

PMR 3301
COMPLEMENTOS DE
FABRICAÇÃO MECÂNICA

AULA 3:

Processos no estado sólido:
Aula de fundamentos
(revisão de conceitos)

Deposítório de materiais didáticos de PMR3301
Parte Prof. Delson Torikai:

<https://sites.google.com/site/pmr2350/slides>

Processos Primários de Fabricação:

FUNDIÇÃO;

USINAGEM;

CONFORMAÇÃO (MOLDAGEM);

SINTERIZAÇÃO (METALURGIA DO PÓ);

REVISÃO: CONFORMAÇÃO MECÂNICA (PMR3203)

CONFORMAÇÃO PLÁSTICA:

- **Modificação da forma/dimensões de um corpo metálico pela ação de tensões mecânicas sem que haja remoção de material → CONFORMAÇÃO PLÁSTICA**
- **Cerca de 80% dos produtos manufaturados sofrem uma ou mais operações de conformação plástica.**

PARÂMETROS DE PROCESSAMENTO em conformação (velocidade, temperatura, equipamentos, ferramentas) devem ser adequados para garantir a qualidade e o custo competitivo dos produtos

QUALIDADE DOS PRODUTOS: Dimensão, forma, propriedades mecânicas e condições superficiais

METALURGIA DA CONFORMAÇÃO MECÂNICA

OBJETIVOS: Definir as características dos materiais metálicos quanto a:

- ❑ resistência à deformação (tensão de escoamento)
- ❑ comportamento sob deformação a frio ou a quente
- ❑ modificações microestruturais decorrentes (encruamento, alívio de tensão, recristalização)
- ❑ previsão e prevenção de defeitos



Determinar esforços de conformação, para escolha dos equipamentos e ferramentas



Definir parâmetros de processamento: (velocidade, temperatura, lubrificação)

METALURGIA DA CONFORMAÇÃO MECÂNICA (CONCEITOS PARA REVISÃO)

- ✓ **estruturas cristalinas de materiais metálicos**
- ✓ **sistemas preferenciais de deslizamento**
- ✓ **elementos de liga e formação de fases**
- ✓ **defeitos cristalinos: vazios, contornos de grão, discordâncias**
- ✓ **deformação plástica a frio**
- ✓ **deformação plástica a quente**

METALURGIA DA CONFORMAÇÃO MECÂNICA

1- TRABALHO A FRIO

- **Deformação plástica dificultada:**
 - deformação dos grãos cristalinos
 - criação e movimentação de discordâncias
- **Encruamento: aumento da resistência ao escoamento causado pela dificuldade de deformação plástica**
- **aumento da energia interna do material metálico, com forte influência em propriedades físicas químicas e mecânicas**
- **provocado pela presença de barreiras que dificultam a movimentação das discordâncias por deslizamento no reticulado cristalino**

Comparação das propriedades mecânicas
de aços tratados termicamente e conformados a frio

Aço	AISI 1040	AISI 1010	AISI 8620	AISI 1040
Condição	TR	EF 60%	TR	EF 40%
Tensão limite de resistência T.L.R. [MPa]	690	690	862	862
Tensão limite de escoamento T.L.E. [MPa]	483	655	586	724
Estricção [%]	60	50	50	40
Dureza [HB]	207	207	248	235

TR - Temperado e revenido

EF - Extrudado a frio

Questão 5: Analisando os dados da tabela abaixo, assinale a afirmativa falsa:

Comparação das propriedades mecânicas
de aços tratados termicamente e conformados a frio

Aço	AISI 1040	AISI 1010	AISI 8620	AISI 1040
Condição	TR	EF 60%	TR	EF 40%
Tensão limite de resistência T.L.R. [MPa]	690	690	862	862
Tensão limite de escoamento T.L.E. [MPa]	483	655	586	724
Estricção [%]	60	50	50	40
Dureza [HB]	207	207	248	235

TR - Temperado e revenido
EF - Extrudado a frio

A () O PROCESSO DE DEFORMAÇÃO A FRIO PODE AUMENTAR EM ATÉ 25% O LIMITE DE RESISTÊNCIA DO MATERIAL EM RELAÇÃO AO PROCESSO DE TEMPERA E REVENIMENTO.

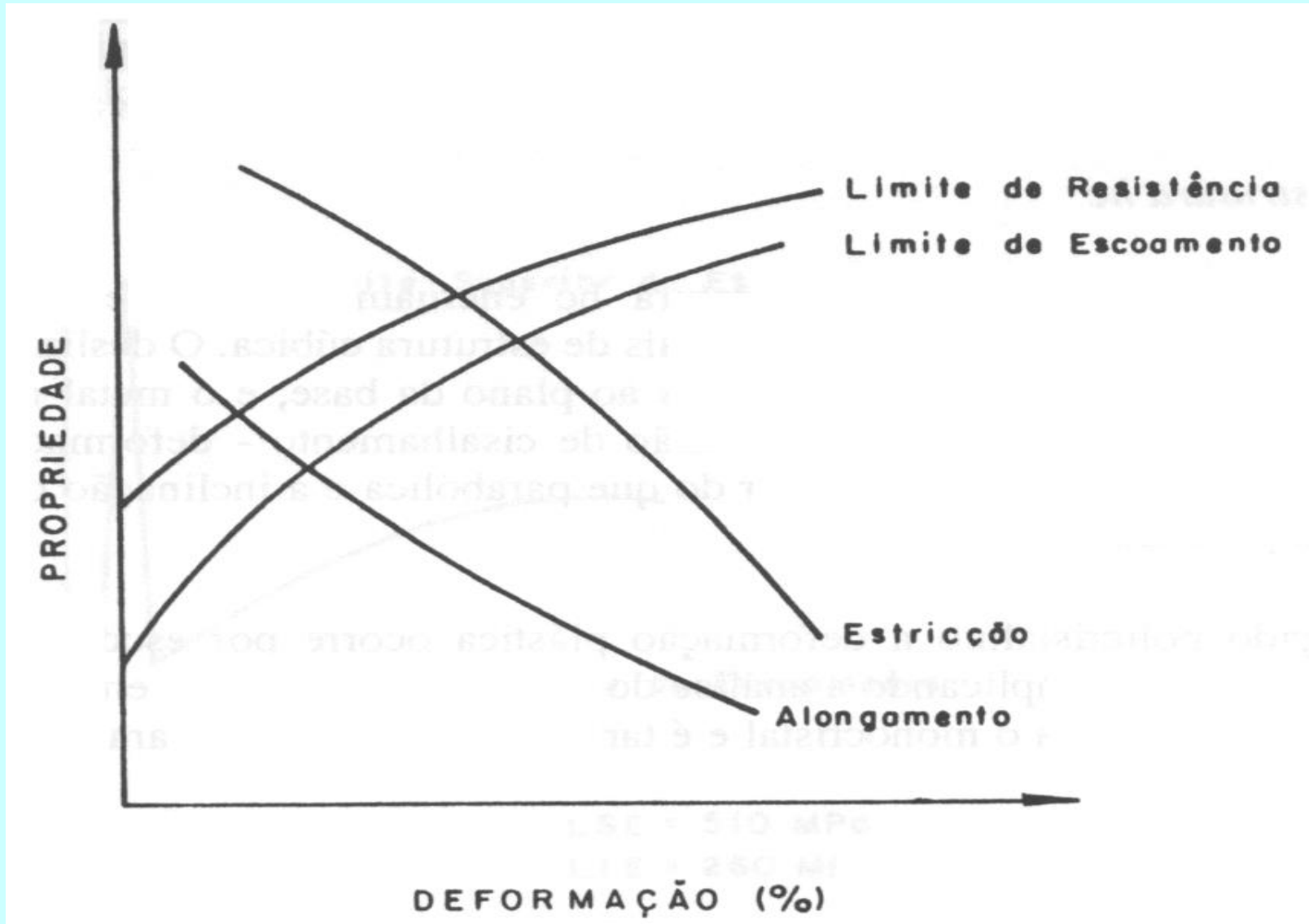
B () O AÇO 8620-TR POSSUI A MESMA TENSÃO LIMITE DE RESISTÊNCIA QUE O AÇO 1040-EF40%, MAS É CERCA DE 25% MAIS DÚCTIL.

C () O AÇO 1040-TR E O AÇO 1010-EF60% POSSUEM A MESMA DUREZA E MESMA TENSÃO LIMITE DE RESISTÊNCIA, NO ENTANTO O 1040-TR POR APRESENTAR MAIOR % DE CARBONO É MAIS FRÁGIL QUE O AÇO 1010-EF60%

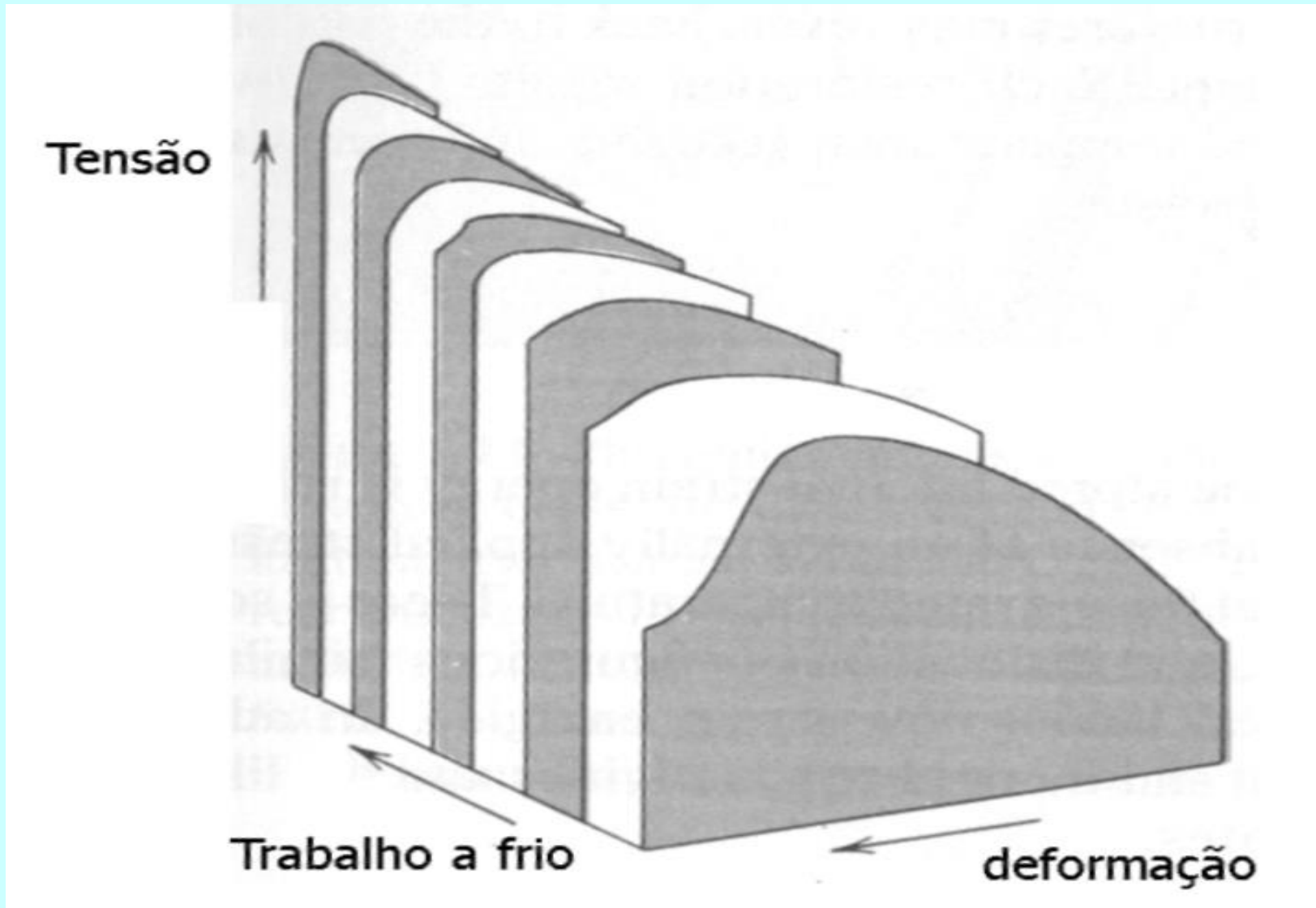
D () O AÇO 1040-EF40% É MAIS RÍGIDO QUE O AÇO 8620-TR, PORTANTO MELHOR PARA APLICAÇÃO COMO ELEMENTO ESTRUTURAL.

E () O AÇO 8620-TR APRESENTA DUREZA LEVEMENTE SUPERIOR, LIMITE DE RESISTÊNCIA EQUIVALENTE E TENSÃO LIMITE DE RESISTÊNCIA INFERIOR AO AÇO 1040-EF40% MAS É MAIS APROPRIADO PARA APLICAÇÃO EM ENGRENAGENS DE ALTA SOLICITAÇÃO.

Influência da deformação a frio nas propriedades mecânicas



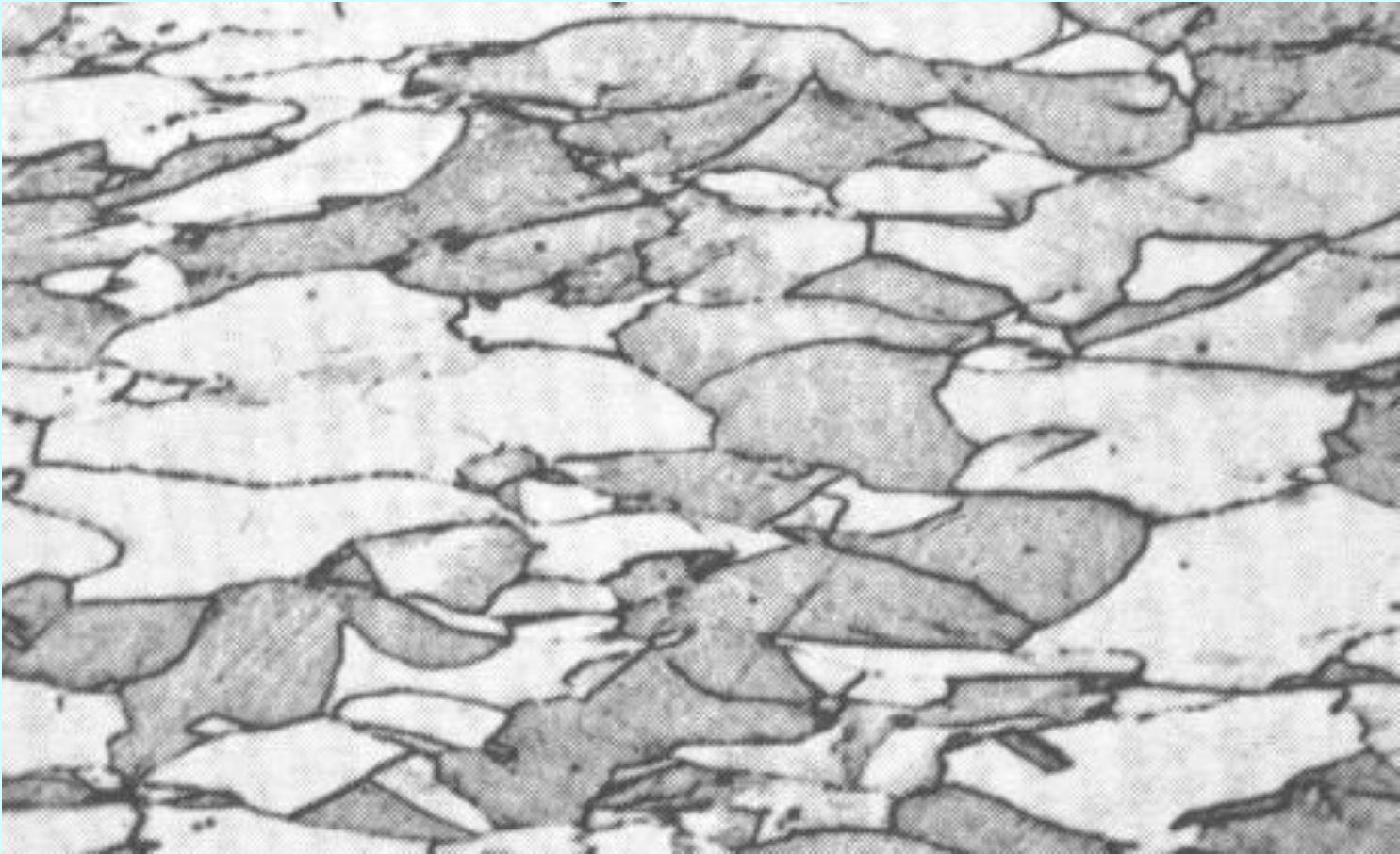
Influência da deformação a frio nas propriedades mecânicas



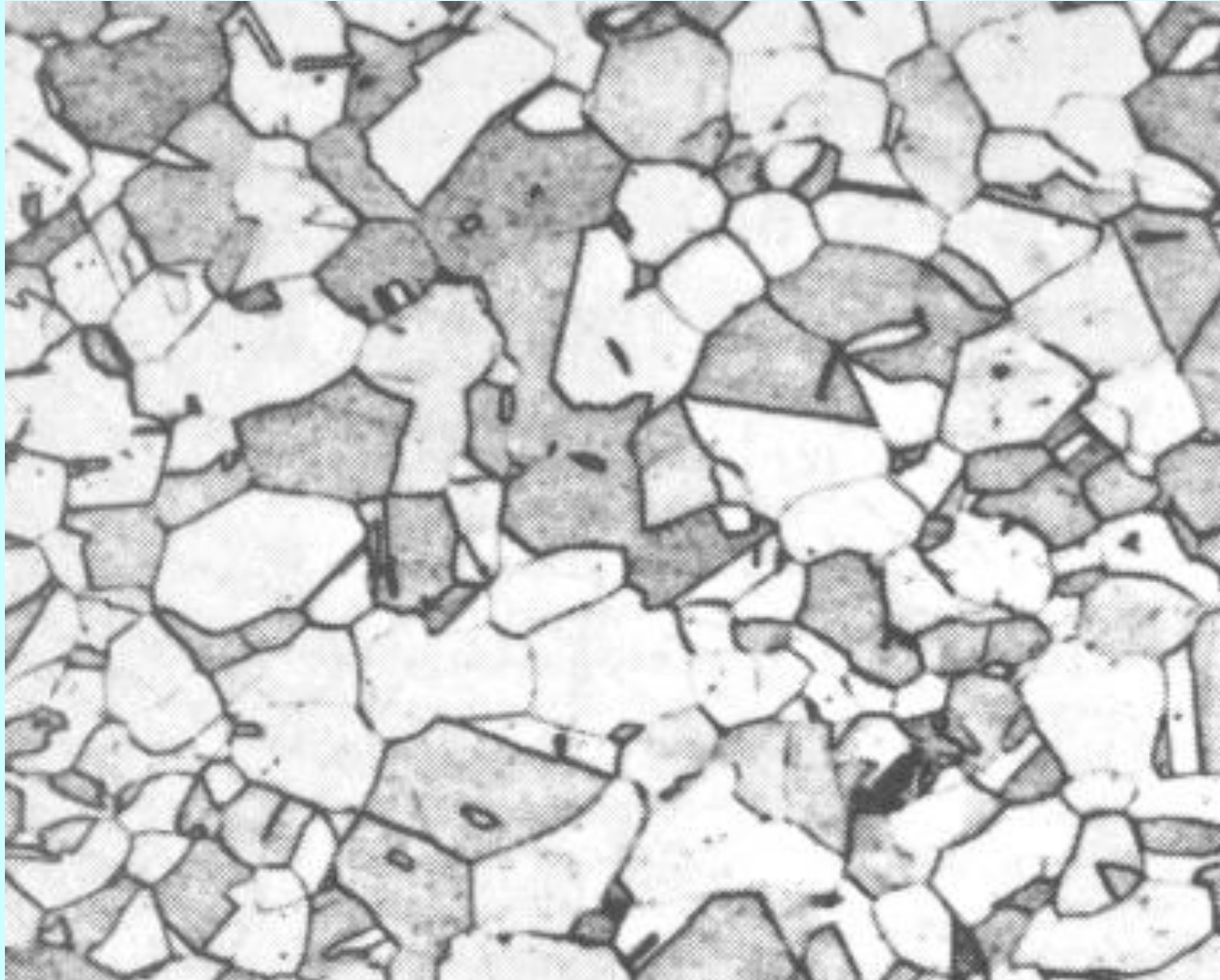
BARREIRAS À DEFORMAÇÃO

- **Átomos em solução sólida,**
- **Partículas precipitadas**
(impurezas, segundas fases, compostos),
- **Defeitos de linha:**
(discordâncias em cunha e em hélice)
- **Contornos de grão,**
- **Baixas temperaturas**

Material encruado: grãos deformados e alongados



Material de partida recozido: grãos recristalizados



METALURGIA DA CONFORMAÇÃO MECÂNICA

2- TRABALHO A QUENTE

- **Deformação plástica facilitada:**
 - **energia térmica disponível**
 - **maior mobilidade atômica**
 - **maior caminho livre para movimento de discordâncias**

- **Energia térmica: calor disponível durante o tempo de processamento**

- **Temperatura de processo elevada:**
 - suficiente para promover a recristalização
 - suficiente para promover transformações alotrópicas (Ferro de CCC para CFC, Titânio de HC para CCC)
 - suficiente para dissolver partículas de segunda fase e precipitados → difusão e autodifusão
 - pode promover crescimento de grãos

CARACTERÍSTICAS DOS PROCESSOS EM FUNÇÃO DA TEMPERATURA DE TRABALHO (T_t)

3- Trabalho morno

- *reúne as características vantajosas do trabalho a frio e a quente*

Exemplo: Auto-peças forjadas

4- Trabalho isotérmico

- *reúne as características do trabalho a quente*
- *peça e ferramentas apresentam temperaturas próximas*
- *possibilidade de grandes deformações a taxas de deformação reduzidas*

Exemplo: Palheta de turbina

VARIÁVEIS IMPORTANTES NA CONFORMAÇÃO

FERRAMENTAS

- *geometria*
- *condições superficiais*
- *dureza/tenacidade*
- *temperatura*
- *rigidez e precisão*

PRODUTO

- *geometria*
- *qualidade dimensional*
- *qualidade superficial*
- *microestrutura*
- *propriedades mecânicas*

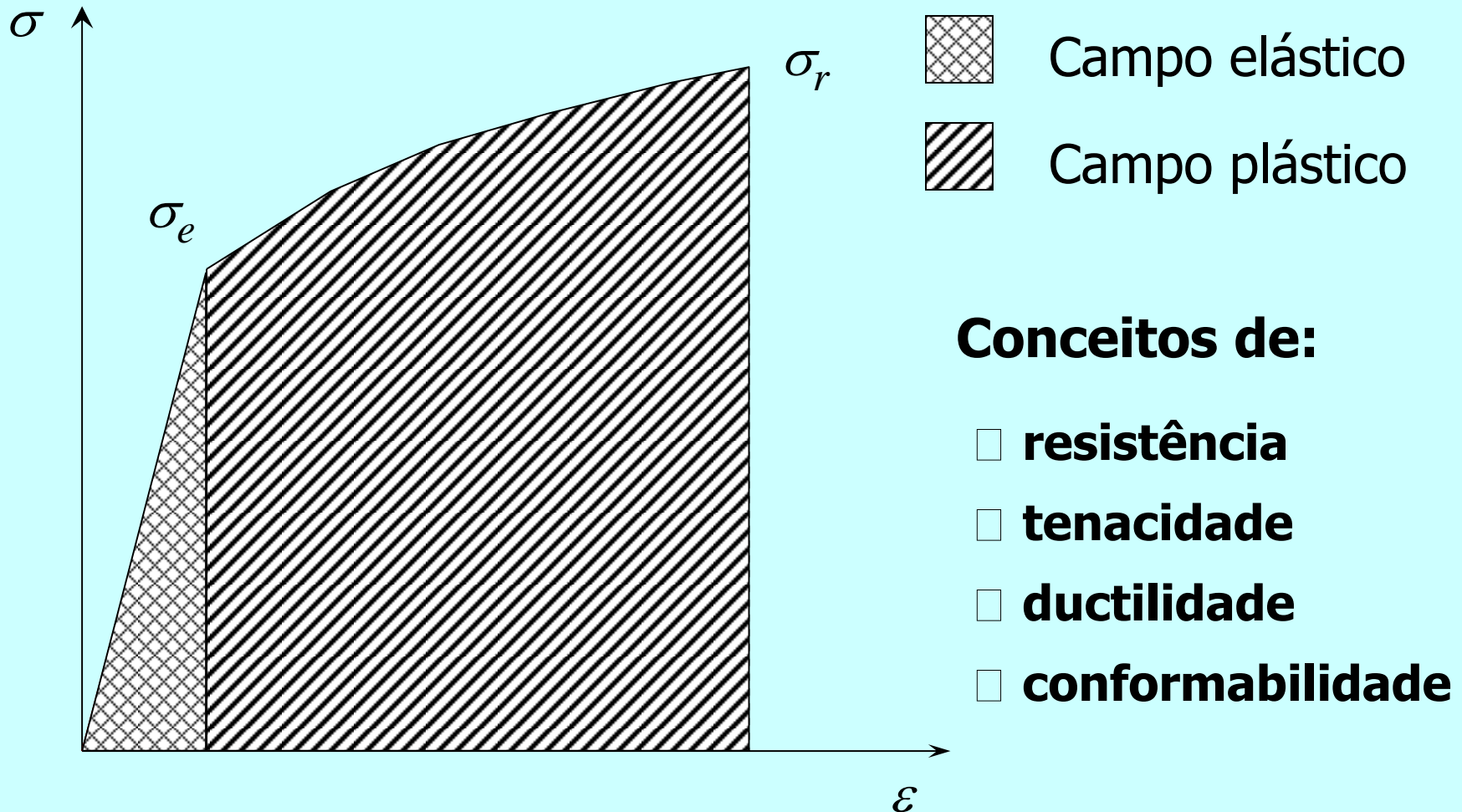
EQUIPAMENTOS

- *velocidade/produtividade*
- *capacidade de força/energia*
- *rigidez e precisão*

AMBIENTE

- *ser humano*
- *poluição*
- *controle, utilidades*

Curva Tensão-Deformação de um Material Metálico Genérico



O que é Conformabilidade?

É a facilidade com que o material pode ser conformado (ter sua forma física alterada como ocorre na dobra, prensado, estampado ou forjado) sem prejuízos à sua integridade física, principalmente com relação aos aspectos metalúrgicos e mecânicos.

CONCEITOS E TERMINOLOGIA

- grau de deformação (ε)
 - redução de seção (ϕ)
 - coeficiente de encruamento (n)
- } $\sigma = C.\varepsilon^n$

- taxa de deformação ($\dot{\varepsilon}$)
 - sensibilidade à taxa de deformação (m)
- } $\sigma = K.\dot{\varepsilon}^m$