

Metalurgia do ferro

Produção de ferro gusa

Siderurgia = metalurgia do ferro

Sistema Fe-O-C

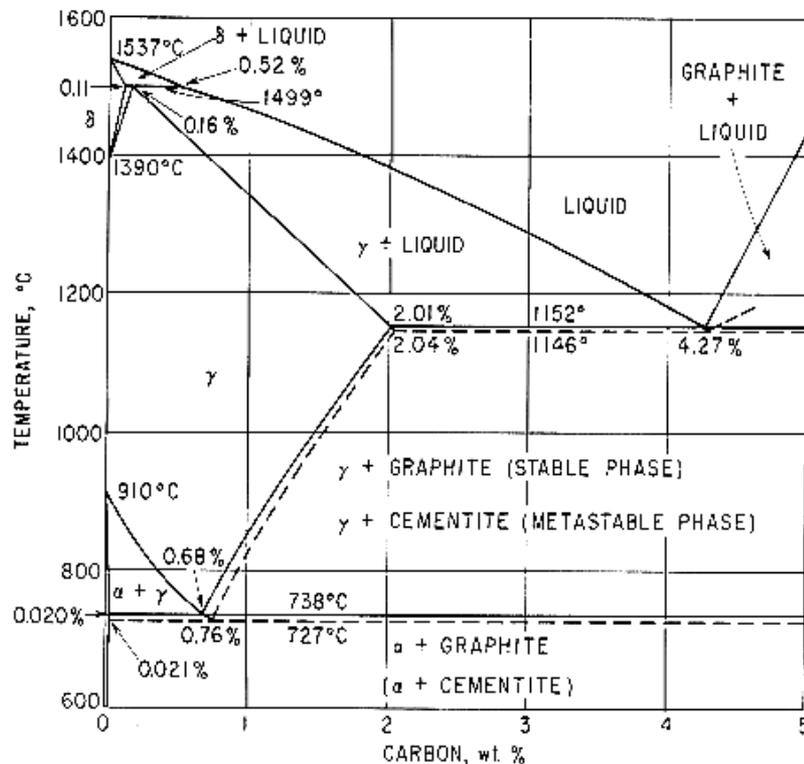
- Minério de ferro: Fe + Oxigenio
- Redução: Minério + carbono \longrightarrow Fe (C) + CO/CO₂
- Refino: Fe (C) + Oxigênio \longrightarrow Fe (O) + CO/CO₂
- Desoxidação: Fe (O) + desoxidante (Al, Si, C) \longrightarrow aço acalmado

Energia para Siderurgia

- Principal fonte energética: Carbono
- Carvão mineral e carvão vegetal
- $C + O_2 \gg CO_2 + \text{energia}$
- Grande geração de gases estufa
- Consumo energético no Brasil : 9,6 % de toda energia produzida no país

Ferro e Aço

Ferro: comportamento variado em função de composição química, teor de carbono, e histórico de tratamento termo-mecânico.

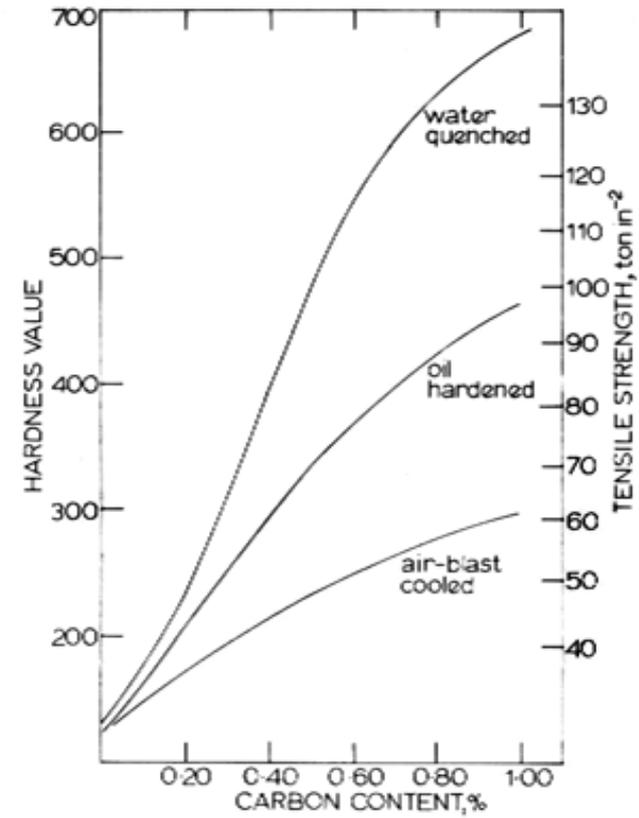


Aço: ligas ferro-carbono contendo menos de 2% de Carbono, podendo conter outros elementos de liga

Ferro fundido: ligas ferro-carbono contendo mais de 2 % de carbono, contendo ainda silício e outros elementos

Ferro e Aço

- ➔ Dependendo da composição, pode ser temperado, adquirindo propriedades únicas
- ➔ O aço original dos antigos é o ferro temperado
- ➔ A sua obtenção dependia da ocorrência de inúmeros fenômenos sobre os quais os antigos não tinham conhecimento suficiente para dominar

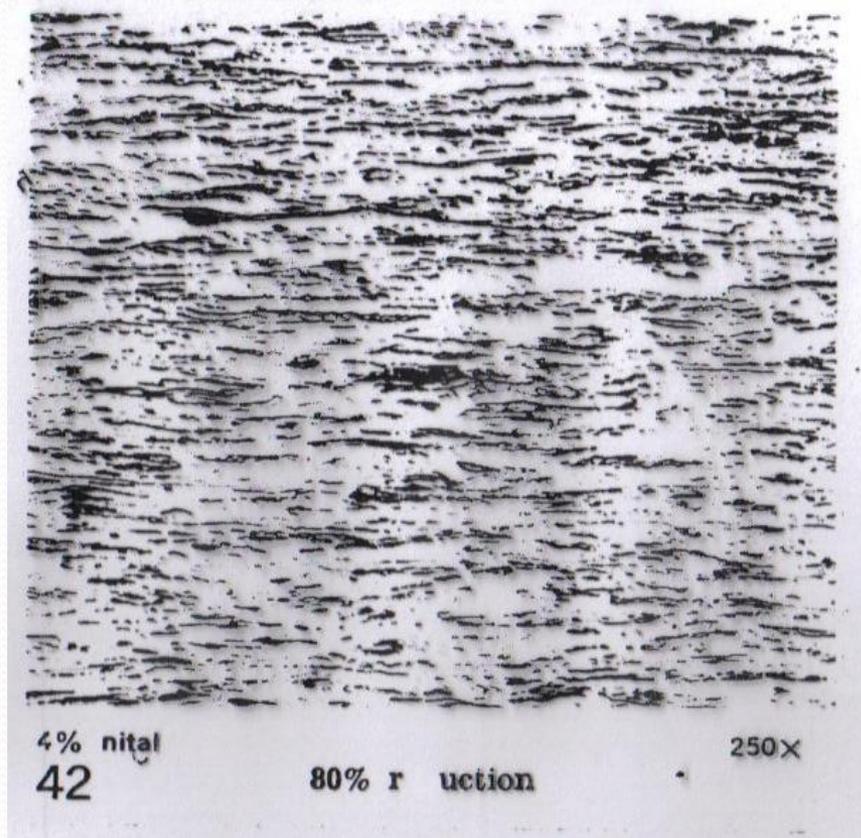
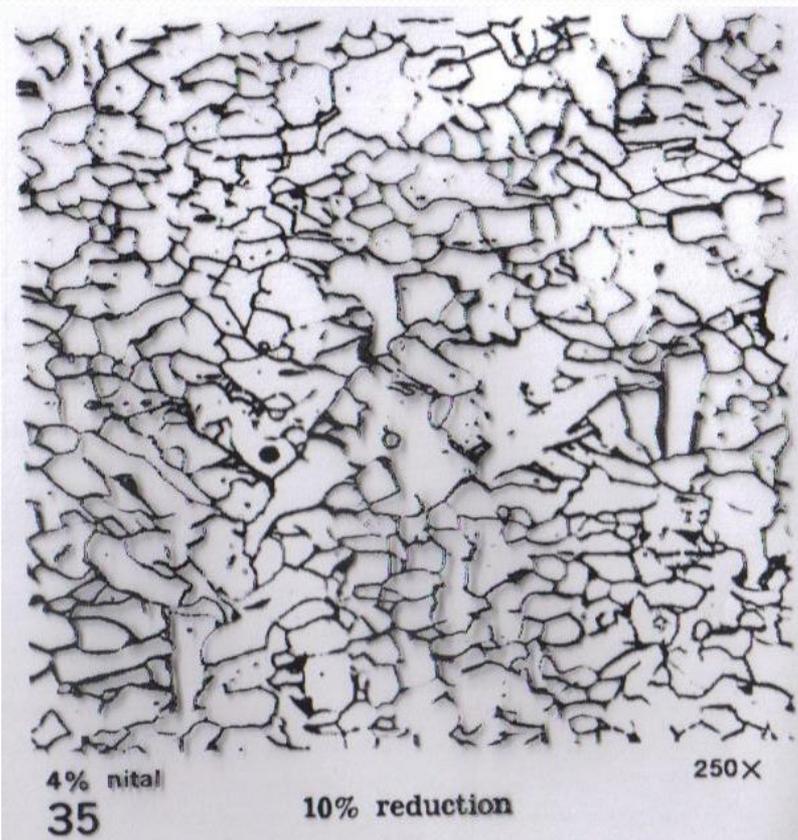


PROPRIEDADES DOS AÇOS

DEPENDEM DE:

- **COMPOSIÇÃO QUÍMICA**
- **MICROESTRUTURA**

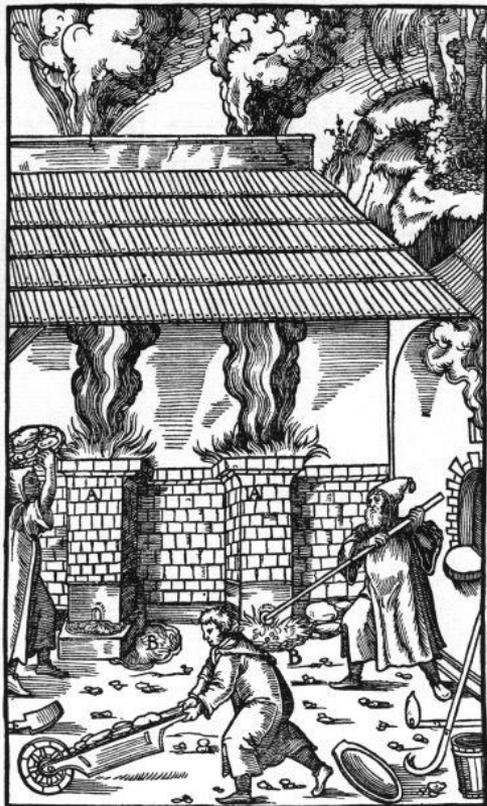
Alterando temperatura; alterando velocidade de resfriamento; deformando e tratando termicamente



Metalurgia Antiga

duas etapas da metalurgia antiga

- ➔ a extração do ferro ocorria na maioria das vezes no estado sólido
- ➔ conformação nas forjas com separação da escória, carburação/ descarburação

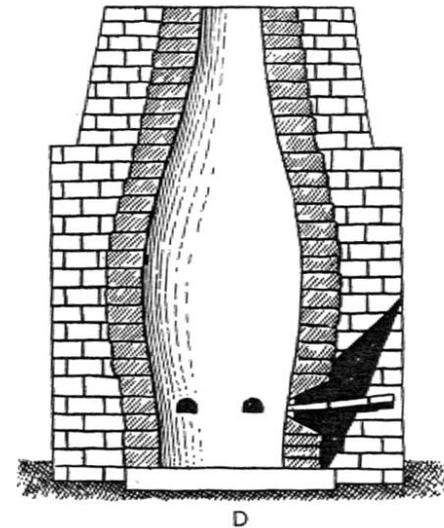
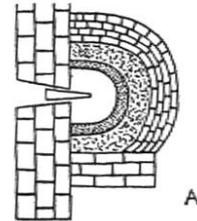
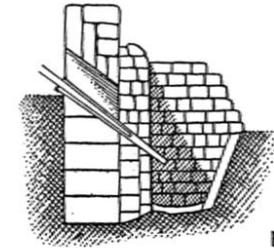
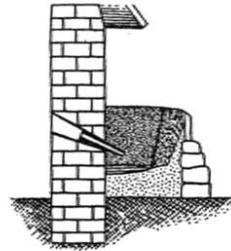
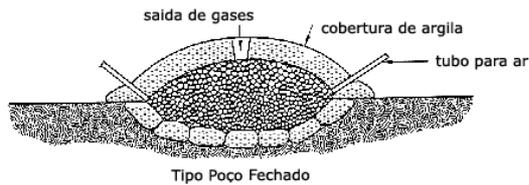
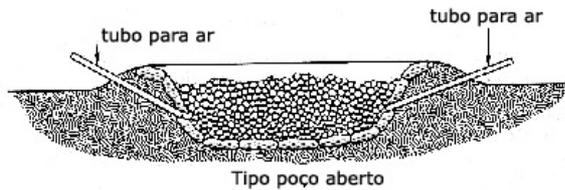


A—FURNACES. B—FOREHEARTHS.



A—FORGE. B—BELLOWS. C—TONGS. D—HAMMER. E—COLD STREAM.

Evolução dos processos siderúrgicos



A: Forja Corsa; B: Forja Catalã;

C: Forno Osmund; D: Stucköven

Consumo de carvão

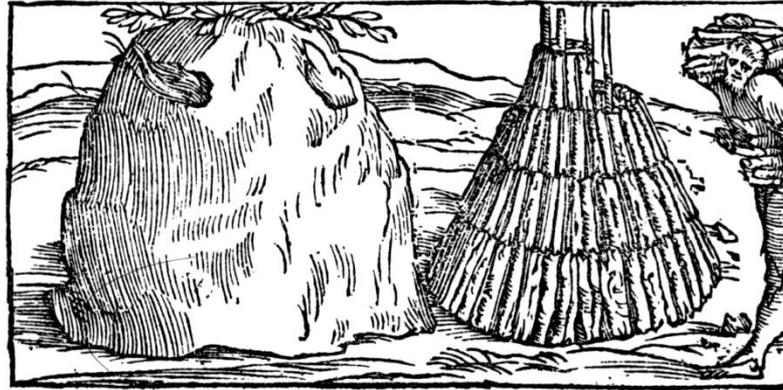


Figure 23. The construction of charcoal piles.

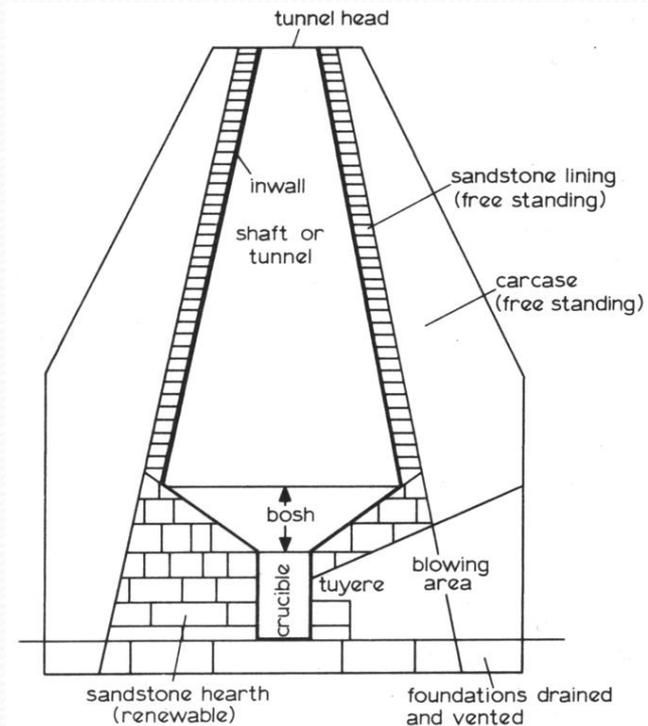
- ➔ forno poço antigo: produzia botões de 60 kg com *fuel rate* assustador de 75000 kg C/ton Fe
- ➔ fornos medievais
- ➔ forja Corsa: botões de 125 kg, *fuel rate*: 22800 kg Carvão/ton Fe
- ➔ forja Catalã: botões de 150 kg, *fuel rate*: 11500 kg Carvão/ton Fe
- ➔ Stückoven: botões de 300 a 900 kg, *fuel rate*: 6000kg C/ton Fe
- ➔ carvão obtido por carbonização da madeira em pilhas em fornos de meda,
- ➔ as quantidades envolvidas já prenunciavam os sérios problemas de abastecimento que diversas regiões da Europa iriam enfrentar

Alto Forno

- ➔ desenvolvimento motivado mais pela necessidade do produto, ferro fundido, mais adequado para fabricação de canhões, do que por questões técnicas
- ➔ primeiro alto forno europeu: Brescia, em 1450.

fim da Idade Média:

- ➔ comércio de ferro e aço plenamente difundido
- ➔ diferentes tecnologias coexistiam, tanto para a extração do ferro como para a obtenção de aço



Novo Aço

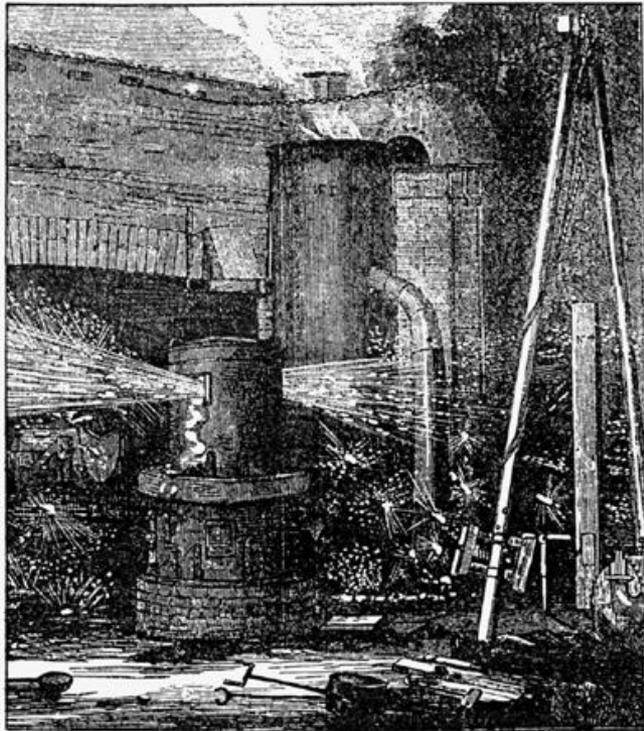


FIGURE 15—Bessemer's fixed converter. (Centre rear) Cupola furnace on the usual principle; (foreground) the Bessemer furnace; (extreme left) vessel in which the crude iron is received from the smelting furnace and then passed into the refining chamber.

- ➔ William Kelly (EUA): carbono do gusa pode ser “queimado” com ar, aumentando a temperatura e diminuindo o teor de carbono até converter-se em aço.
- ➔ Considerado perturbado mentalmente ao propor fazer aço “sem combustível”
- ➔ Simultaneamente Henry Bessemer (Inglaterra) trabalhou na mesma linha e patenteou o processo.
- ➔ Apesar da dificuldade de tratar gusa com teores elevados de fósforo, o processo prosperou e foi adotado por diversos fabricantes

Obtenção de Ferro e Aço

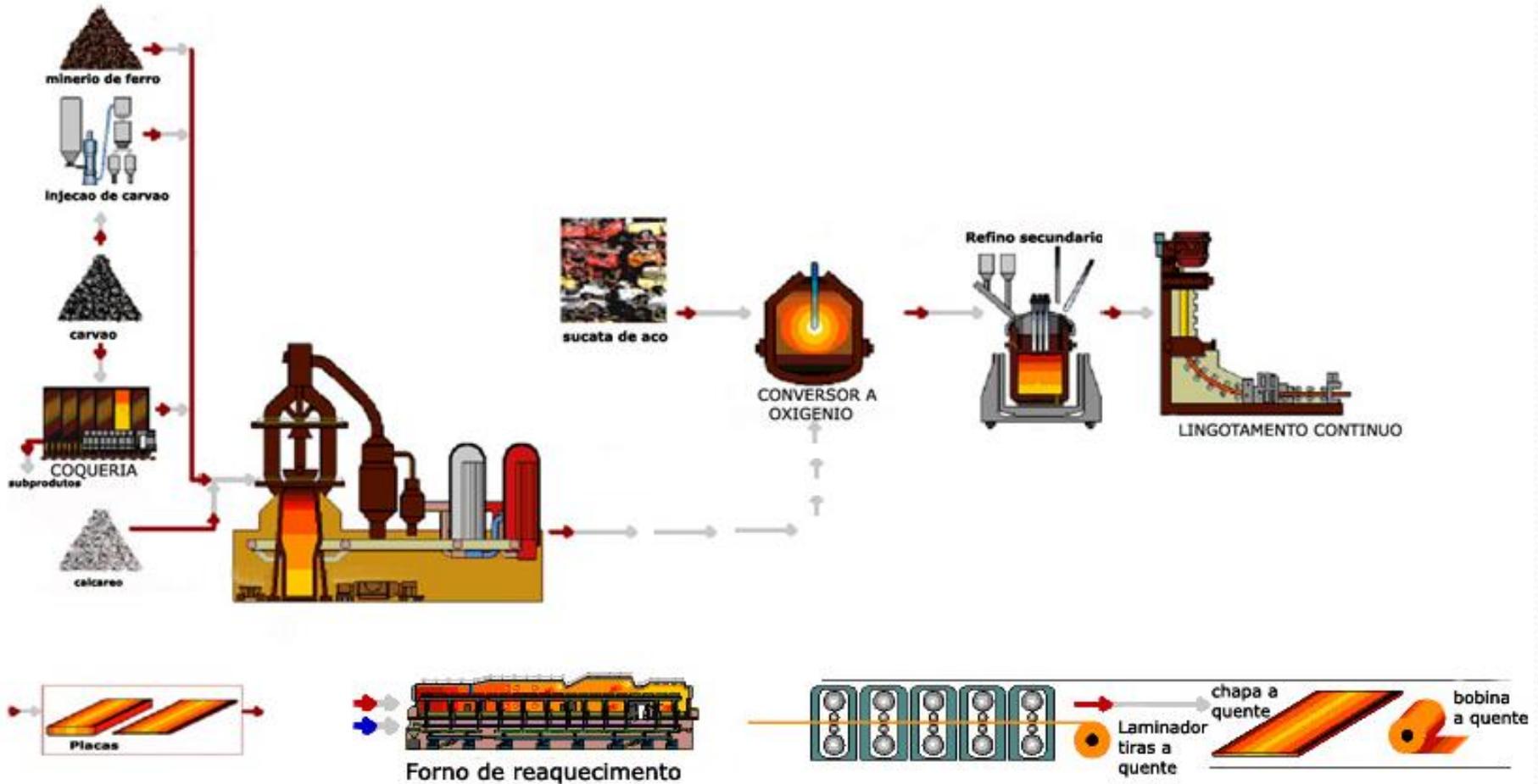
⇒ A partir de minério de ferro:

Usinas integradas: redução do minério de ferro a ferro metálico (ferro gusa), produto intermediário (ironmaking), seguido de obtenção do aço (steelmaking)

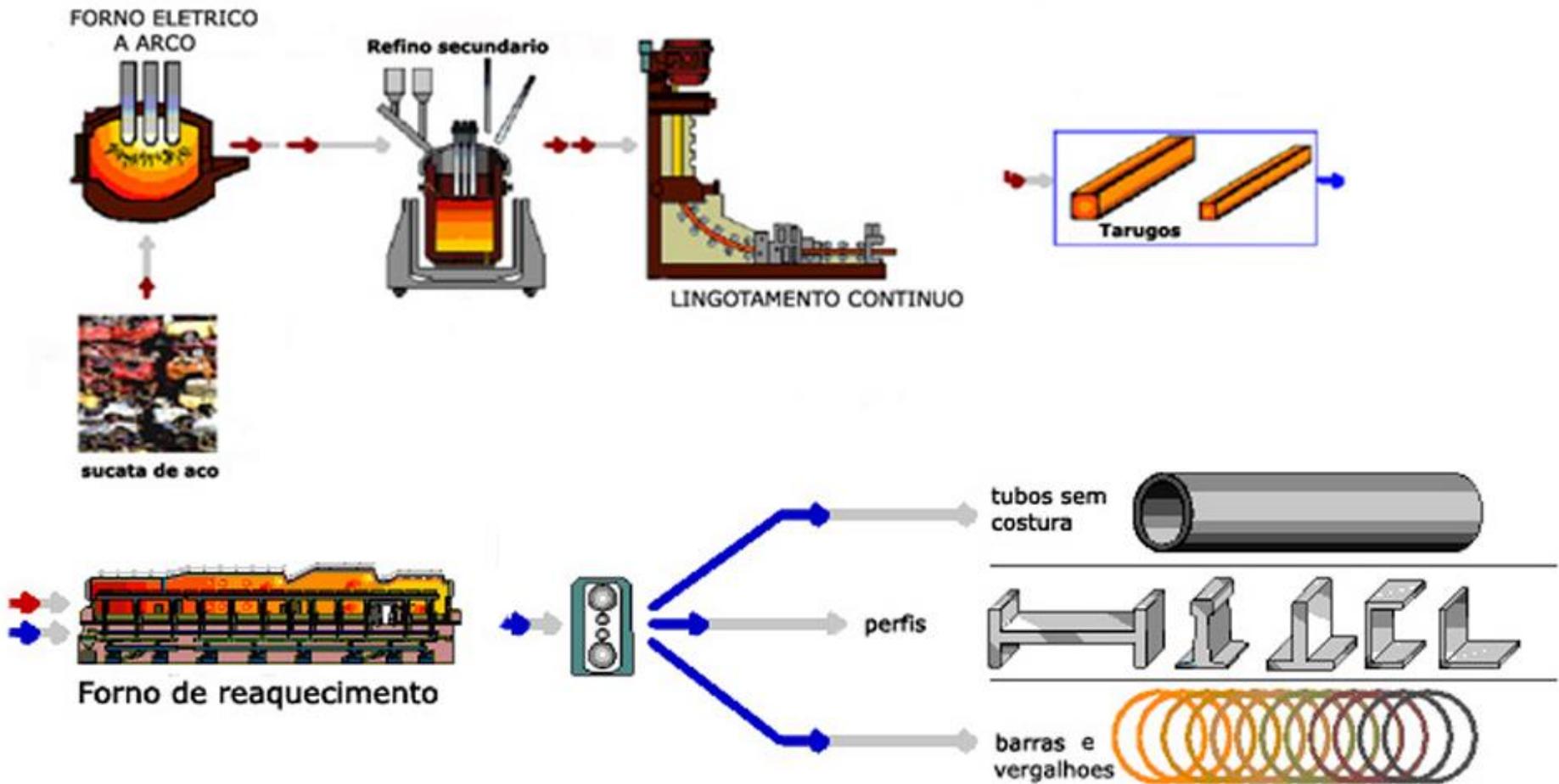
⇒ A partir de sucata de ferro e aço:

Usinas semi integradas (mini mills): fusão de sucata em forno elétrico

Usinas integradas



Usinas semi-integradas



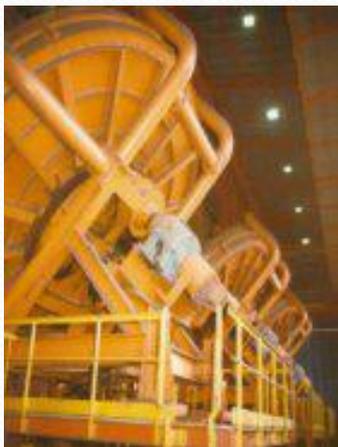
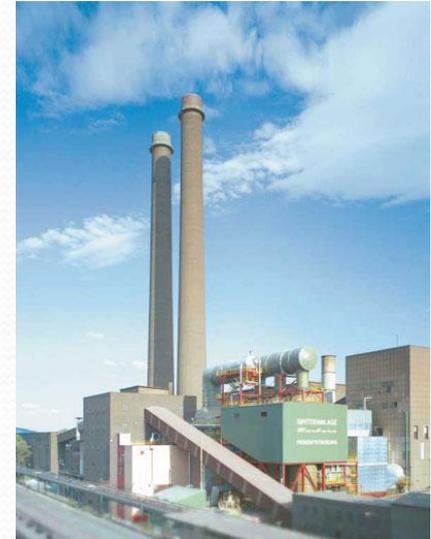
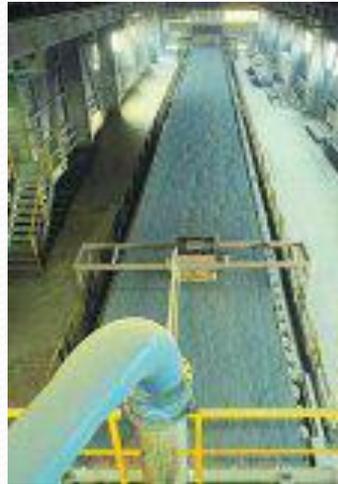
Coqueria

Transforma carvão mineral em coque por destilação
(aquecimento a 1000°C na ausência de ar)



Preparação da carga metálica

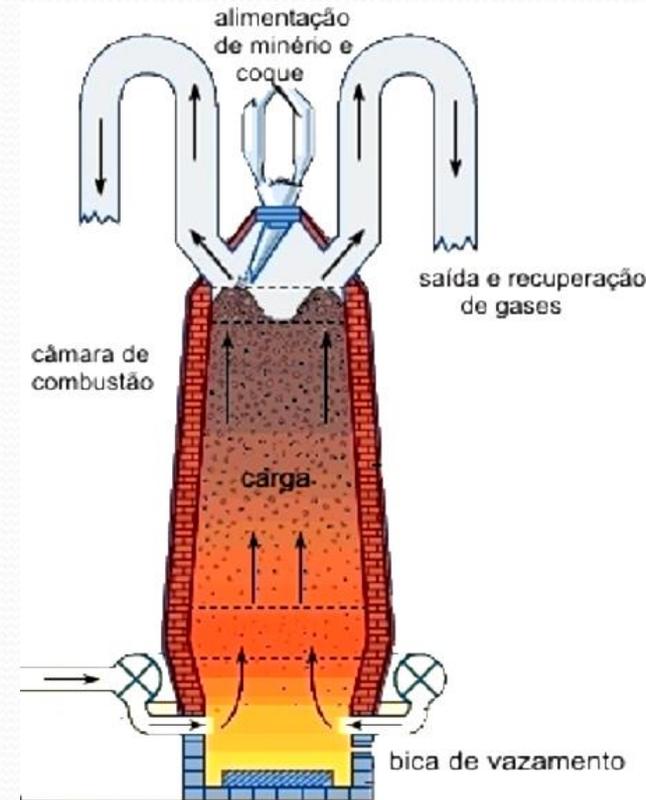
Sinterização: prepara o minério de ferro na forma de **sinter**, nas usinas siderúrgicas



Pelotização: produz pelotas a partir de minério de ferro fino, nas empresas mineradoras

O ALTO FORNO

- minério de ferro e coque são carregados pelo topo.
- a carga desce e é aquecida pela corrente de gases gerados na reação do ar pré-aquecido injetado com o carbono.
- Na região acima da ventaneira do alto forno, ocorre fusão do ferro e gotejamento de gusa líquido, que cai no interior do cadinho, na parte inferior do forno.
- Dois subprodutos são formados: escória e gás. A escória e o metal se acumulam no cadinho e se separam por diferença de densidade.
- O gás que sai pelo topo do alto forno é composto de monóxido de carbono (CO), dióxido de carbono (CO₂) e de nitrogênio (N₂) e após mistura com gases de coqueria é utilizado para pré-aquecer o ar insuflado no alto-forno.



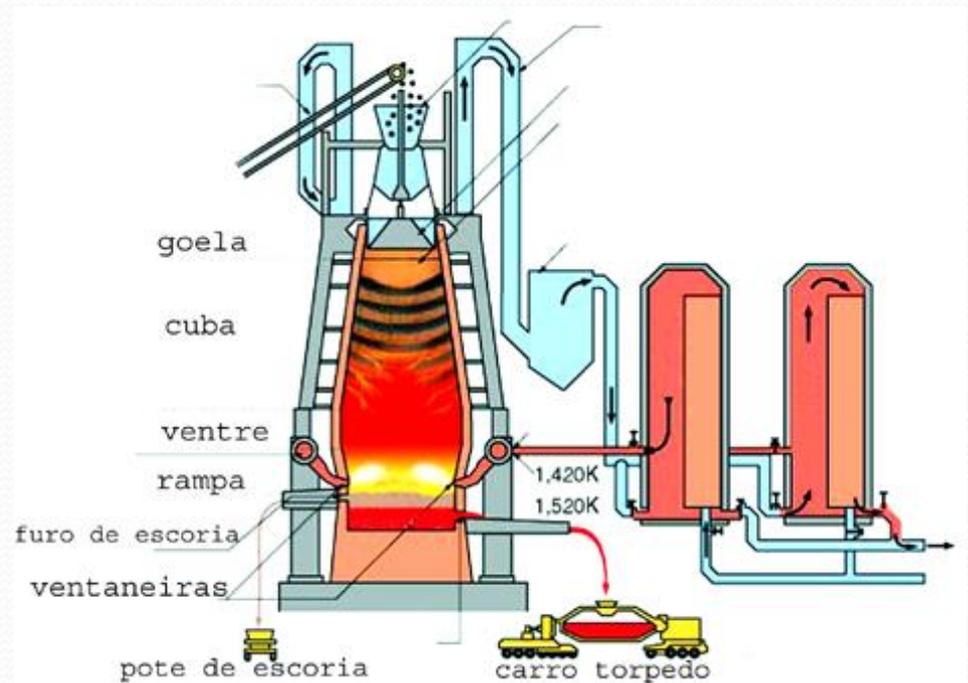
Alto Forno

Alto Forno: diâmetro= 10 a 14 m, altura = 60 a 70 m

Equipamentos Auxiliares:

- sistema de aquecimento do ar - regeneradores
- sistema de sopragem-turbo-soprador
- sistema de coleta e limpeza dos gases
- sistema de carregamento
- sistema de drenagem (casa de corrida)

Produtos: – GUSA (1.500 °C)
- Escória
- GAF



“casa de silos” (1)

silos separados (2) equipados com balanças

carro “skip” (3) ou correia transportadora

tremonha de recebimento no topo do forno (4)

cones (5), responsáveis pela selagem dos gases e pela distribuição circunferencial dos materiais na “goela” do forno.

“uptakes” (6), o gás quente e sujo de pós deixa o forno e flui para cima

“downcommer” (7)

válvulas “bleeders” (8) cuja função é permitir a liberação do gás e proteger o topo no caso de uma súbita elevação de pressão do gás

coletor de pó (9)

“venturi” (10), onde são removidas as partículas mais finas na forma de lama.

desumidificador (11) cuja função é reduzir o teor de umidade do gás.

regeneradores (12)

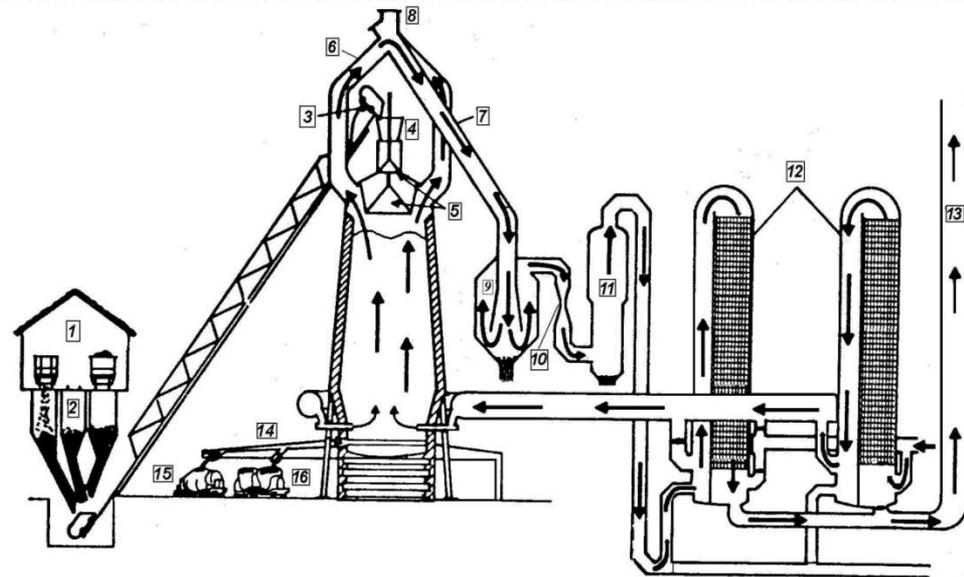
chaminé (13).

o gusa e a escória são separados por diferença de densidade no canal principal (14)

carros torpedos (15)

potes de escória (16)

Esquema simplificado do alto forno, indicando os principais equipamentos



Produtos do Alto-Forno

Ferro gusa :

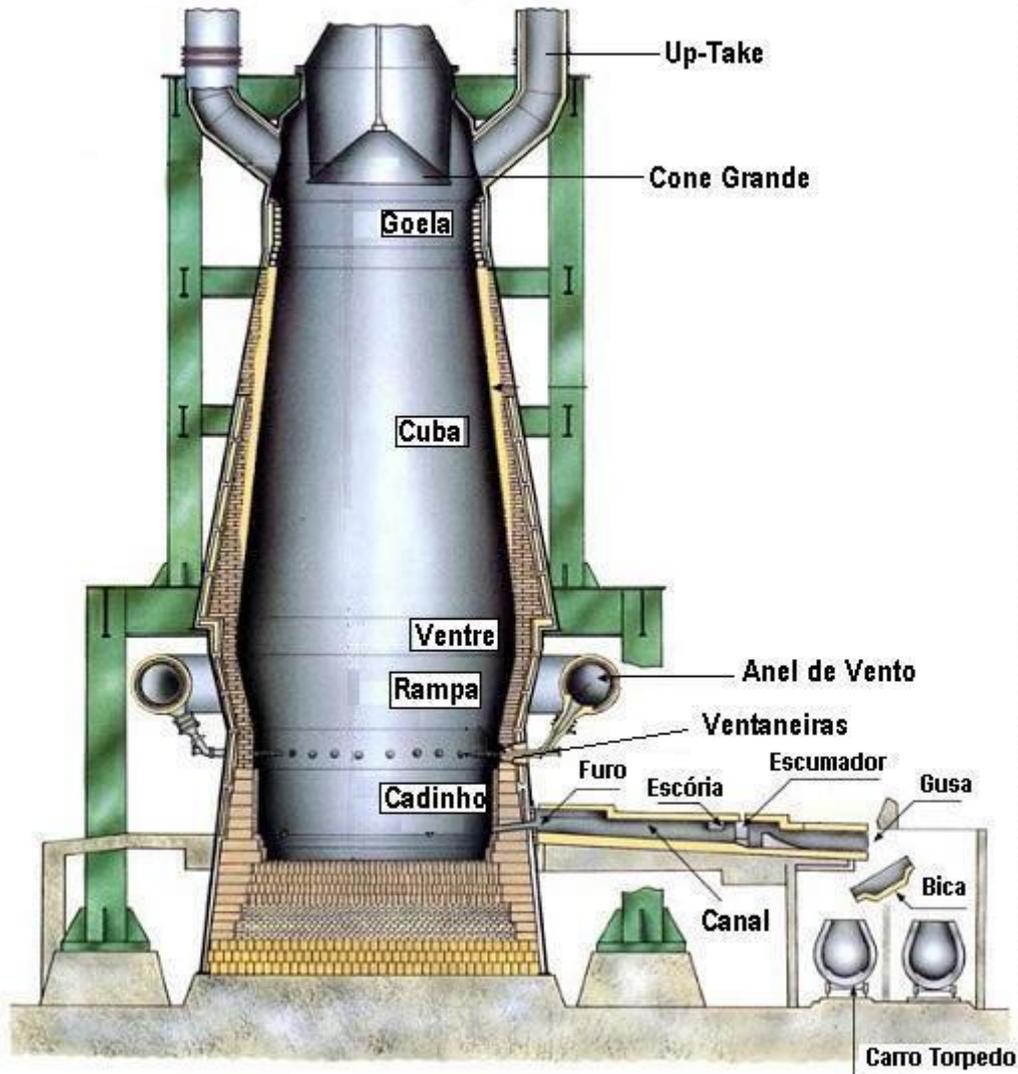
- 4,5 % Carbono
- 0,4% Silício
- 0,3% Manganes
- 0,1 % Fósforo
- 0,03% Enxôfre

Temperatura: 1400-1500 C

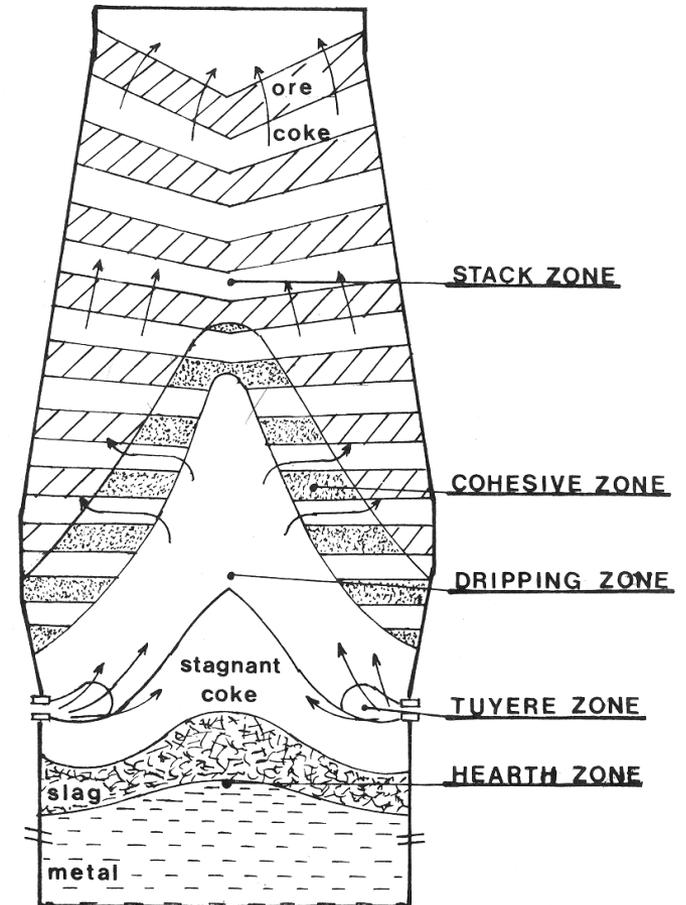
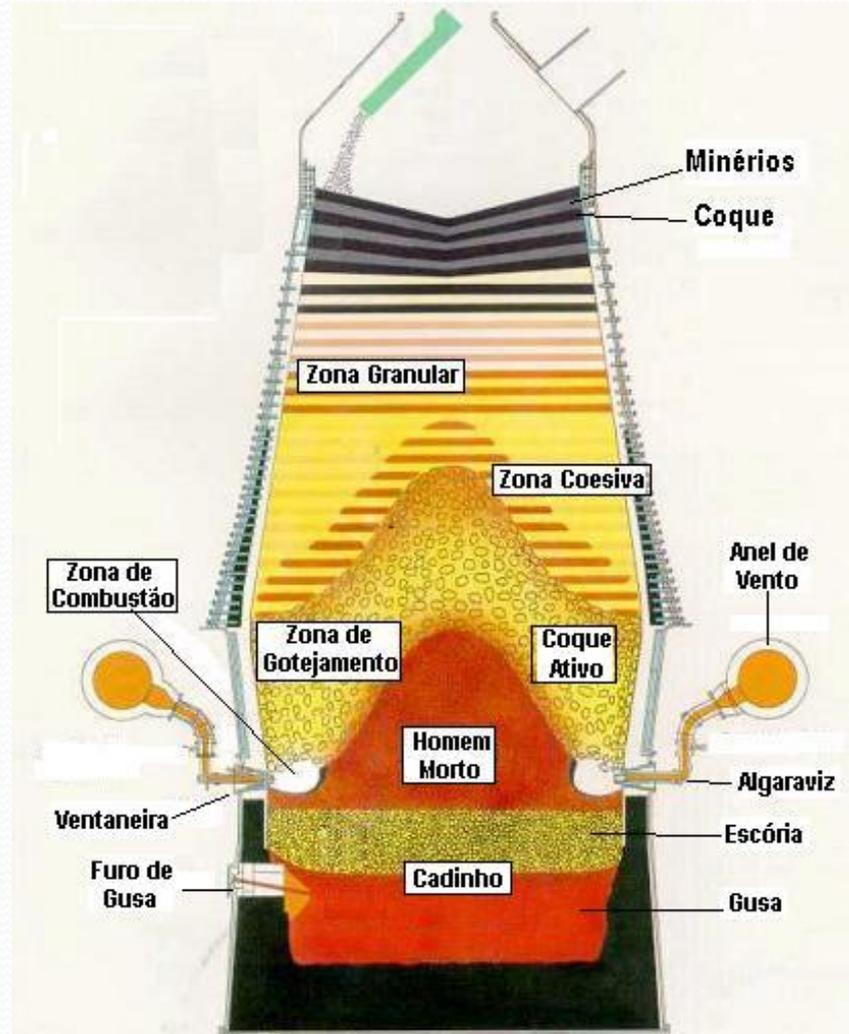
Escória: $\text{SiO}_2\text{-CaO-Al}_2\text{O}_3$

Gás: $\text{CO-CO}_2\text{-N}_2$

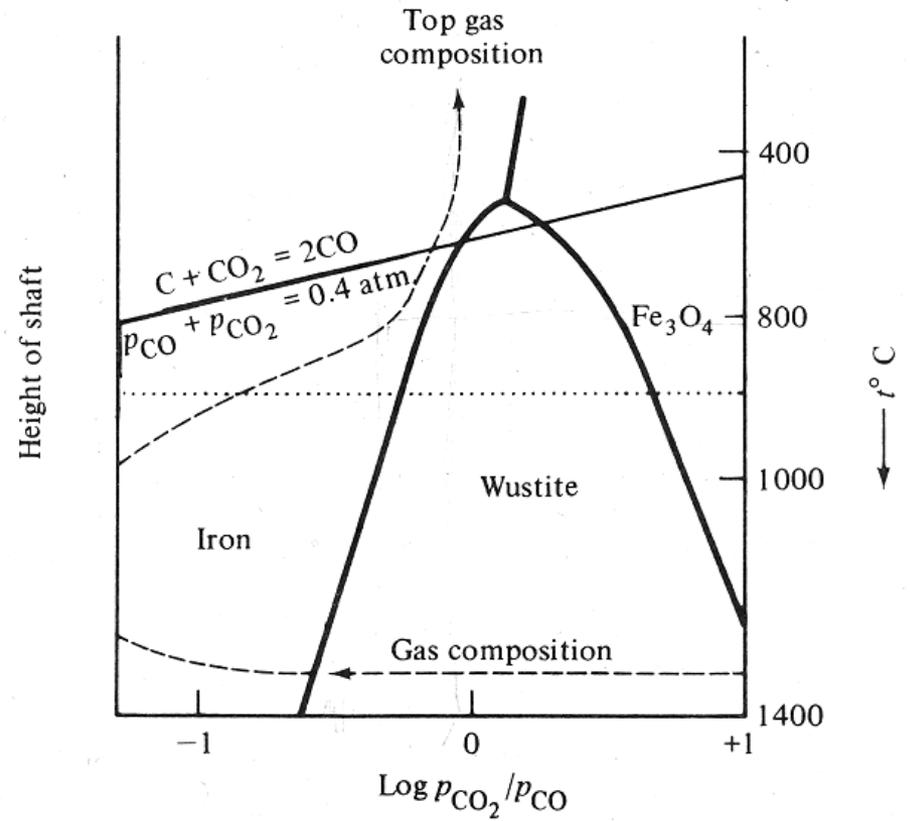
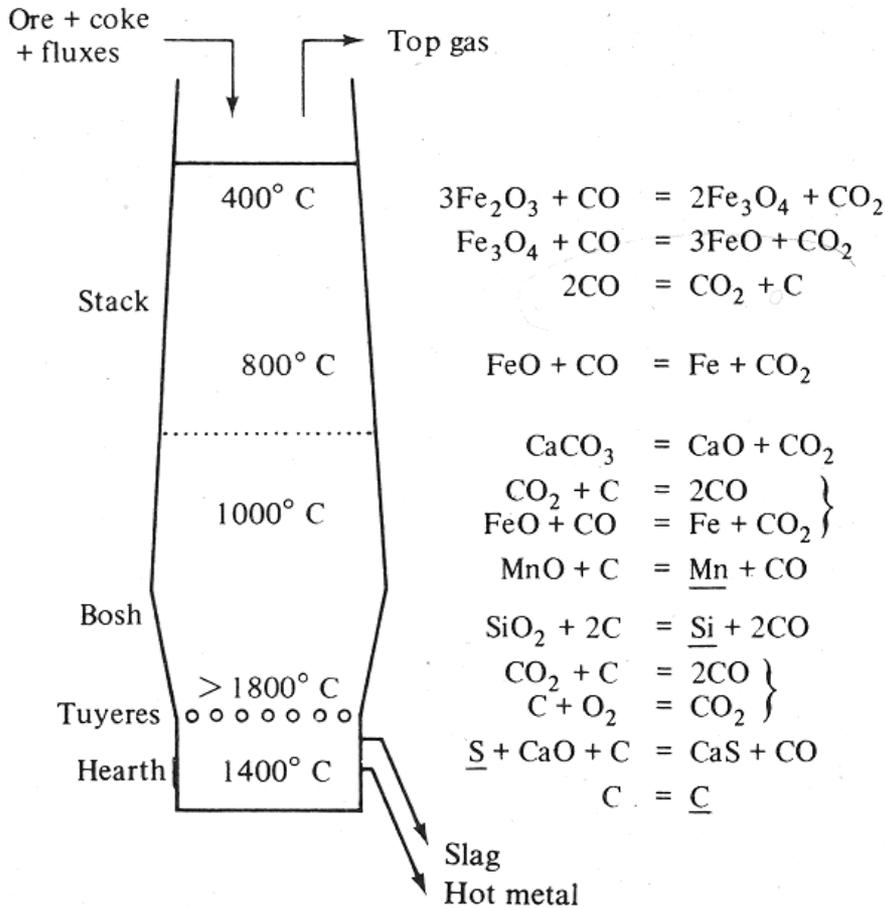
Regiões do AF



Zonas Internas



Reações Principais



Pré-aquecimento de ar-regeneradores

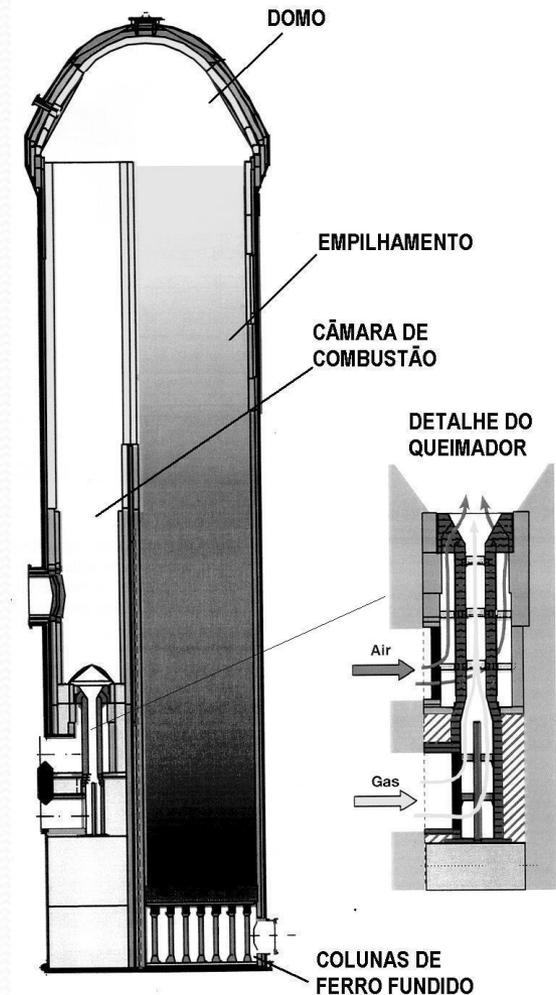
Aquecem o ar a ser injetado pelas ventaneiras para a combustão do coque.

O regenerador recebe o ar entre 150 a 200 °C, chamado ar frio, e eleva esta temperatura para a faixa de 1000 a 1250 °C, dependendo de sua capacidade, produzindo o chamado ar quente.

Combustível utilizado: gás misto, mistura de gases provenientes do próprio alto forno (86 a 94% de GAF) e da coqueria (14 a 6% de GCO).

A câmara de combustão tem grande altura e diâmetro, para evitar o impacto da chama no domo e para alargar mais a chama.

Dimensões típicas: 10,4 m diâmetro, 40 m altura.



Esquema de um regenerador de alto forno

Os altos fornos possuem conjuntos de 3 ou 4 regeneradores que operam em ciclos

Aquecimento

Regenerador em combustão, aquecendo o empilhamento

Sopro

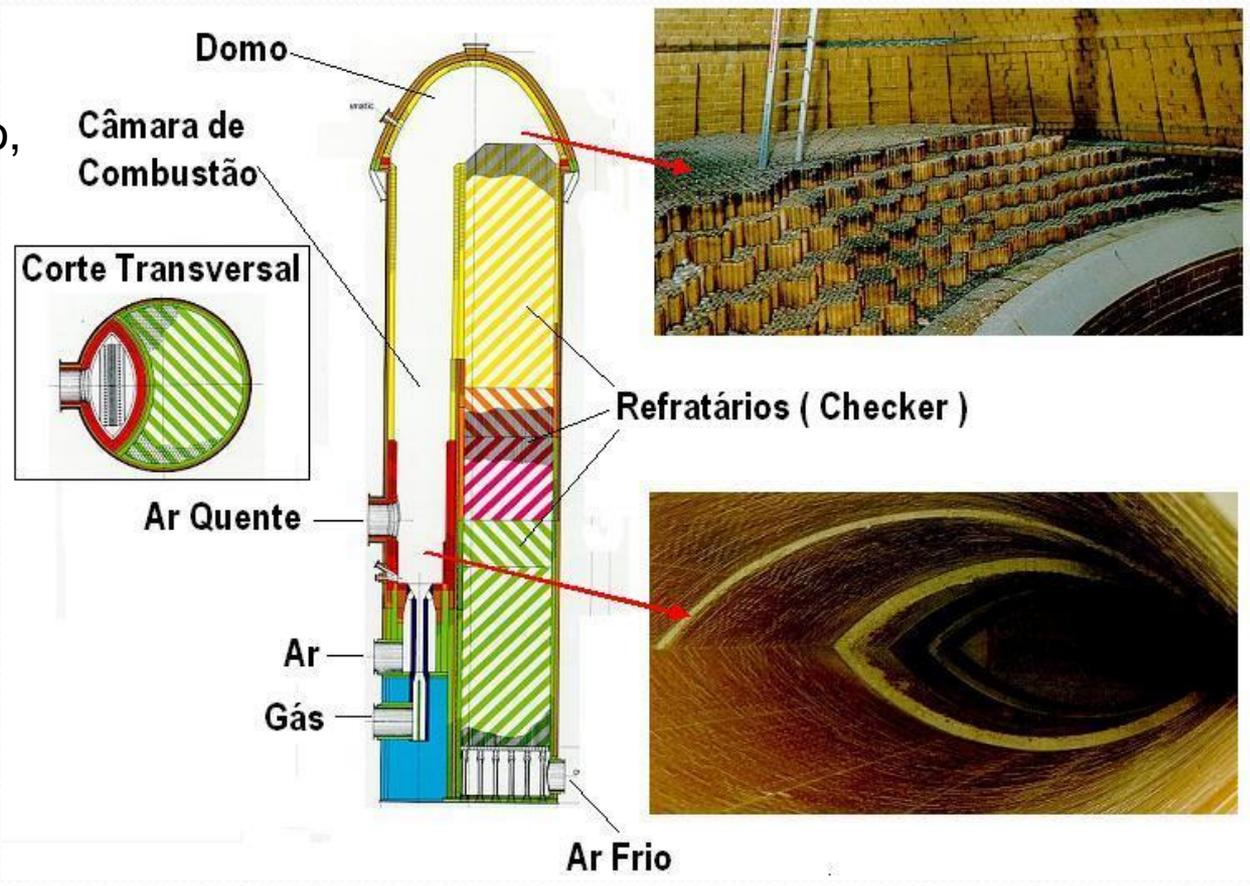
Regenerador soprando ar quente para o alto-forno

Abafado

Regenerador aquecido e isolado com todas válvulas fechadas

Manobrando

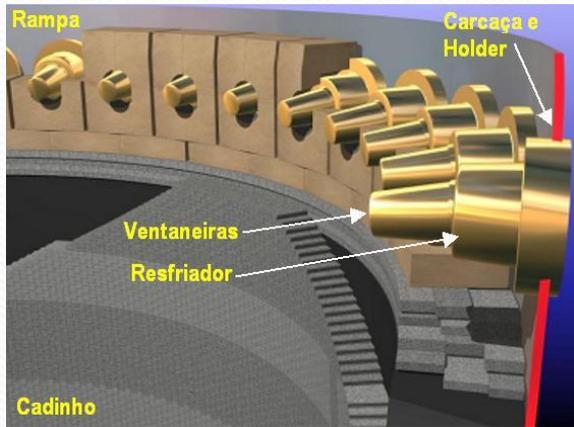
Fase intermediária entre todas as outras



Regeneradores



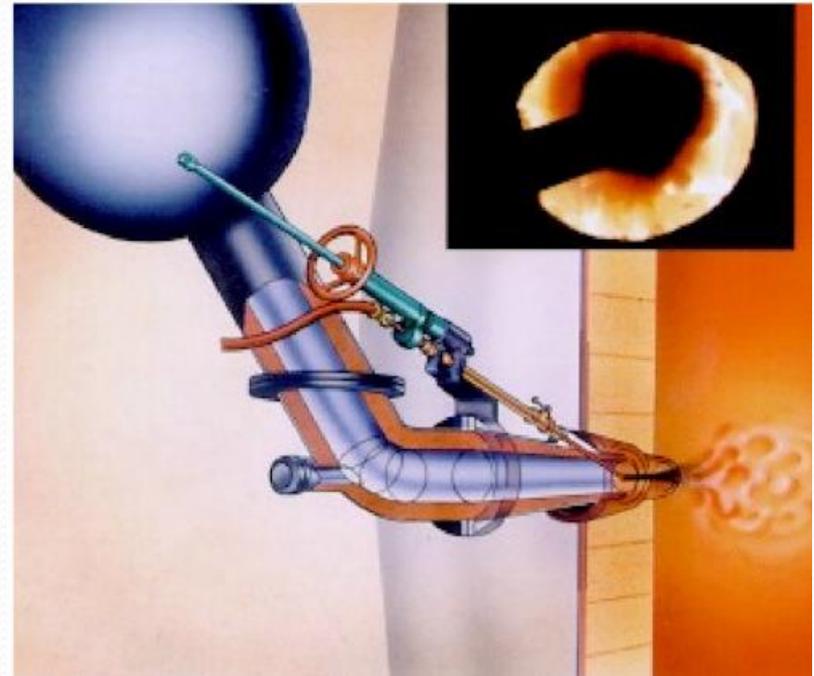
Ventaneiras



Arranjo das ventaneiras no interior do forno

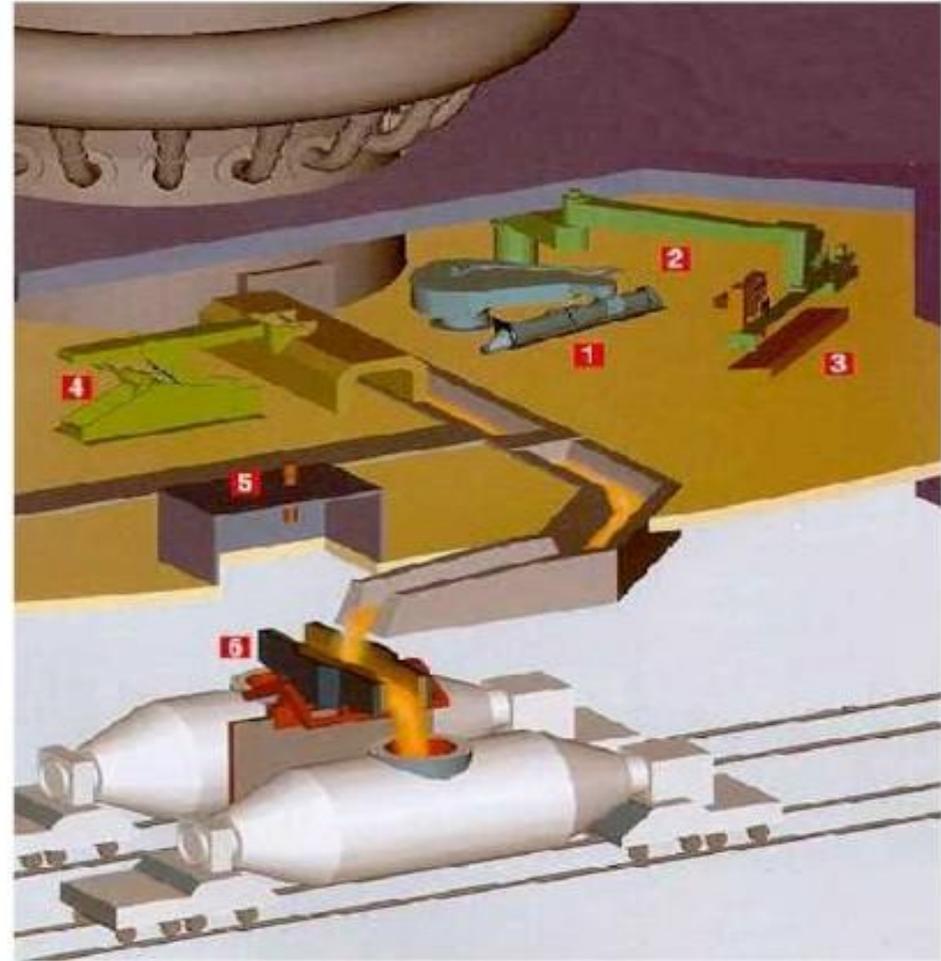


Ventaneira de cobre cortada mostrando circulação de água de refrigeração

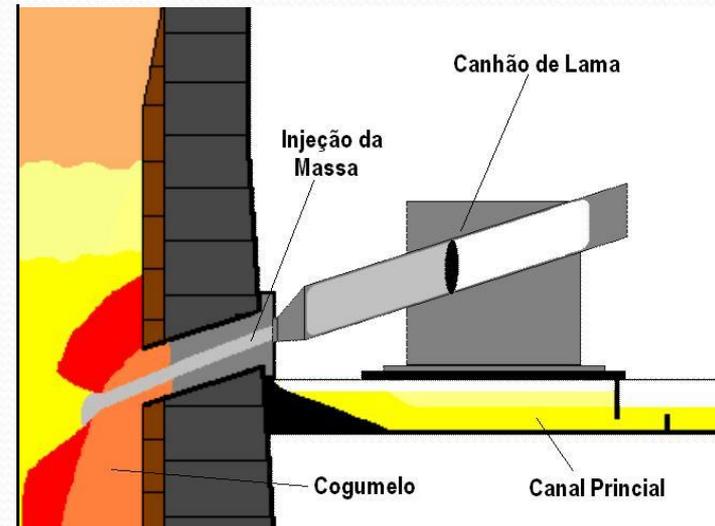
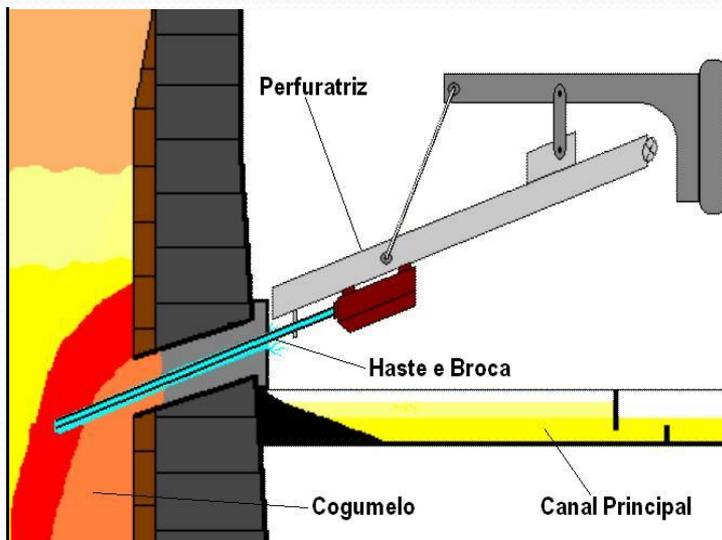


Injeção de carvão pulverizado através de uma lança inserida na ventaneira. No detalhe a foto, através do visor da ventaneira, do carvão em combustão na ponta da lança

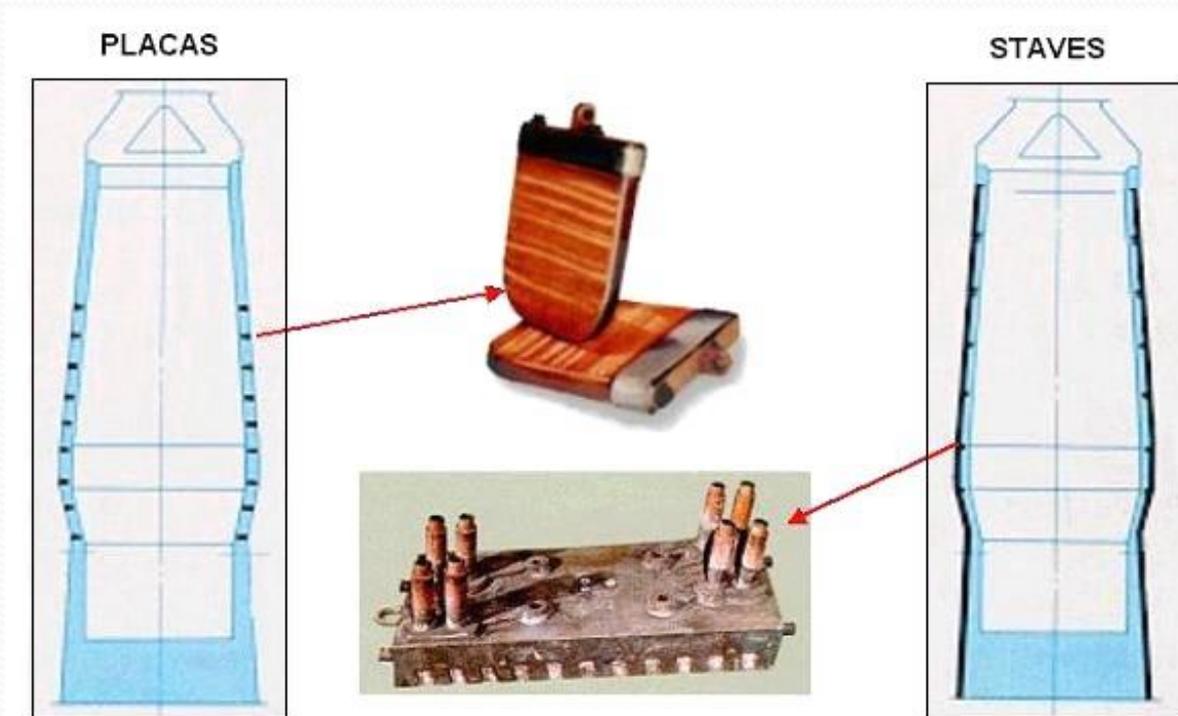
Drenagem do gusa para os carros torpedo



Operação de abertura e fechamento do furo de gusa



Sistemas de refrigeração por Placas e por “Staves”



Avaliação da Performance do Alto-Forno

- **1- Vida Útil Elevada:**
- **2 - Alta Produtividade**
- **3 - Baixo Consumo de Combustível:**
- **4 – Qualidade Adequada:**

Vida Útil Elevada

- altíssimo investimento na construção ou reforma de um alto-forno
- grande esforço para prolongar a vida útil média, ou campanha
- atualmente na faixa de 12 a 18 anos

produtividade

- critério de avaliação: razão entre produção média diária e volume interno do alto-forno (toneladas/dia/m³)
- produtividade média dos altos-fornos brasileiros de 1,80 a 2,80 t/dia/m³

depende de

- idade do forno
- particularidades de cada usina
- condições do mercado de aço
- ocorrência de problemas operacionais
- disponibilidade de oxigênio para enriquecimento do ar soprado
- melhoria da permeabilidade da carga
- redução do “fuel rate

consumo de combustível

- medido em kilogramas combustível consumido para a produção de uma tonelada de ferro gusa.
- elevado custo de combustíveis,
- carvão pulverizado injetado diretamente é de custo mais baixo
- importante atingir altas taxas de injeção, mantendo a estabilidade operacional

Qualidade Adequada

- A qualidade do gusa deve estar dentro dos padrões exigidos pelo processo seguinte (Aciaria)
- Isto implica no atendimento de requisitos de composição química e de temperatura cada vez mais restritivos
- A escória também deve ter uma composição adequada à sua utilização mais freqüente, que é a indústria cimenteira

Análises típicas do gusa e da escória de um alto-forno a coque

FERRO-GUSA (% em peso)								
Ti	Si	S	Mn	P	C	Fe	Outros	
0,03	0,38	0,026	0,69	0,091	4,82	93,86	0,1	
ESCÓRIA DE ALTO-FORNO (% em peso)								
SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	S	MnO	TiO ₂	FeO	Outros
34,65	11,59	42,8	6,81	1,22	0,83	0,53	0,35	1,22

