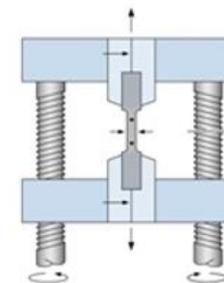
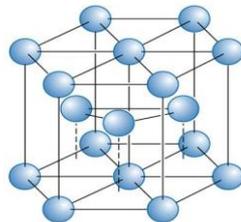
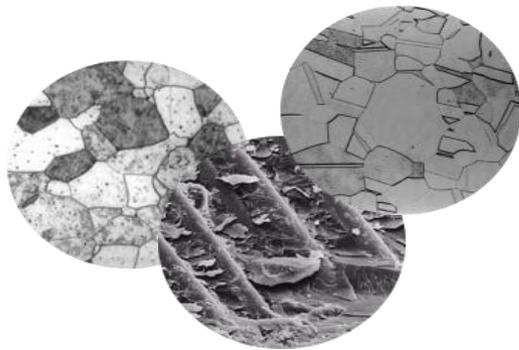


SMM0333 - SELEÇÃO DE MATERIAIS PARA PROJETO MECÂNICO



SELEÇÃO DE PROCESSOS

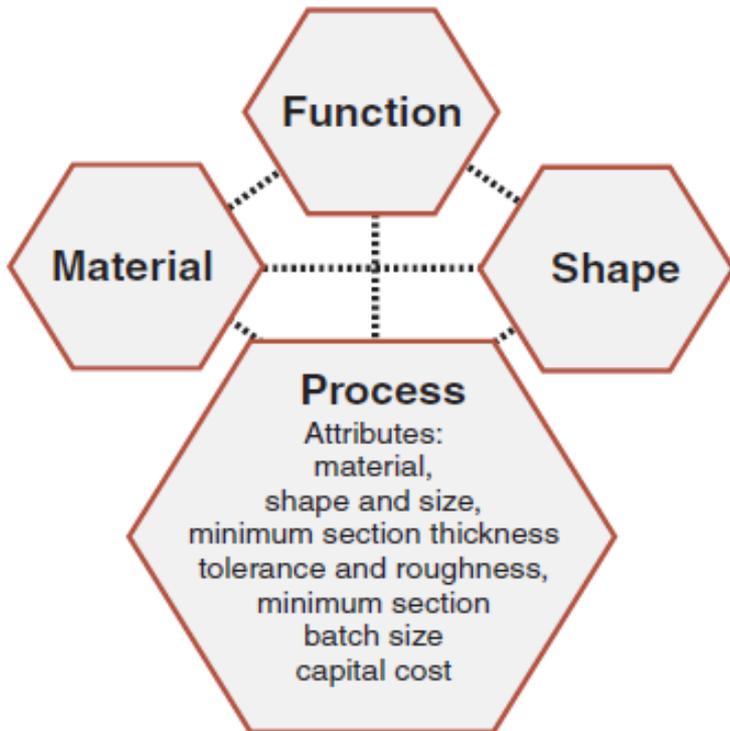
Processo

- Processo consiste em dar **forma**, promover **união** ou **acabamento**;
- É preferível a escolha correta da rota de processamento no **estágio inicial** do projeto, pois a **alteração de processo é mais custosa**;
- A escolha do processo, para um dado componente depende do **material** do qual ele será fabricado, do **tamanho**, da **forma**, **precisão (tolerância)** e do **número de peças** a ser produzido. Enfim, depende dos **requisitos do projeto**;
- Cada **processo** é caracterizado por um **conjunto de atributos**: o **material** ao qual **pode** ser aplicado, as **dimensões** e **formas** que ele pode produzir e sua **precisão**.



Seleção de Processo

- O **objetivo** é encontrar a **melhor** correspondência entre **atributos de processo e requerimentos do projeto**.
- Não se deve esquecer que o material, forma e processo interagem.



As propriedades do material e a forma limitam a escolha do processo:

- materiais dúcteis podem ser forjados, laminados e estampados;
- materiais frágeis devem ser moldados de outras formas;

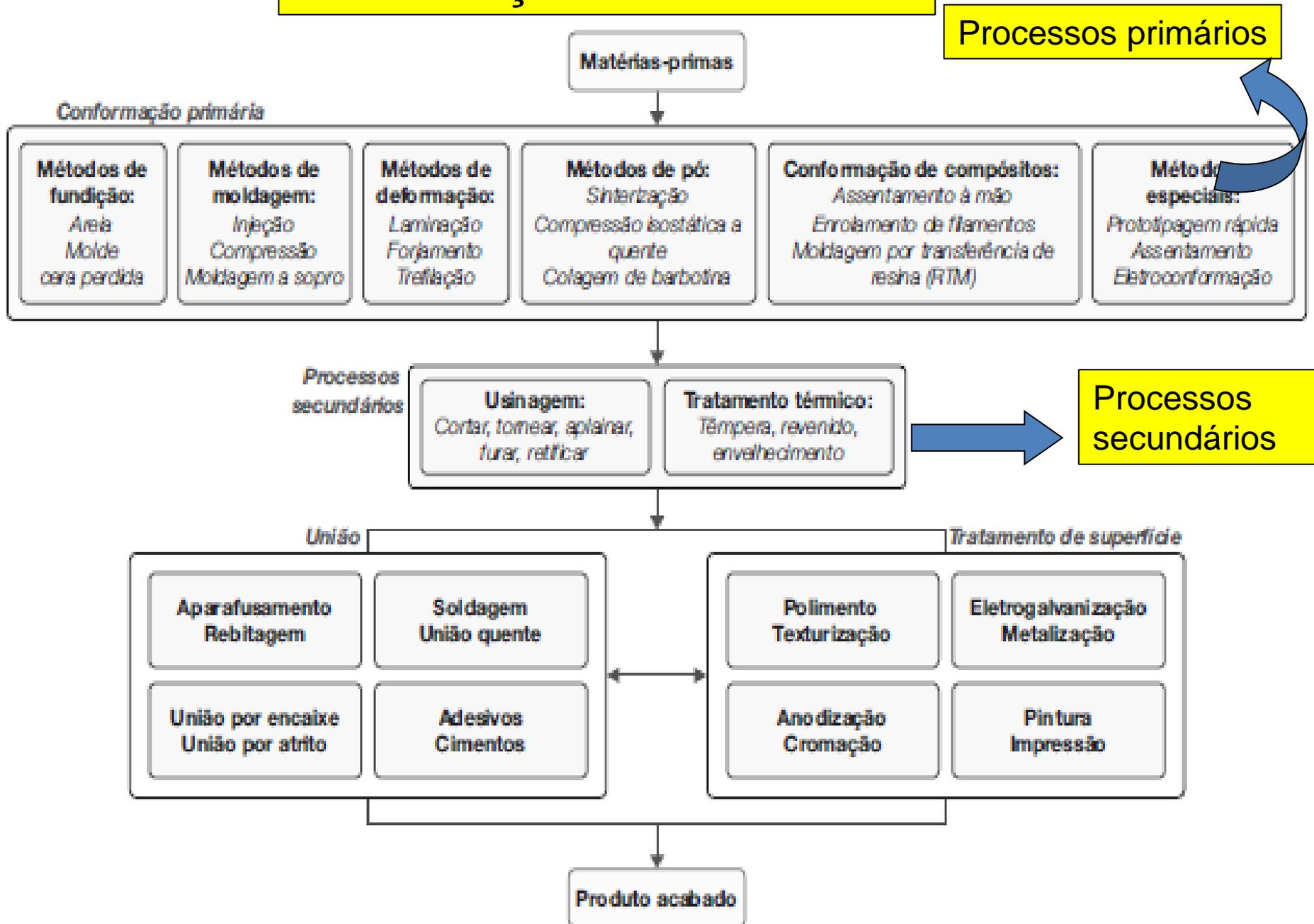
CONSIDERAÇÕES: TAMANHO, FORMA, TOLERÂNCIA DIMENSIONAL, ACABAMENTO SUPERFICIAL (TENSÃO RESIDUAL E RUGOSIDADE) E PROPRIEDADES.

- Materiais que fundem em temperaturas moderadas podem ser **fundidos**;
- A forma tem que ser considerada na escolha do processo. Peças **delgadas** podem ser produzidas por **laminação** ou **estampagem**, mas **não** por fundição;
- O **processo afeta as propriedades**. A laminação e forjamento afetam a dureza e a textura dos metais, alinham inclusões, podem promover incremento de resistência e redução de ductilidade;
- Como outros aspectos do **projeto**, a **seleção do processo** é um **procedimento iterativo**. A primeira interação fornece uma ou mais possíveis rotas de processamento;
- O **projeto deve ser repensado** para adaptá-lo, à rota mais viável no intuito de facilitar e reduzir o custo de fabricação;

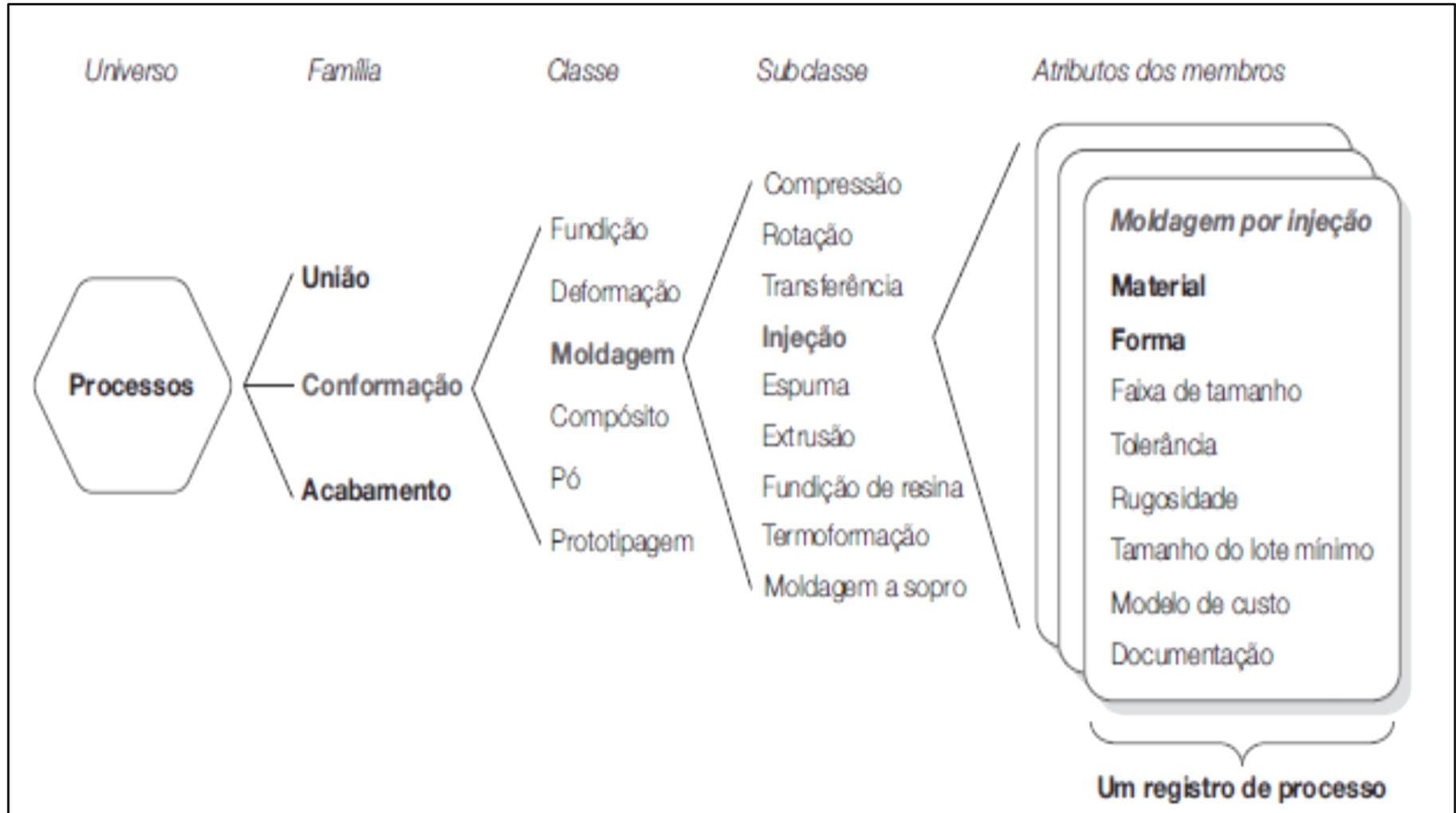
CONSIDERAÇÕES

- A **escolha final** é baseada na comparação do **custo** do processo (existem modelos de custo), e nas **informações suporte**: história de casos, experiência documentada e exemplos de rotas de processamento usadas em produtos correlatos;
- As **informações suporte** podem ajudar também com o **acoplamento** entre **processo e propriedades** do material;
- O **processo influencia** as propriedades, algumas vezes de forma **desejável** (tratamentos térmicos) ou de forma **indesejável** (defeitos de fundição). Esta **interação** não pode ser descrita por simples atributos de processo, mas **necessitam caracterizações empíricas ou modelagem de processo**;
- **A MODELAGEM E SELEÇÃO POR MÉTODOS TEÓRICOS É A PRIMEIRA ABORDAGEM. ANTES DA ESCOLHA FINAL, SÃO NECESSÁRIOS ENSAIOS, SE POSSÍVEL, COM SIMULAÇÃO DO PROCESSO DE FABRICAÇÃO.**

Classificação dos Processos



Para estruturar os atributos de processos para a **triagem**, precisaremos uma **classificação hierárquica** das famílias de **processos**, similar aquela realizada para os materiais



Processos de fabricação Matéria prima metálica

Mecânicos
(emprego de tensão)

Metalúrgicos
(emprego de temperatura)

$$\sigma_{\text{aplicada}} > \sigma_{\text{ruptura}}$$

$$\sigma_{\text{aplicada}} < \sigma_{\text{ruptura}}$$

$$T_{\text{aplicada}} < T_{\text{fusão}}$$

$$T_{\text{aplicada}} > T_{\text{fusão}}$$

Usinagem

Metalurgia do pó

Laminação

Forjamento

Trefilação

Extrusão

Fundição

Lingotamento

Soldagem

Tratamentos térmicos

FUNDIÇÃO

FUNDIÇÃO:

- **METAL FUNDIDO FLUI POR AÇÃO DE FORÇA DE GRAVIDADE OU OUTRA, PARA DENTRO DE UM MOLDE E SOLIDIFICA-SE NA FORMA DA CAVIDADE DO MESMO;**

VANTAGENS:

- **GEOMETRIAS COMPLEXAS;**
- **NET SHAPE OU NEAR NET SHAPE;**
- **PEÇAS GRANDES (>100 ton) E PEQUENAS (<1kg);**
- **GRANDE LEQUE DE COMPOSIÇÕES;**
- **USO DE SUCATA.**

DESVANTAGENS:

- **PROPRIEDADES MECÂNICAS;**
- **CONTROLE DE DEFEITOS (POROSIDADE);**
- **ALGUNS PROCESSOS: ACABAMENTO SUPERFICIAL;**
- **PERICULOSIDADE;**
- **DESCARTE: PROBLEMAS AMBIENTAIS.**

MANUAL: MAIS BARATO



EMPRESAS COM ISO 9000?ISO 14000?OHSAS 18000?SA8000?



SEMI-AUTOMATIZADA: UM POUCO MAIS CARO



AUTOMATIZADA: MAIS CARO



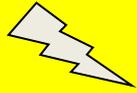
HISTÓRIA



5000 aC: facas, pontas de lança, moedas, artefatos domésticos em Cu, bronzes (Cu/Sn);



2000 aC: ferrosos;



500 aC: bronzes, esculturas religiosas (cera perdida);



500 aC: ampliou-se para uso em armamentos, escudos; habilidade de produção com qualidade;



Desde então a fundição se desenvolveu como ciência.

CERA PERDIDA

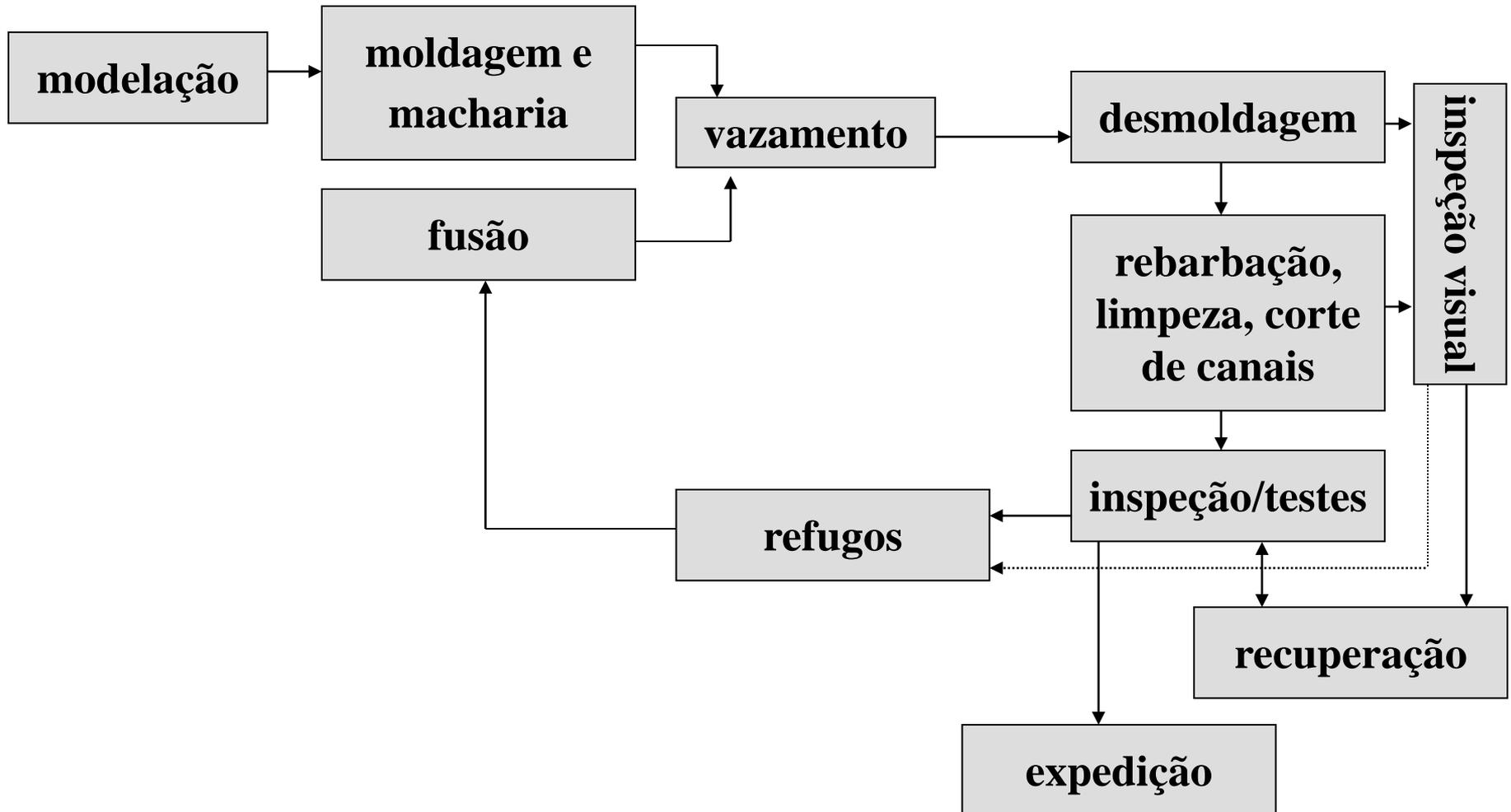


Perseu – B. Cellini– 1500-1571



Pensador – Rodin– 1840-1917

Fluxograma de produção por fundição: qualidade X custo



MACHO



MATERIAIS ESPECIAIS – FUNDIÇÃO A VÁCUO

FORNO POR INDUÇÃO

- **Aquecimento é por efeito Joule da corrente induzida por um campo eletromagnético de alta frequência;**
- **Capacidade de 50kg a 100 ton;**
- **Potencia de 1500kW para um forno de 35 ton;**
- **Velocidade de fusão de 2,5 t/h e temperatura de trabalho de 600 a 1750°C.**
- **Provoca grande agitação-favorece a homogeneização;**
- **Forno por indução a vácuo: ligas especiais. Ex: aços ao Si, evita formação de silicatos.**

FORNO DE INDUÇÃO A VÁCUO



A MODELAGEM E SELEÇÃO POR MÉTODOS TEÓRICOS É A PRIMEIRA ABORDAGEM. ANTES DA ESCOLHA FINAL, SÃO NECESSÁRIOS ENSAIOS, SE POSSÍVEL, COM SIMULAÇÃO DO PROCESSO DE FABRICAÇÃO.

**EXEMPLO DE SIMULAÇÃO:
MAGMA (VER FILME)**

SIDERURGIA

O PROCESSO DE FABRICAÇÃO DO AÇO INFLUENCIA AS PROPRIEDADES E DEVE SER SELECIONADO:

- **ALTO-FORNO OU ACIARIA ELÉTRICA;**
- **UTILIZAÇÃO DE COQUE OU CARVÃO VEGETAL;**
- **LINGOTAMENTO CONVENCIONAL OU CONTÍNUO;**
- **TOTALMENTE ACALMADO OU SEMI-ACALMADO;**
- **TRATADO COM AI OU NÃO;**
- **TECNOLOGIA DE FORNO-PANELA OU NÃO;**
- **DESGASEIFICADO A VÁCUO OU NÃO;**
- **REFINO SECUNDÁRIO OU NÃO.**

PROCESSO DE FABRICAÇÃO DO AÇO



Minério de Ferro

O minério de ferro utilizado para redução é o Fe_2O_3 (Hematita) e FeO (Wustita)



5mm<Pelotas<18mm



5mm<Sinter<50mm



6mm< Minério <40mm
granulado



HEMATITE $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot x\text{H}_2\text{O}$





MAGNETITA(Fe_3O_4)



LIMONITA
($\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$)



WUSTITA (FeO)



SIDERITA (FeCO_3)

ILMENITA(FeTiO_3)



PIRITA(FeS_2) – “OURO DE TOLO”



AREA DE REDUÇÃO SINTERIZAÇÃO

DIFERENTES TIPOS DE MINÉRIOS COM
QUANTIDADES DISTINTAS DE FERRO E
RESIDUAIS (Especialmente P)



ÁREA DE REDUÇÃO COQUERIA



Principal origem do enxofre nos aços

COQUERIA

COQUEIFICAÇÃO : aquecimento do carvão mineral na ausência da ar.

- **Detalhes do processo**



Típica Bateria de coqueificação



Coque incandescente pronto para ser descarregado

DESENFORNAMENTO



ALTO-FORNO



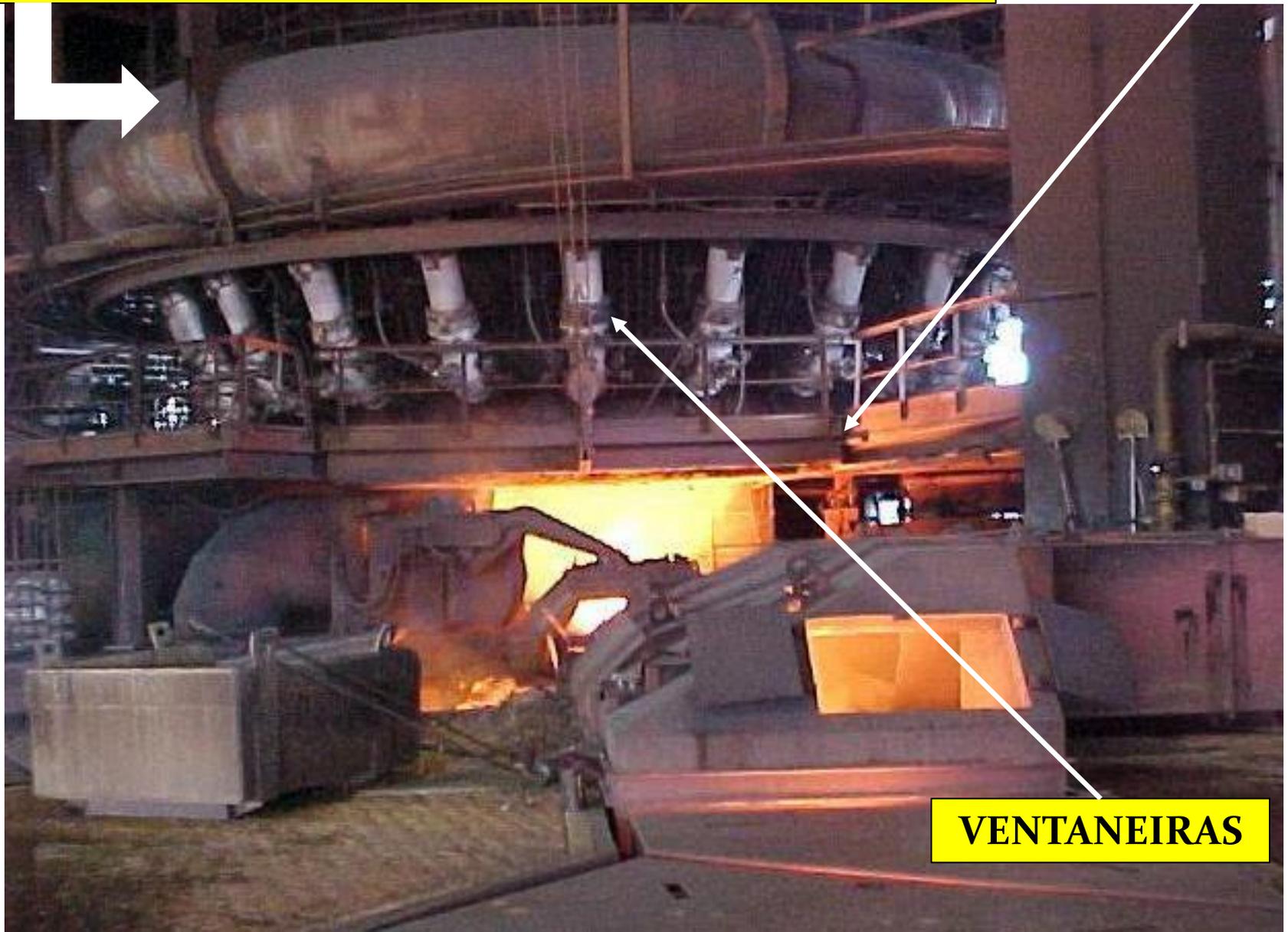
SOLEIRA DO ALTO-FORNO



SOLEIRA DO ALTO-FORNO

ANEL DE VENTO – AR ORIUNDO DOS REGENERADORES

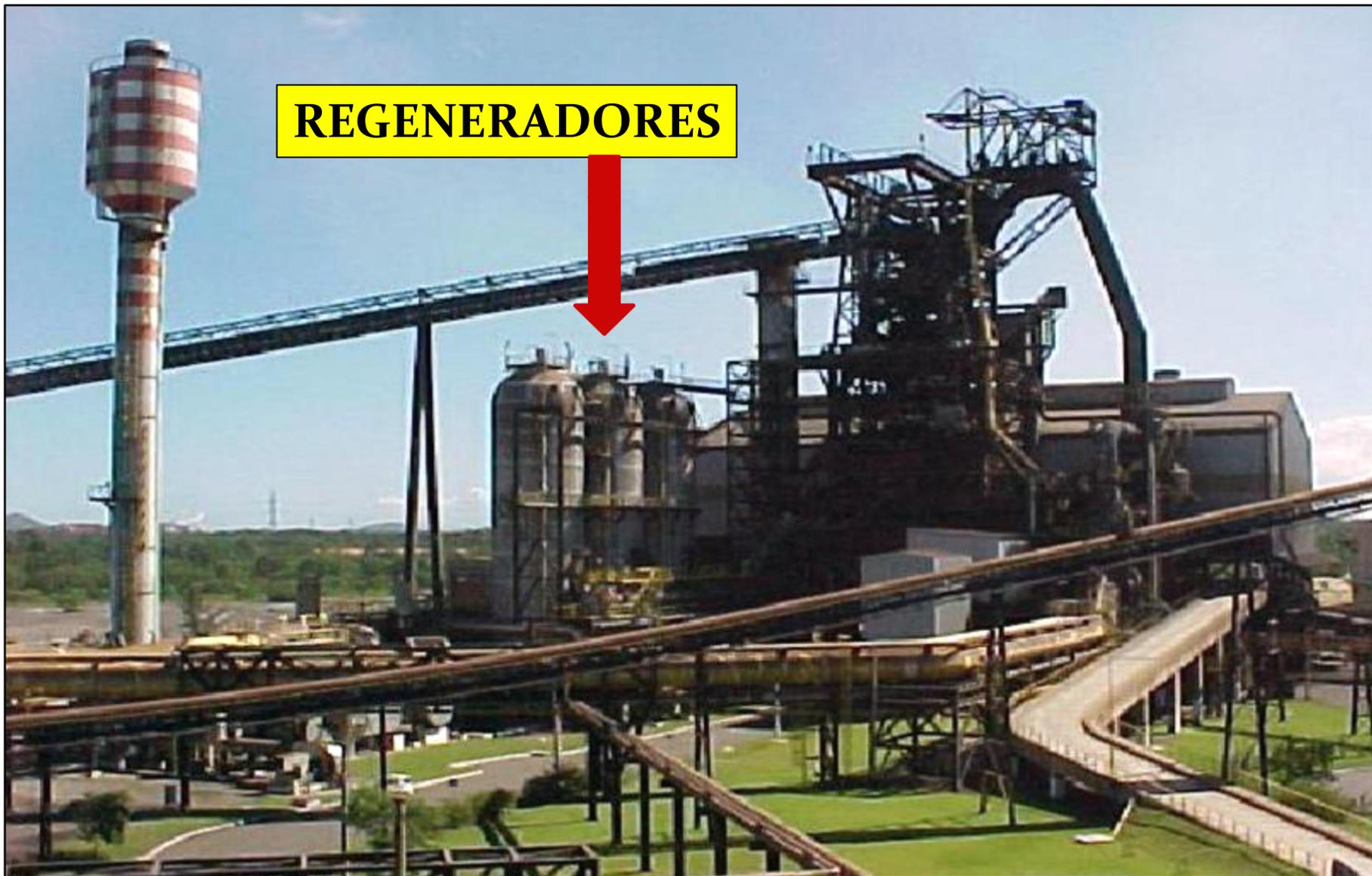
CASA DE CORRIDAS



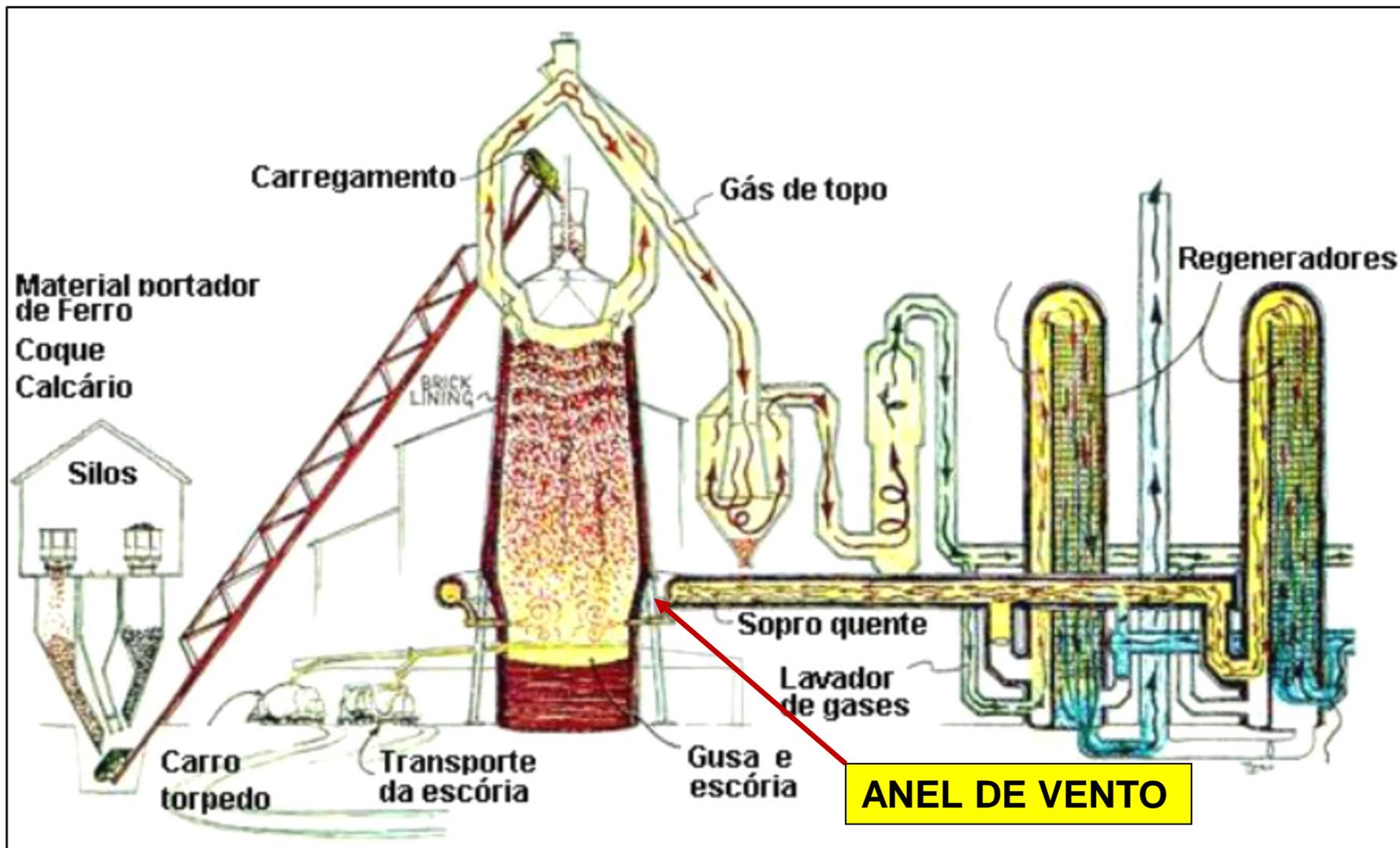
VENTANEIRAS

ALTO-FORNO

REGENERADORES



FUNÇÃO DOS REGENERADORES



COMPOSIÇÃO QUÍMICA DO FERRO GUSA:

CARBONO: 3,5 - 4,5%

SILÍCIO: 0,3 - 2,0%

ENXÔFRE: 0,01 - 0,1%

FÓSFORO: 0,05 - 2 %

MANGANÊS: 0,5 - 2%



**SAÍDA DO FERRO
GUSA DO ALTO
FORNO PARA O
CARRO TORPEDO.**



CARRO TORPEDO.

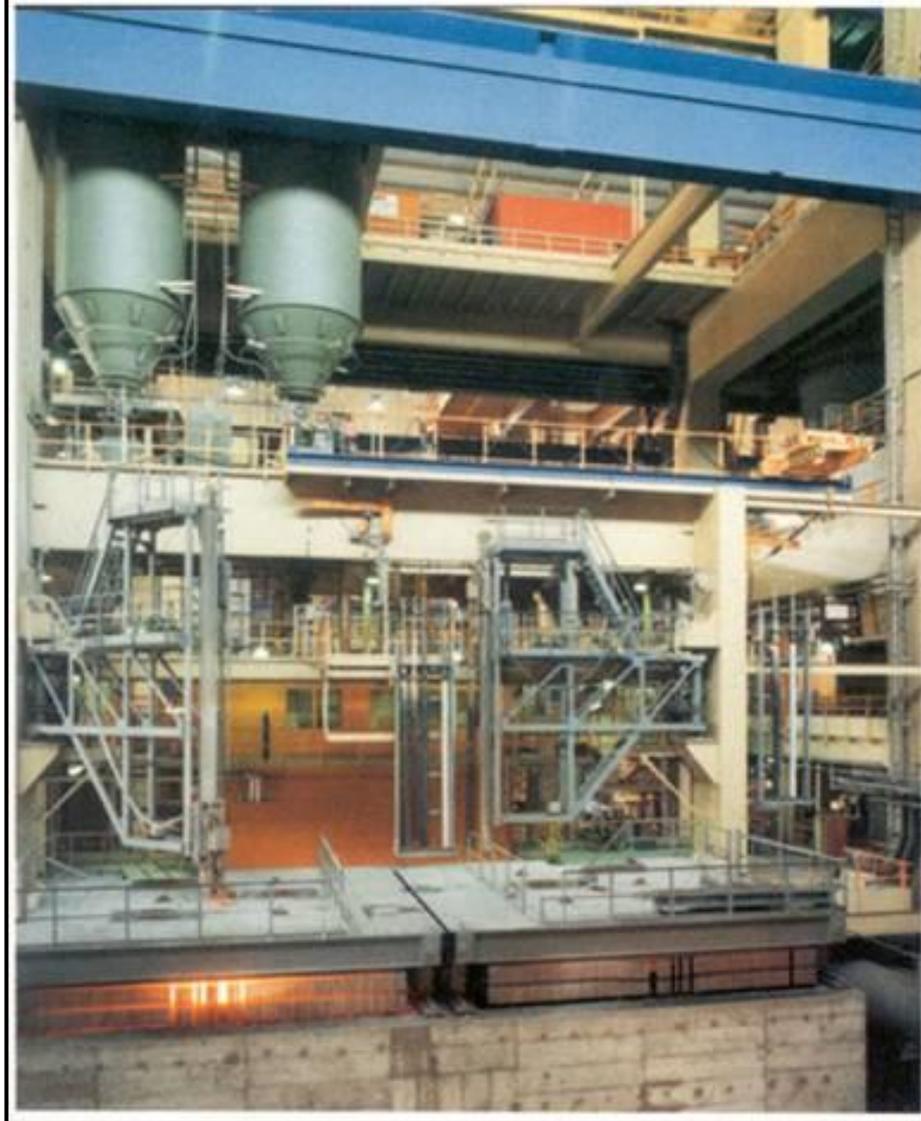


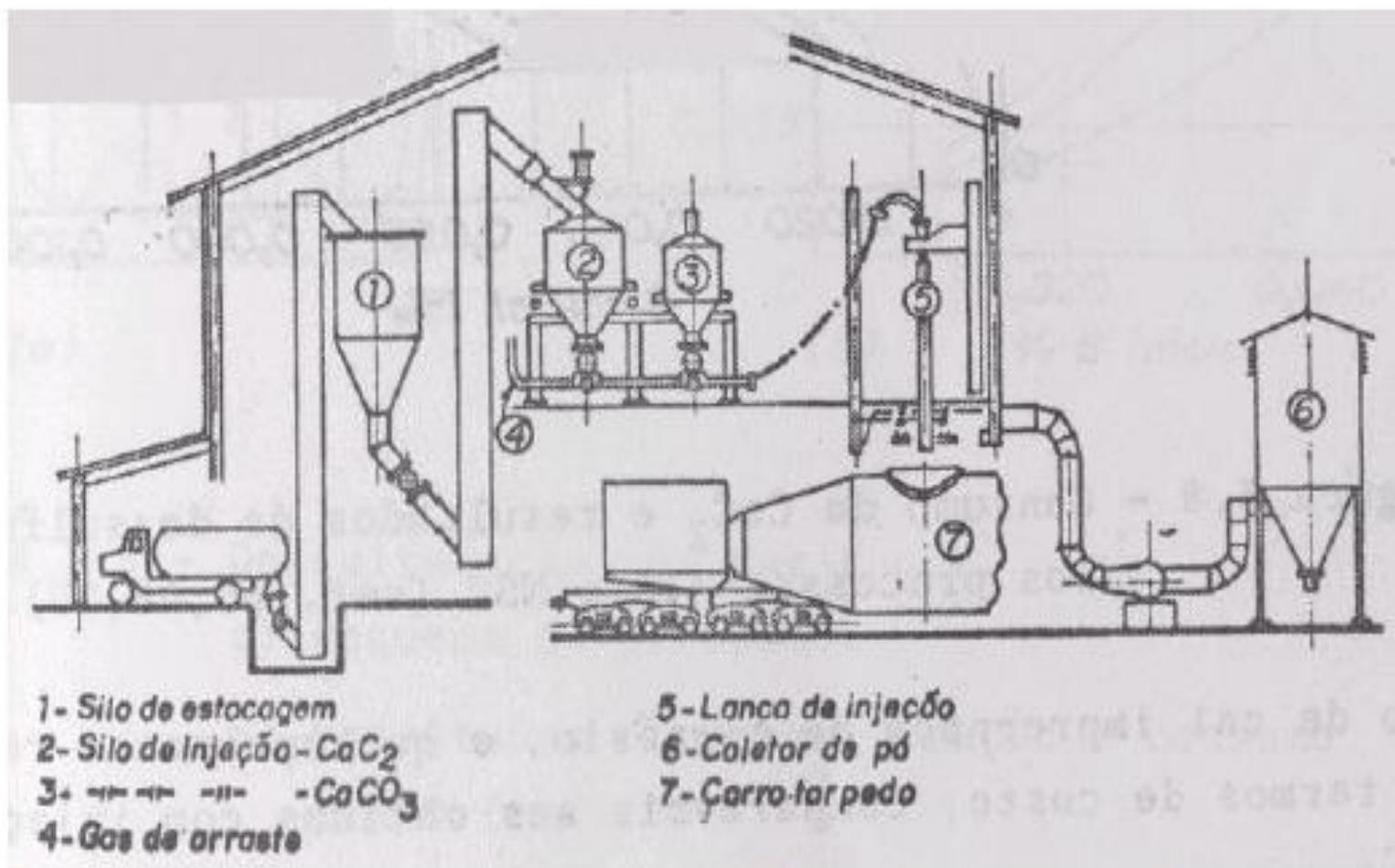
Carro-torpedo



Marcelo F. Moreira

Planta de Dessulfuração





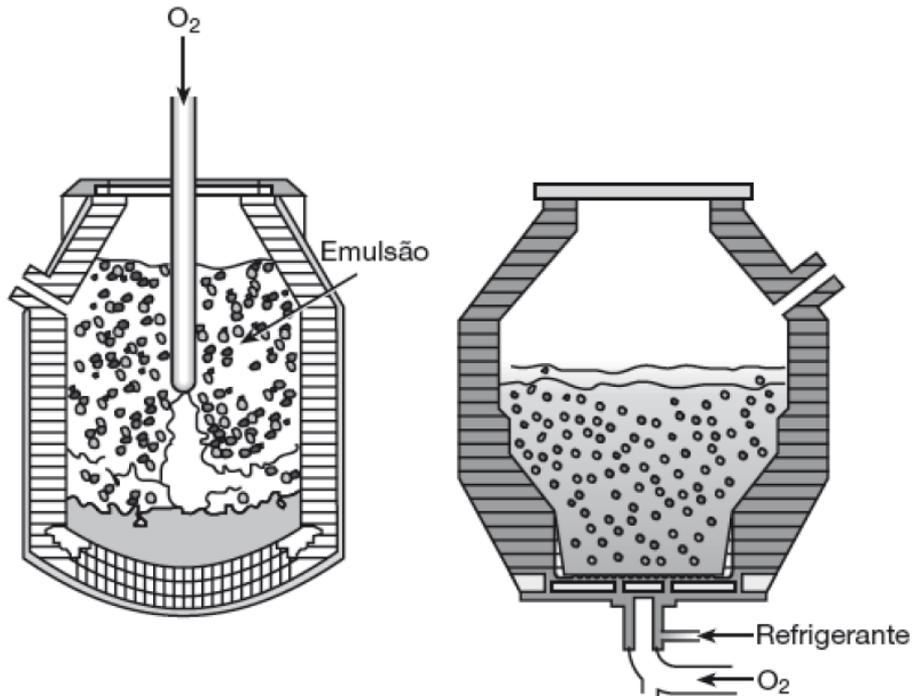
Esquema mostrando uma estação de dessulfuração de gusa no carro torpedo.

CONVERSÃO DO GUSA EM AÇO

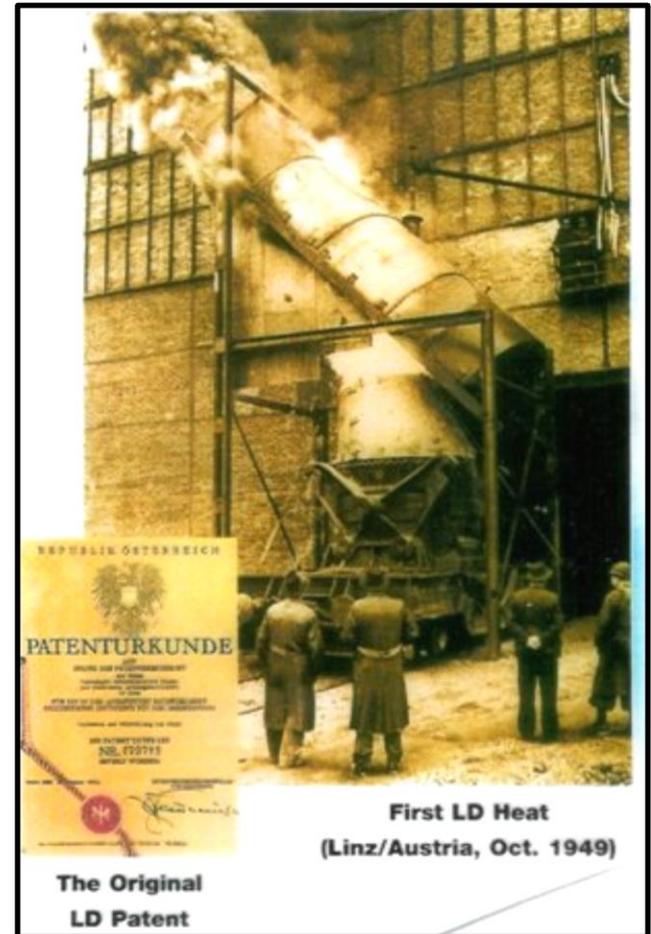
CONVERSOR LD

L : LINZ NA ÁUSTRIA (VOEST ALPINE) – 1952.

D: DONAWITZ NA ÁUSTRIA – 1953.



(COLPAERT)



DESCARREGAMENTO DO GUSA PARA OS CONVERSORES



CONVERSOR LD



ACIARIA ELÉTRICA



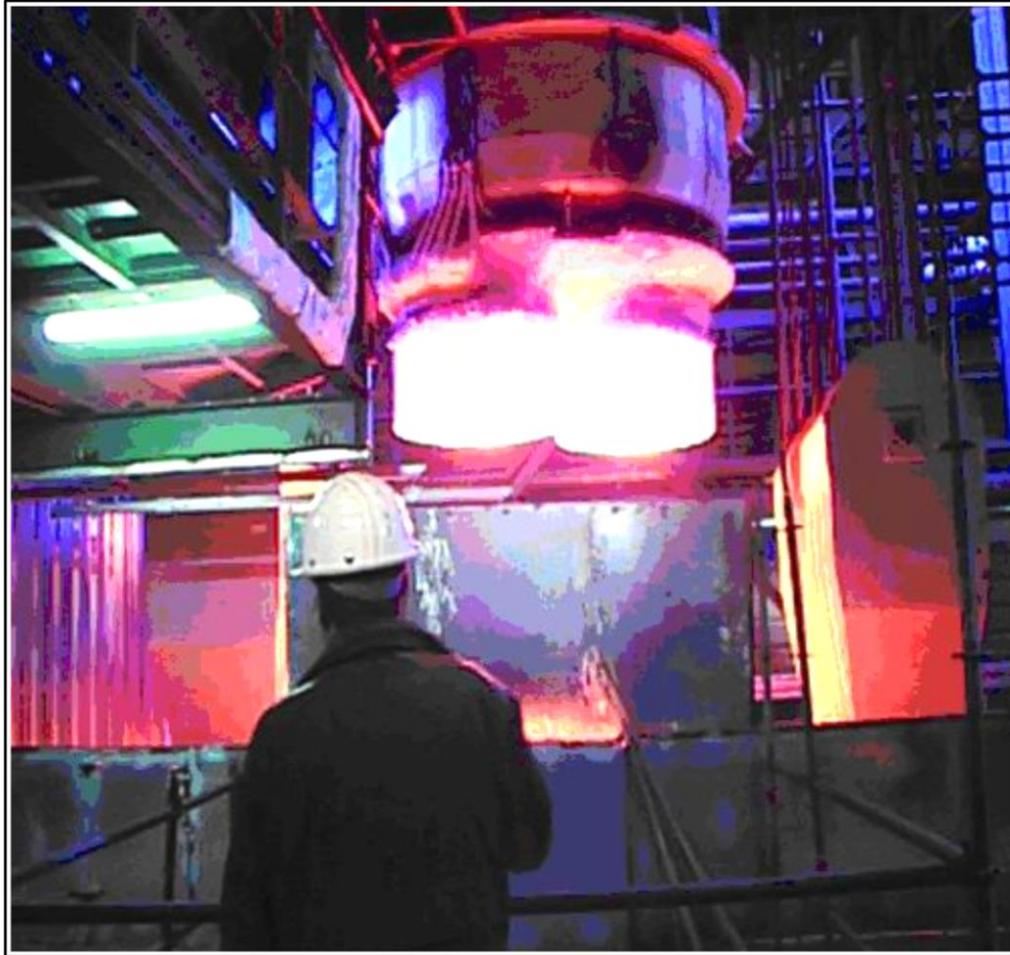
**AÇO SAE 1045 PRODUZIDO POR ACIARIA ELÉTRICA
RESPONDE DIFERENTE AO TRATAMENTO DE TÊMPERA
E REVENIMENTO.**



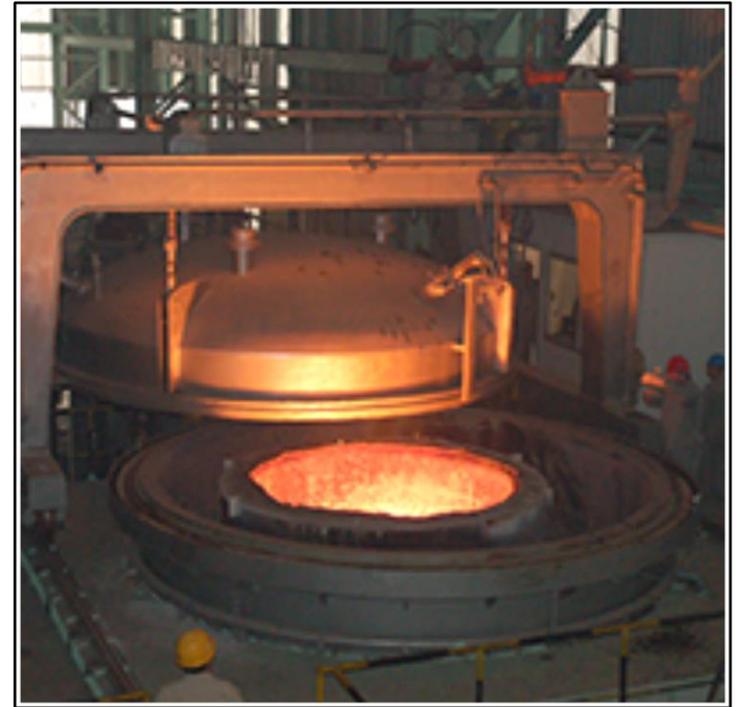
FORNO - PANELA



DESGASEIFICAÇÃO



Principal objetivo é eliminar os gases dissolvidos no aço líquido, especialmente o **hidrogênio**



(www.manutencaoesuprimentos.com.br)

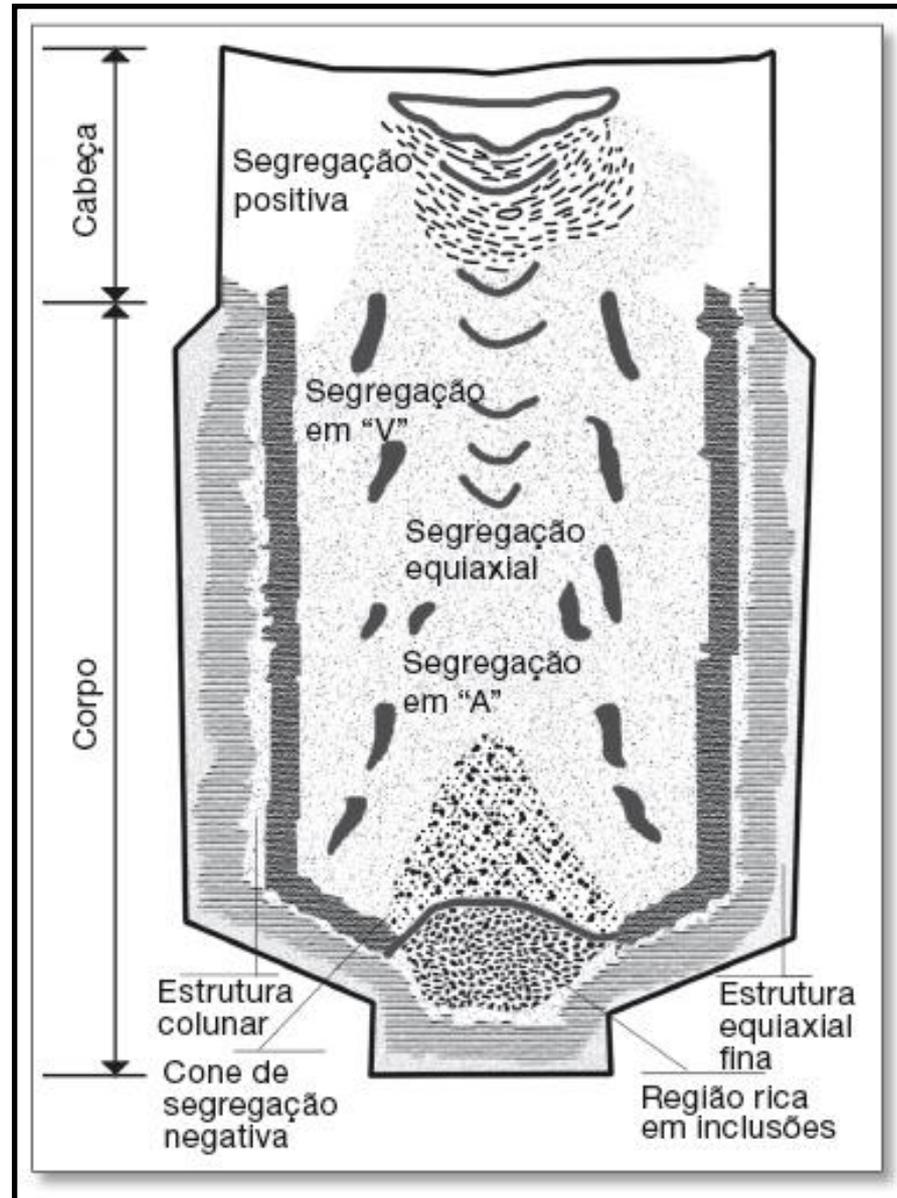
LINGOTAMENTO CONVENCIONAL



LINGOTAMENTO CONVENCIONAL

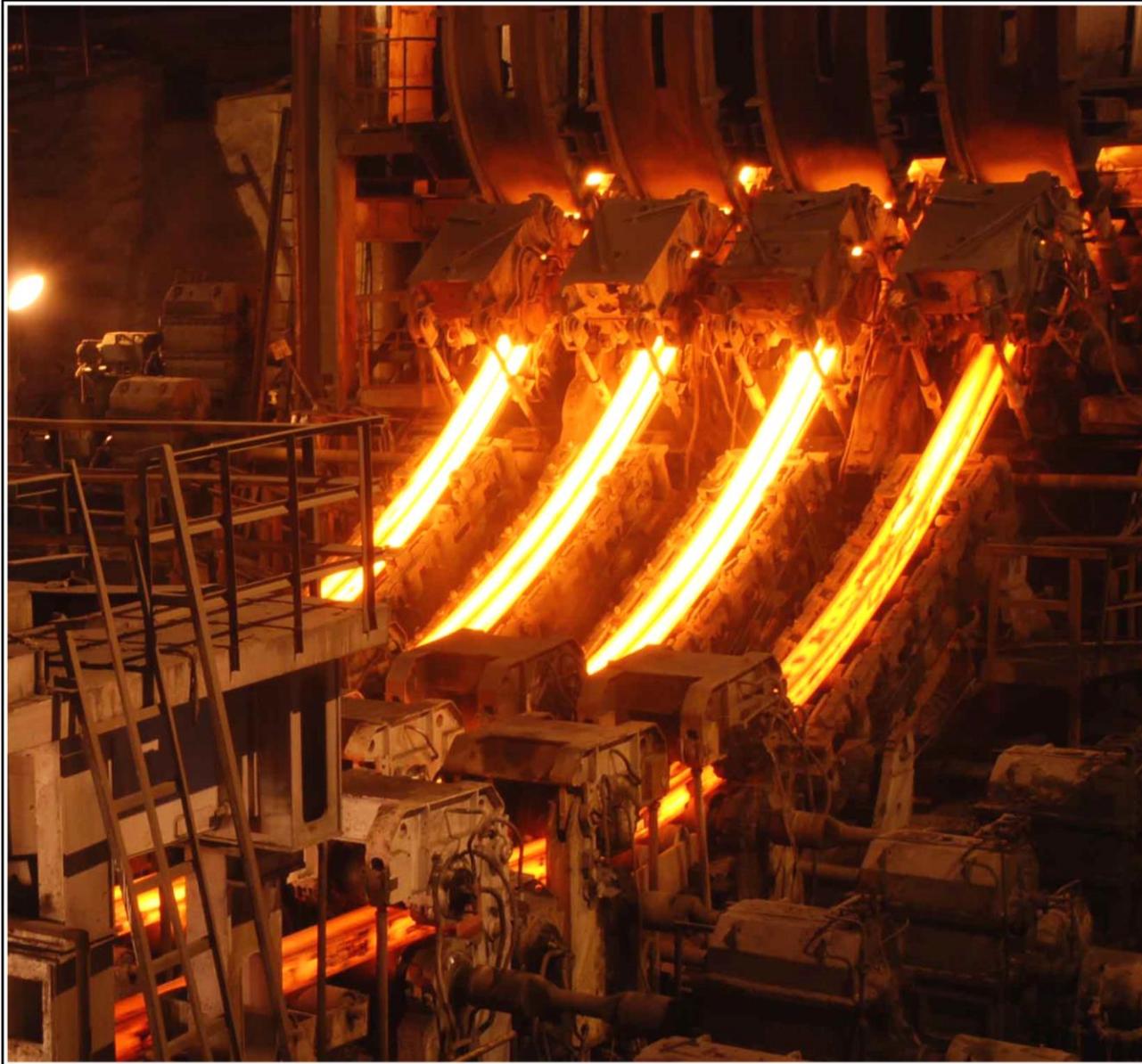


SOLIDIFICAÇÃO: LINGOTE CONVENCIONAL



(Colpaert)

LINGOTAMENTO CONTÍNUO



SOLIDIFICAÇÃO: TARUGO DE LING. CONTÍNUO

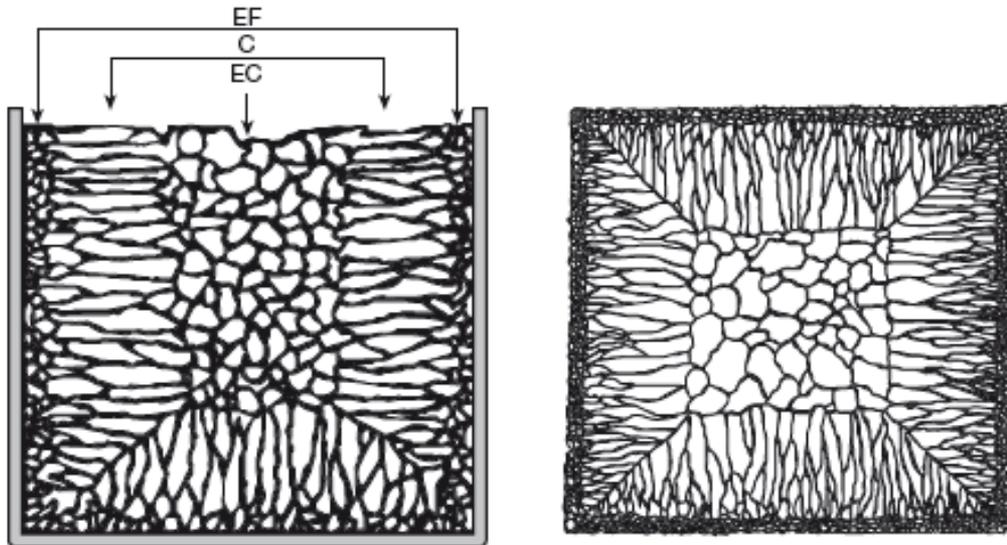
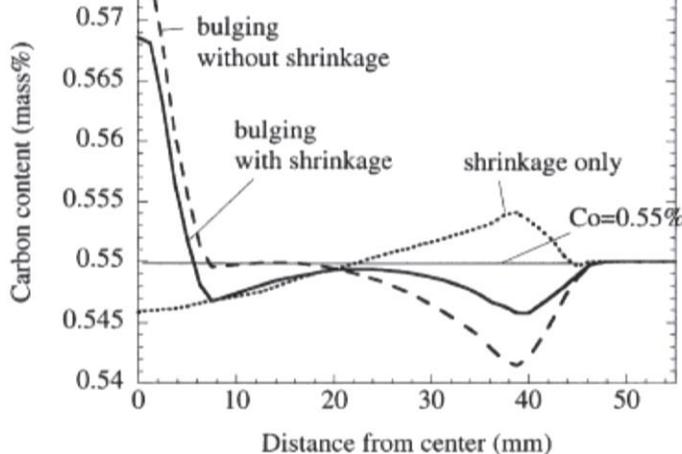


Figura 8.49

Diferentes estruturas em um lingote: Zona Equiaxial Fina (EF), Zona Colunar (C) e Zona Equiaxial Central (EC). A extensão de cada zona depende do material solidificado e das condições de solidificação. À esquerda, corte longitudinal (parcial) e à direita, corte transversal. As mesmas estruturas ocorrem em produtos de lingotamento contínuo. [5]

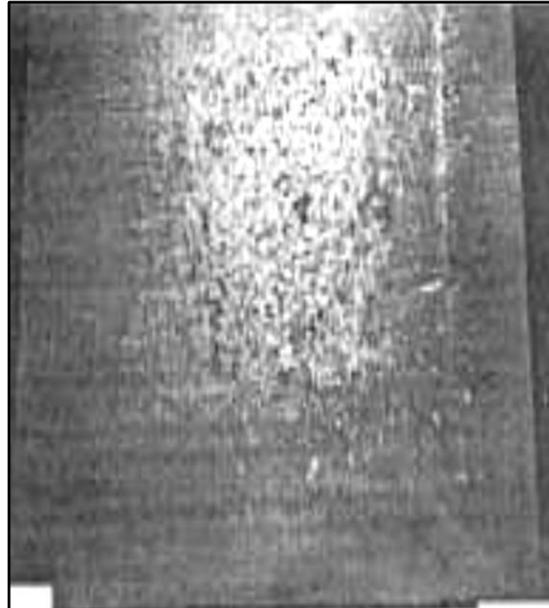
(Colpaert)

Segregação inversa

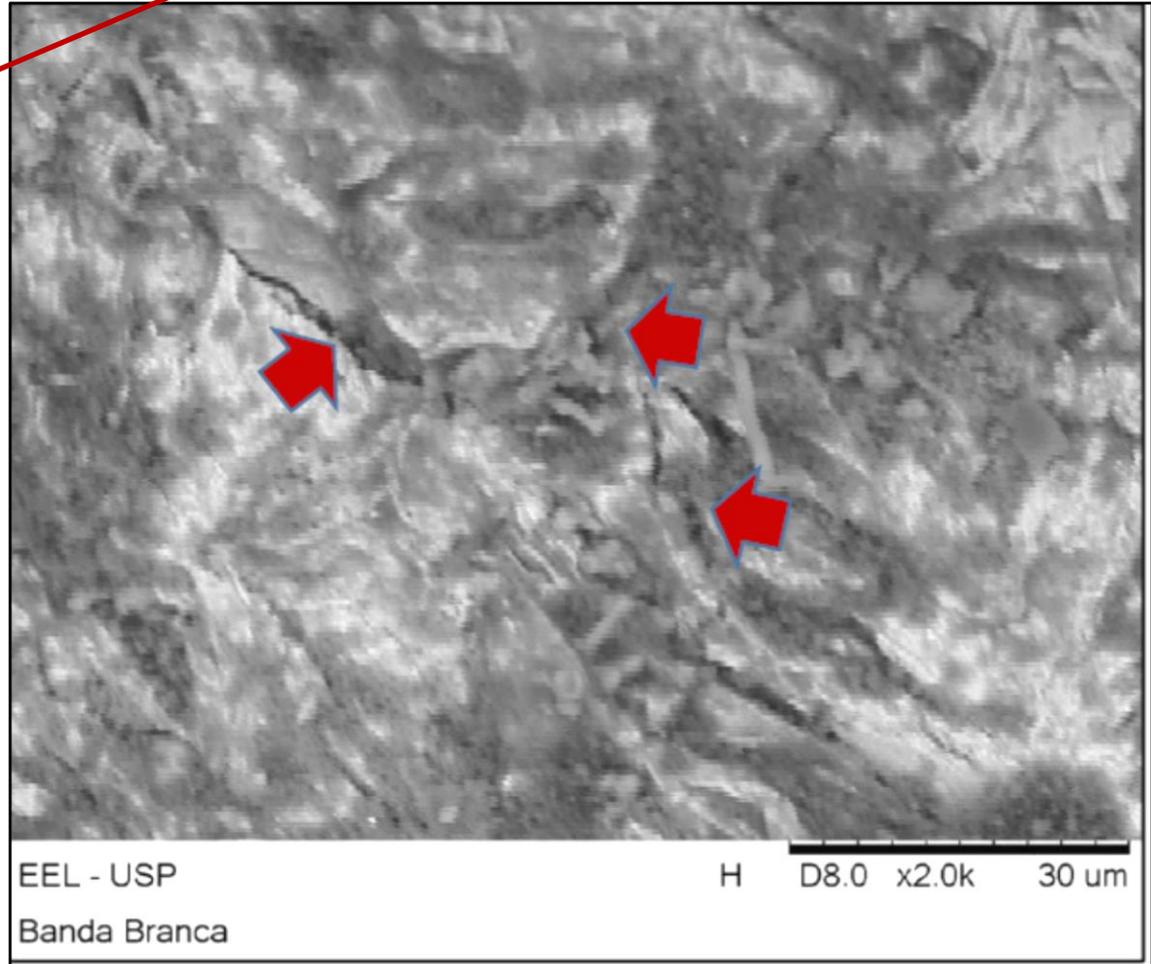
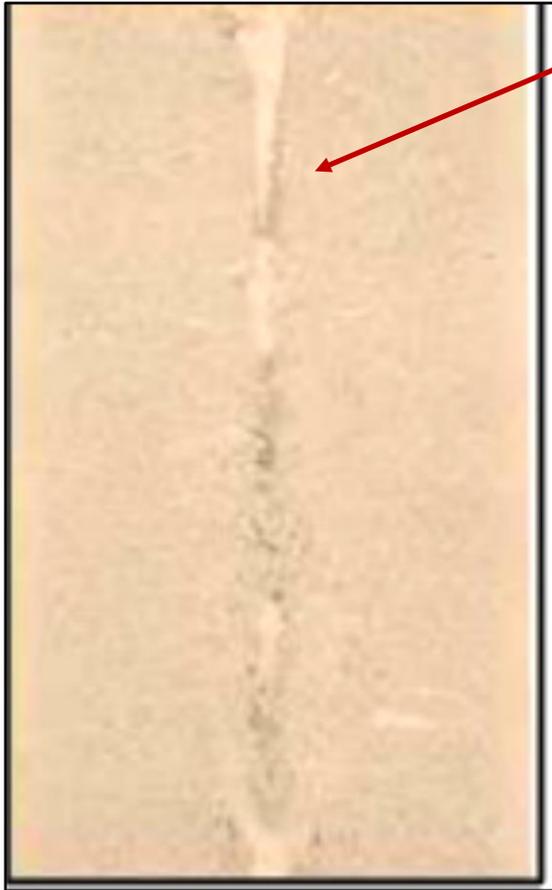


(b)

Banda Branca



Banda Branca



Fratura intergranular dentro da Banda Branca

AÇO DE ALTO-FORNO X AÇO DE ACIARIA ELÉTRICA

AÇO DE ALTO-FORNO:

- **Sem** elementos **residuais** (Cr, Ni, Mo,);
- Resultado do tratamento térmico de **têmpera: dureza** mais **baixa e não uniforme** ao longo de uma barra;

AÇO DE ACIARIA ELÉTRICA:

- **Presença** de elementos **residuais (sucata)**;
- **Favorece** propriedades após o tratamento térmico de **têmpera: maior dureza e maior uniformidade.**

AÇO DESGASEIFICADO X NÃO DESGASEIFICADO

AÇO NÃO DESGASEIFICADO:

- **Possível presença de gases como hidrogênio, bolhas;**
- **Mais frágil: no ensaio de tração, menor alongamento, no ensaio de impacto: menor energia absorvida.**

**AÇO TOTALMENTE
ACALMADO**

X

AÇO SEMI-ACALMADO

X

AÇO EFFERVESCENTE

FRAGILIDADE



LINGOTAMENTO CONTÍNUO

X

LINGOTAMENTO CONVENCIONAL

VEIOS –LC-BRASIL:

- QD 155,00mm e 185,00mm;
- QD150,00 e 240,00mm.

REDUÇÃO DE ÁREA MÍNIMA P/ INDÚSTRIA DE AUTOPEÇAS: 8:1.

SUPONDO QUE EU VOU LAMINAR UM RED. 76,20mm (3”) E USINAR UM EIXO COM 65mm DE DIÂMETRO, PARTINDO DE UM TARUGO DE LC QD 150mm:

$$**RA = \frac{AI}{AF} = \frac{22500}{13273} = 1,7:1**$$

FIM