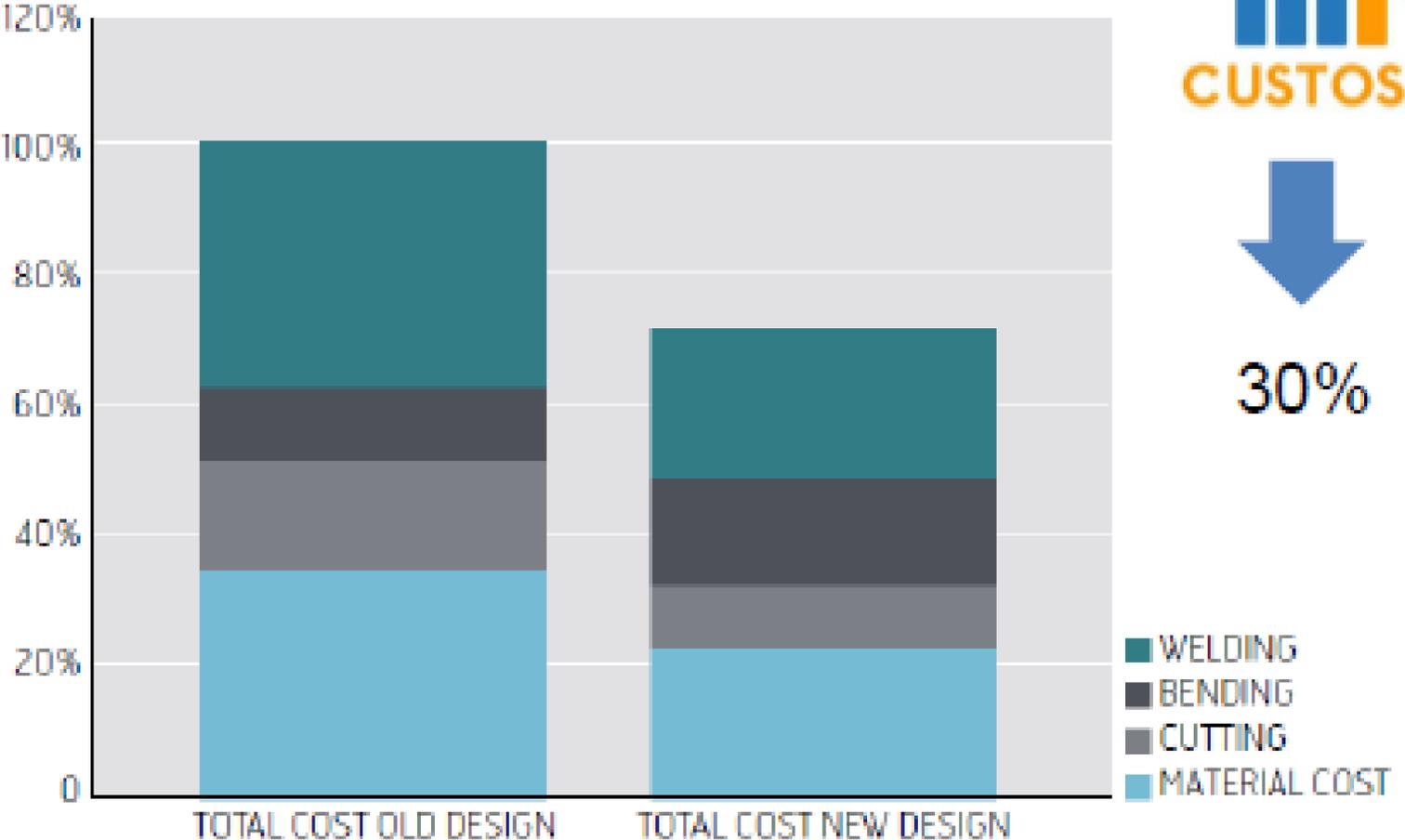
## PROJETO:

Permite o desenvolvimento de designs mais arrojados e inovadores.



## CUSTO:

Gráfico comparativo da redução do custo total de um implemento rodoviário manufacturado em aço convencional x aços de alta resistência.



# Desafios e Tendências – Setor Rodoviário

## MÉRITOS AO USUÁRIO-CLIENTE FINAL

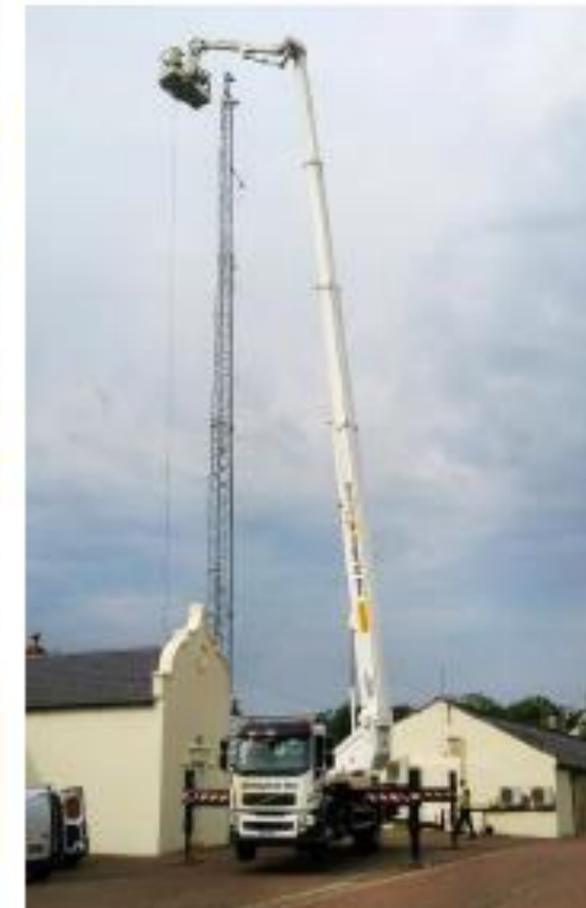
+ CAPACIDADE DE CARGA

- USO DE COMBUSTÍVEL

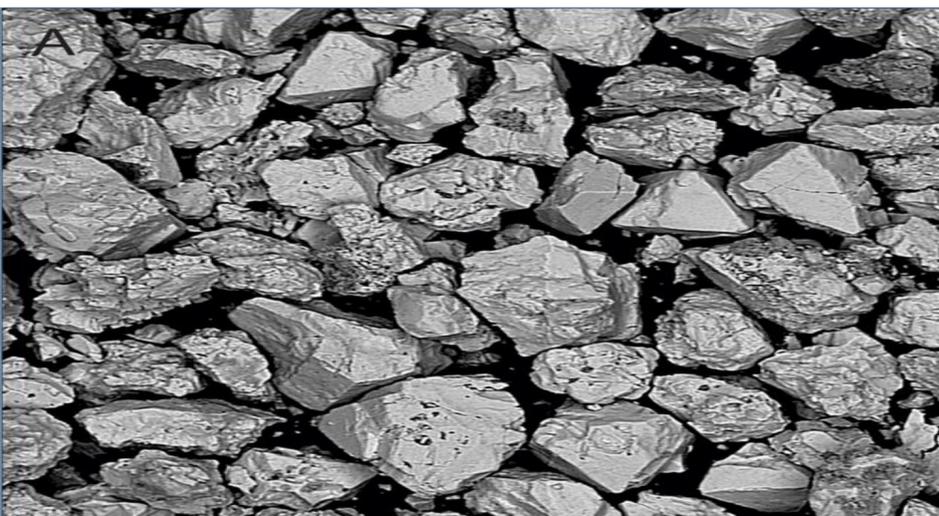
- DESGASTE DE COMPONENTES  
(FREIOS/ROLAMENTOS/PNEUS)

- MAIOR ALCANCE DE ELEVAÇÃO E  
AMPLITUDE DE TRABALHO

- MINIMIZAÇÃO DE PARADAS PARA  
MANUTENÇÃO



# Aços ao Nb - Cases da USIMINAS



# AUTOMOTIVO

## □ APLICAÇÃO

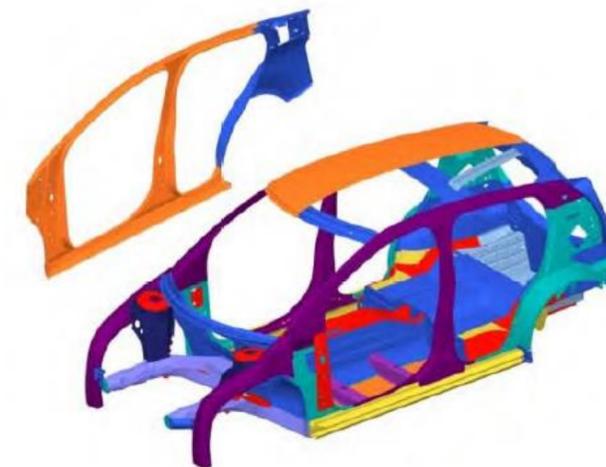
Laminados a frio e Galvanizados dos graus Complex Phase classe 800/900, HSLA 420/550; Dual Phase HE 600 a 1000.

## □ CARACTERÍSTICAS

- ✓ Alta resistência mecânica
- ✓ Expansão de furo
- ✓ Boa soldabilidade
- ✓ Dutilidade

## □ USO DO Nb

Nb: 0,050 a 0,150%



FSV BEV Steel Types  
as % of Body Structure Mass

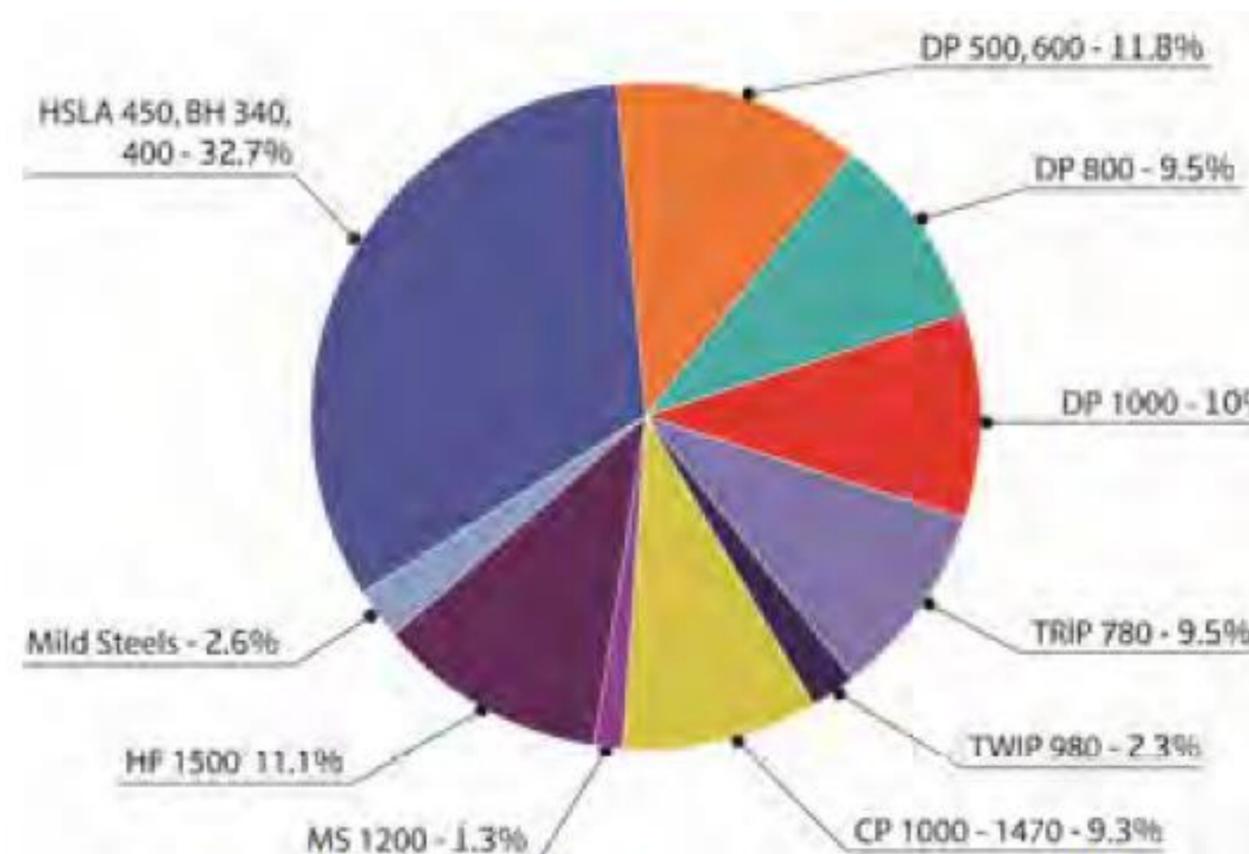


Figure 1.D-7: FutureSteelVehicle material usage.<sup>W-7</sup>

# RODOVIÁRIO

## □ APLICAÇÃO

Chapas de alta resistência mecânica da classe LN500 a LN1000. Laminados a frio Complex Phase classe 800/900, HSLA 500/550; Dual Phase HE 600 a 1000.

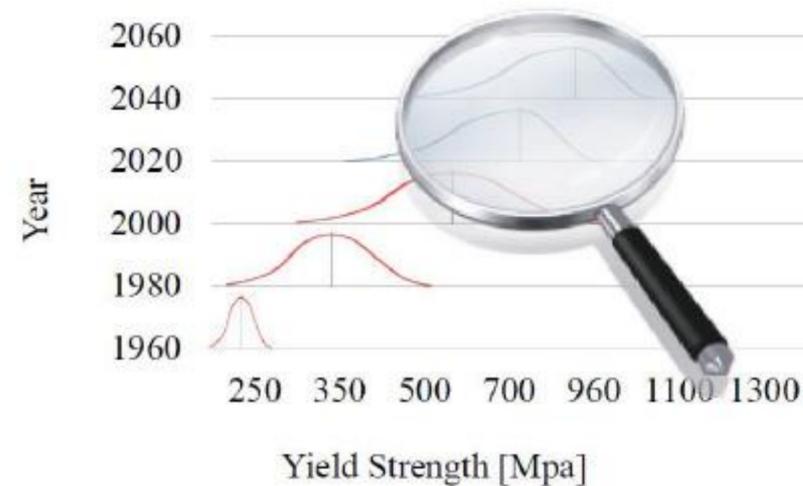
## □ CARACTERÍSTICAS

Aços TMCR produzido em laminação a quente/a frio

- ✓ Alta resistência mecânica
- ✓ Elevada tenacidade a fratura
- ✓ Boa soldabilidade:
  - ✓ Baixo aporte de calor: possibilidade de eliminação do pré-aquecimento
  - ✓ Elevado aporte de calor: garantia de elevada tenacidade na ZAC.
- ✓ Resistência à fadiga

## □ USO DO Nb

Nb: 0,025 a 0,080%



# NAVAL E OFFSHORE

## □ APLICAÇÃO

Chapas TMCP graus AH32~EH40. Produtos fornecidos, principalmente, para a construção de navios plataforma (FPSO), navios sonda, embarcações de apoio e jaquetas de plataforma fixa.

## □ PRODUTOS CERTIFICADOS PELAS PRINCIPAIS CLASSIFICADORAS (ABS, BV, DNV, GL, KR, LR e NK):

Aços TMCP produzidos via Resfriamento Acelerado que combinam:

- ✓ Alta resistência mecânica
- ✓ Elevada tenacidade a fratura
- ✓ Boa soldabilidade:
  - ✓ Baixo aporte de calor: possibilidade de eliminação do pré-aquecimento
  - ✓ Elevado aporte de calor: garantia de elevada tenacidade na ZAC.
- ✓ Resistência mecânica na direção Z

## □ USO DO Nb

Nb: 0,025 a 0,050%



# ENERGIA EÓLICA E HÍDRICA

## □ APLICAÇÃO

**Aço S355M, S420M, S460M, WHS 500M**

✓ Tramo metálico de torre eólica

**Aços S420M, S460M e P355M**

✓ Cubo do rotor do gerador (S420M)

✓ Conduto forçado e turbina (S460 e P355M)

## □ CARACTERÍSTICAS

**Aços produzidos via Resfriamento Acelerado que combinam:**

- ✓ Alta resistência mecânica (redução de peso)
- ✓ Boa soldabilidade (soldagem com alto aporte)
- ✓ Elevada tenacidade a fratura
- ✓ Elevada espessura (hidroenergia)

## □ USO DO Nb

**Nb: 0,025 a 0,050%**



# MÁQUINAS E EQUIPAMENTOS

## □ APLICAÇÃO

Aço WHS 500M, WHS700T, WHS 800T, WHS 1000T  
Torres de perfuração, guindastes e máquinas  
rodoviárias.

Aços Resistentes ao desgaste (400/450HBW)  
✓ Caçambas e pás escavadeira

## □ CARACTERÍSTICAS

Aços produzidos via Resfriamento Acelerado, com  
Têmpera Direta:

- ✓ Alta resistência mecânica e dureza
- ✓ Boa soldabilidade (baixo carbono equivalente)
- ✓ Boa tenacidade à fratura
- ✓ Mais baixo custo de fabricação (comparativamente  
à têmpera *offline*)

## □ USO DO Nb

Nb: 0,035 a 0,050%



# ÓLEO & GÁS

## AÇO API X65/X70 SOUR SERVICE

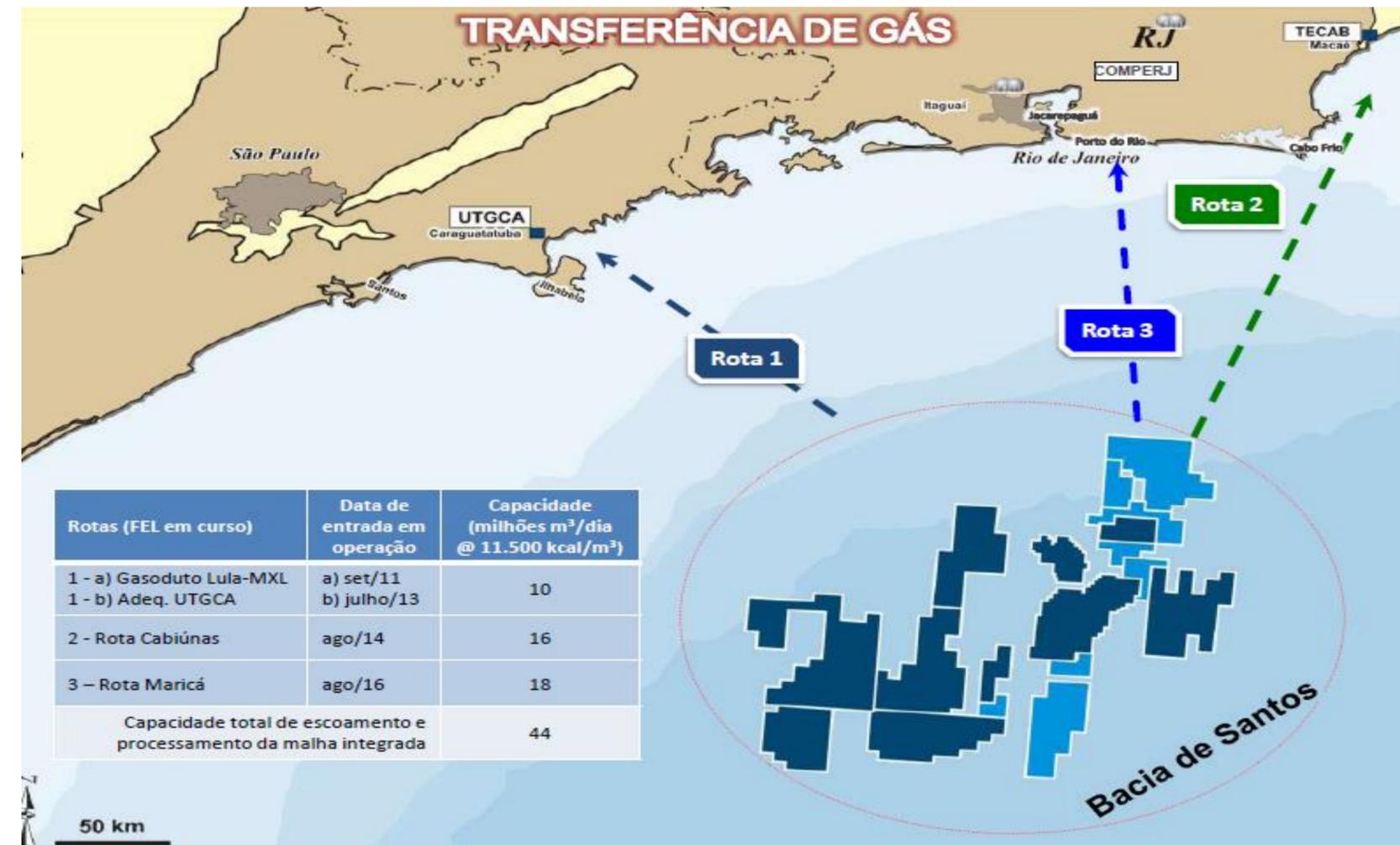
### □ APLICAÇÃO

Tubos de grande diâmetro para aplicação em Ambiente Ácido, contendo H<sub>2</sub>S. Atende às especificações dos projetos Rota 2 e Rota 3 – Gasodutos do Pré-sal

### □ PRODUTO HOMOLOGADO PELA PETROBRAS

Aço de Alto Conteúdo Tecnológico, desenvolvido pela USIMINAS, em conjunto com PETROBRAS e TENARISCONFAB, produzido via Resfriamento Acelerado, que combina:

- ✓ Alta resistência mecânica
- ✓ Elevada tenacidade a fratura
- ✓ Boa soldabilidade
- ✓ Alta resistência a trincas induzidas pelo hidrogênio (HIC – *Hydrogen Induced Cracking*)
- ✓ Elevada espessura



### □ USO DO Nb

Nb: 0,015 a 0,060%

# PROTEÇÃO BALÍSTICA - BLINDAGEM

## AÇO BALÍSTICO USIPROT 500

### □ APLICAÇÃO

Produto desenvolvido para blindagem de veículos aplicação militar, de transporte de valores e proteção civil.

### □ CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS

Aço temperado e revenido com propriedade balística que atende a norma MIL DTL-46100 E-Classe 1, homologado pelo Exército Brasileiro e BRTUV:

- ✓ Elevada Resistência ao Impacto Balístico
- ✓ Elevada Dureza – 500 HBW
- ✓ Boa Tenacidade à Fratura (-40°C)
- ✓ Boa Conformabilidade (dobramento)

### □ USO DO Nb

Nb: 0,015 a 0,050%



# Considerações Finais

- Seguindo a tendência dos mercados europeus, asiáticos e norte-americano, o mercado de aços de alta resistência no Brasil deverá representar cerca de 30% dos aços planos consumidos em até 5 anos, e 60% em até 10 anos;
- A indústria automotiva tem sido a principal consumidora de aços de alta resistência, que demanda um portfólio de produtos diversificado com uso de Nb na composição química;
- Há espaço para o incremento do Nb como solução de liga nos mercados de Óleo & Gás, bem como no Naval & Offshore, na medida que grandes projetos voltarem ao cenário nacional, com a utilização de chapas TMCP. Idem ao mercado eólico;
- Os custos do Nb para indústria siderúrgica são um dos fatores de tomada de decisão na escolha dos elementos proporcionadores de aumento da resistência mecânica;
- A siderurgia brasileira continuará sendo um grande consumidor do Nb, em função das tendências de consumo de aços de maior resistência mecânica e dos benefícios metalúrgicos associados aos outros elementos químicos.