Ferro e Aço

Siderurgia = metalurgia do ferro

Sistema Fe-O-C

- Minério de ferro: Fe + Oxigenio
- Redução: Minério +carbono $\longrightarrow$ Fe (C)+ CO/CO_2
- Refino: Fe (C)+ Oxigênio $\longrightarrow$ Fe (O) +CO/CO_2
- Desoxidação: Fe (O) + desoxidante (Al, Si, C) $\longrightarrow$ aço acalmado

Coadjuvantes

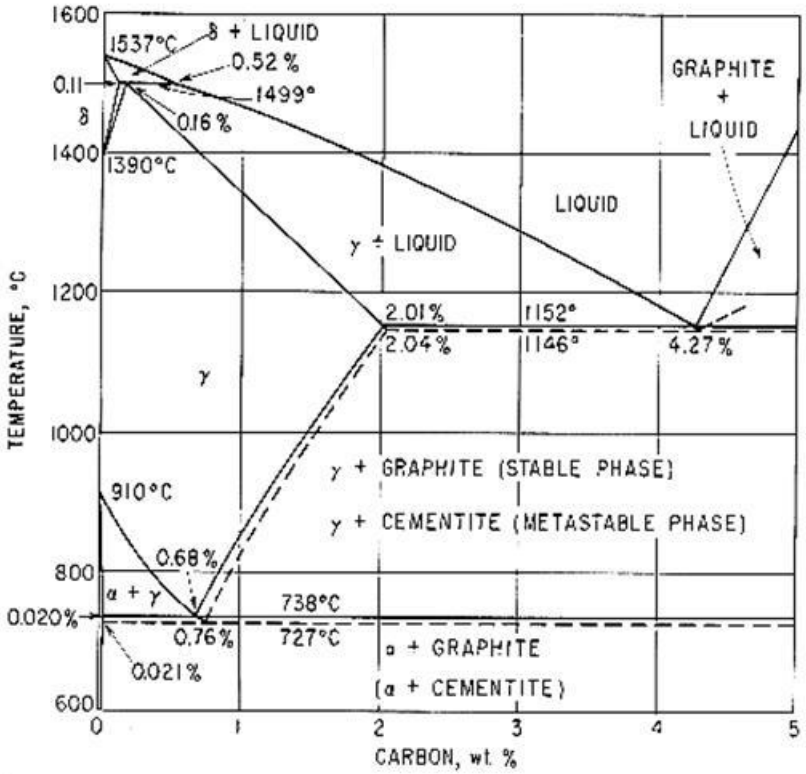
- Si e SiO_2
- Ca e CaO
- P
- S
- Mn
- Al e Al_2O_3
- Cr, Ni, Ti, Mo, Nb, H, N, B, etc

Energia para Siderurgia

- Principal fonte energética: Carbono
- Carvão mineral e carvão vegetal
- $C + O_2 \longrightarrow CO_2$ + 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.

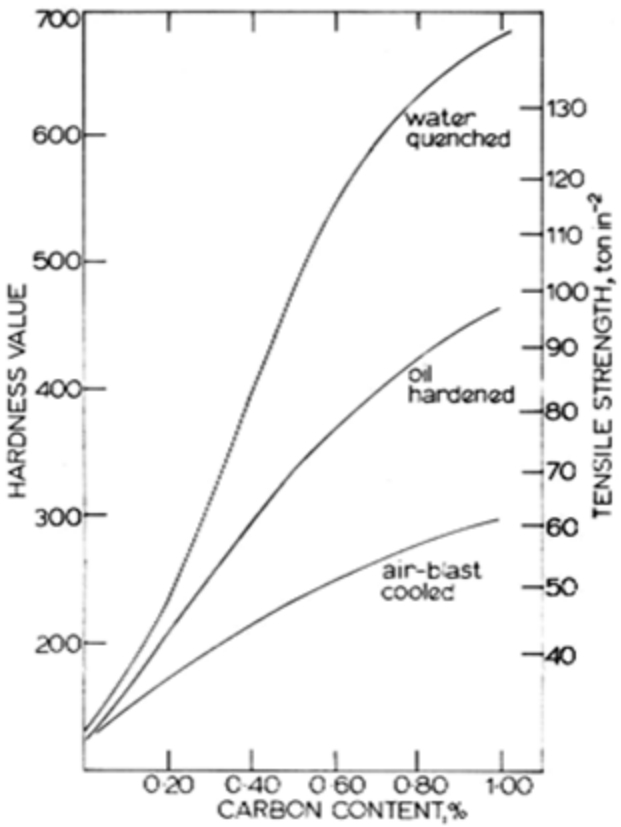


Aço: ligas ferro-carbono contendo menos de 2% de Carbono, podendo conter outros elementos de liga

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



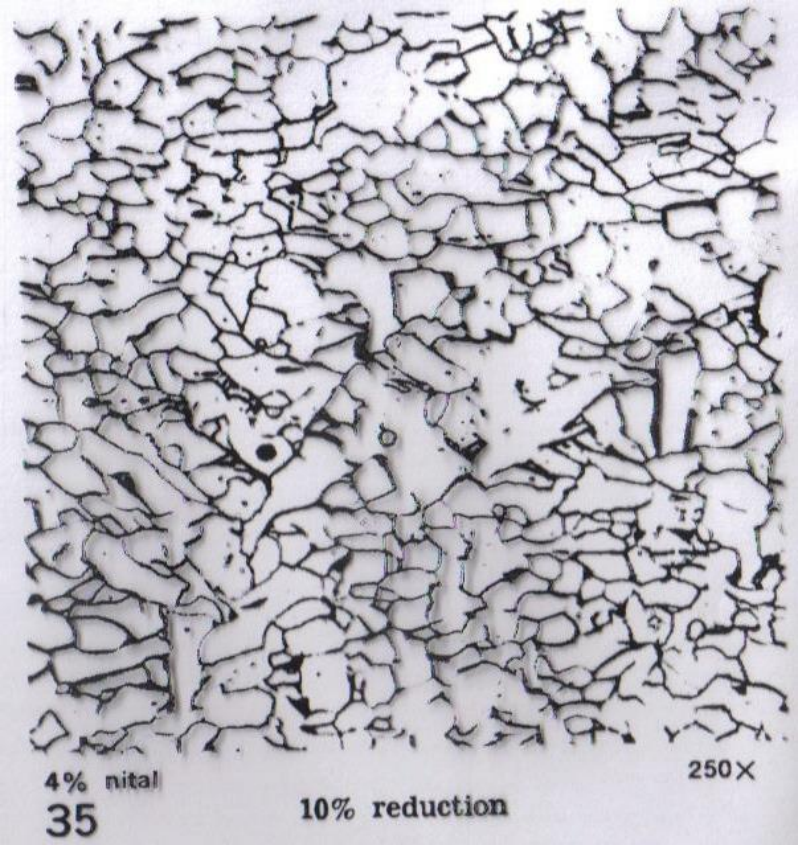
PROPRIEDADES DOS AÇOS

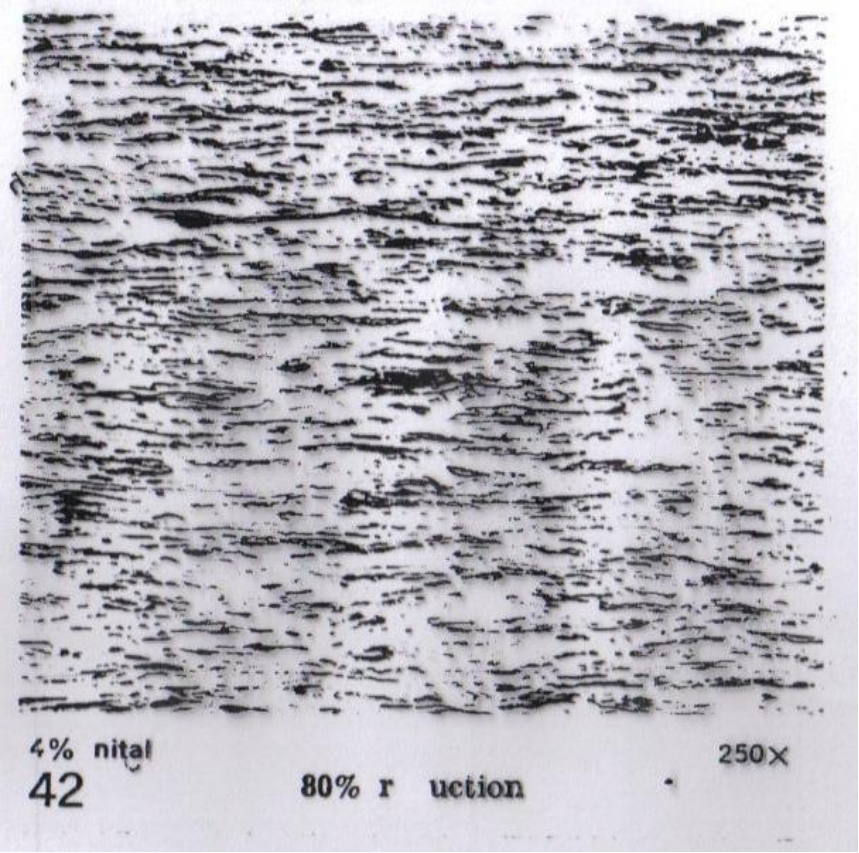
DEPENDEM DE:

- **COMPOSIÇÃO QUÍMICA**

- **MICROESTRUTURA**

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

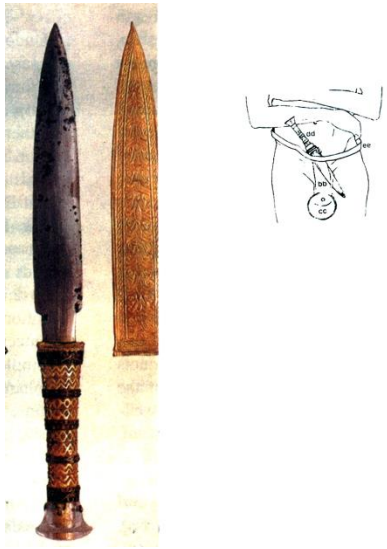

4% nital
250X
35
10% reduction


4% nital
250X
42
80% r uction

“metal que veio do céu”

- primeiros contatos: ferro meteorítico
- fabricação de ferramentas, adornos e armas
- obtenção de ferro a partir de minério desde muito cedo na história
- ferro doce baixo carbono e baixa dureza, usados mais como objeto de decoração e utensílios que não requeriam resistência mecânica.

Meteorito de Bendengó



Adaga de Tutancamon

Idade do Ferro

- primeiro povo a usar ferro: chalibas, tribo hitita entre 1200 aC e 1400aC; o Império Hitita foi capaz de estender seus domínios pela Mesopotania
- 1000 aC o início oficial da Idade do Ferro
- duplo efeito do desenvolvimento da metalurgia, ferramentas melhores e melhores armas
- o ferro, e os ferreiros, considerados com dualidade: medo e admiração, respeito e desprezo.

Metalurgia Antiga

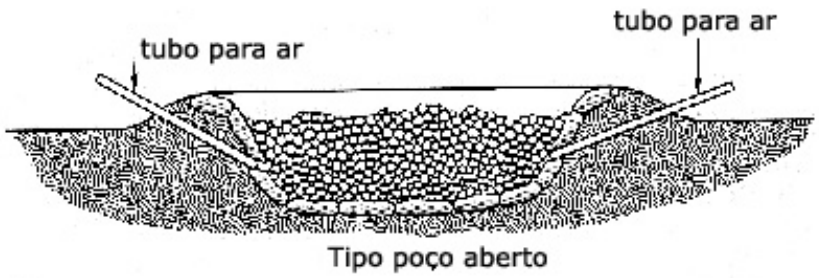
duas etapas da metalurgia antiga

A—Furnaces. B—Forehearths.

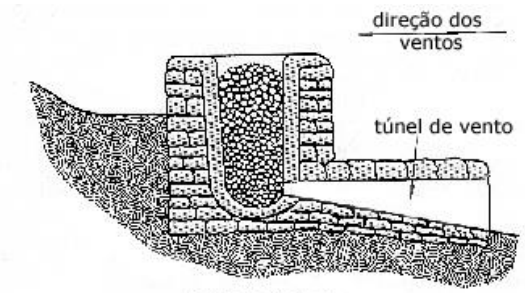
- a extração do ferro ocorria na maioria das vezes no estado sólido
- conformação nas forjas com separação da escória, carburação/ descarburação

A—Forge. B—Bellows. C—Tongs. D—Hammer. E—Cold stream.

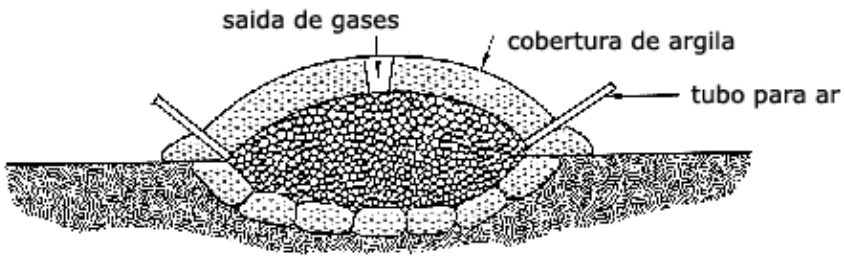
Evolução dos processos siderúrgicos



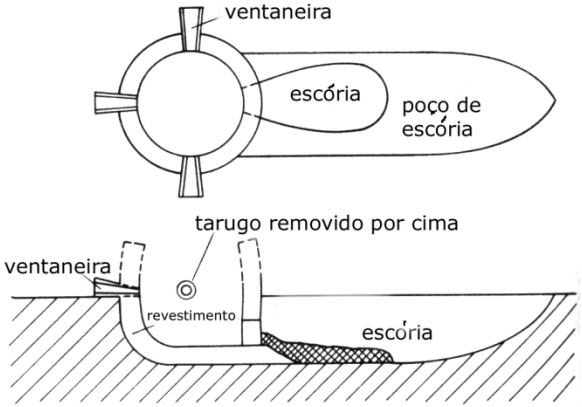
Tipo poço aberto



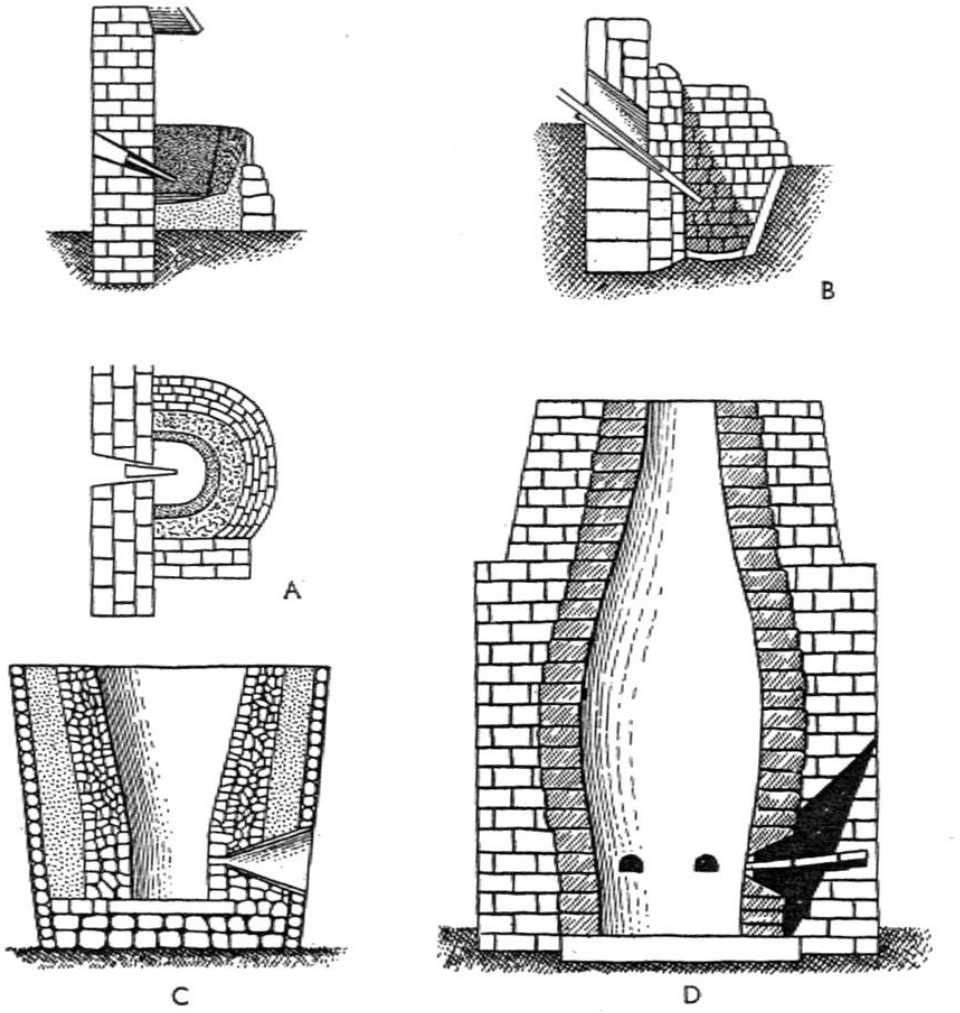
Forno de Soleira



Tipo Poço Fechado



Evolução dos processos siderúrgicos



A: Forja Corsa; B: Forja Catalã; C: Forno Osmund; D: Stucköven

Consumo de carvão

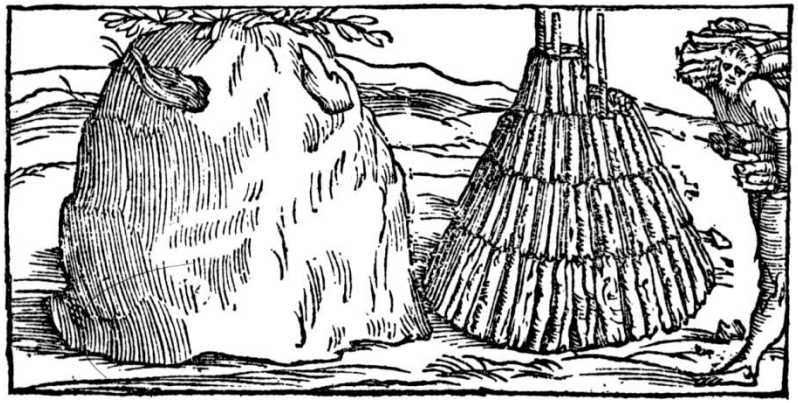


Figure 23. The construction of charcoal piles.

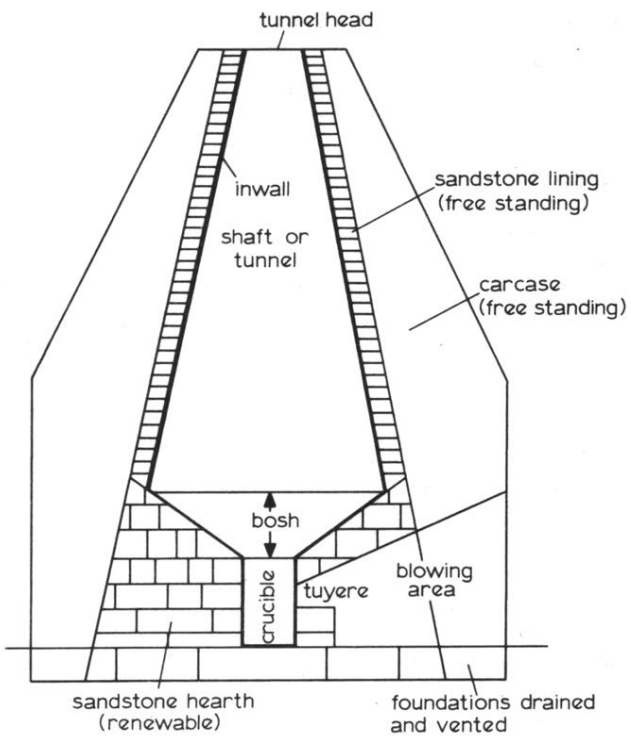
- forno poço antigo: produzia botões de 60 kg com *fuel rate* assustador de 75000 kg C/ton Fe
- fornos medievais
- forja Corsa: botões de 125 kg, *fuel rate*: 22800 kg Carvão/ton Fe
- forja Catalã: botões de 150 kg, *fuel rate*:11500 kg Carvão/ton Fe
- Stückoven: botões de 300 a 900 kg, *fuel rate*: 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

Surge o 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

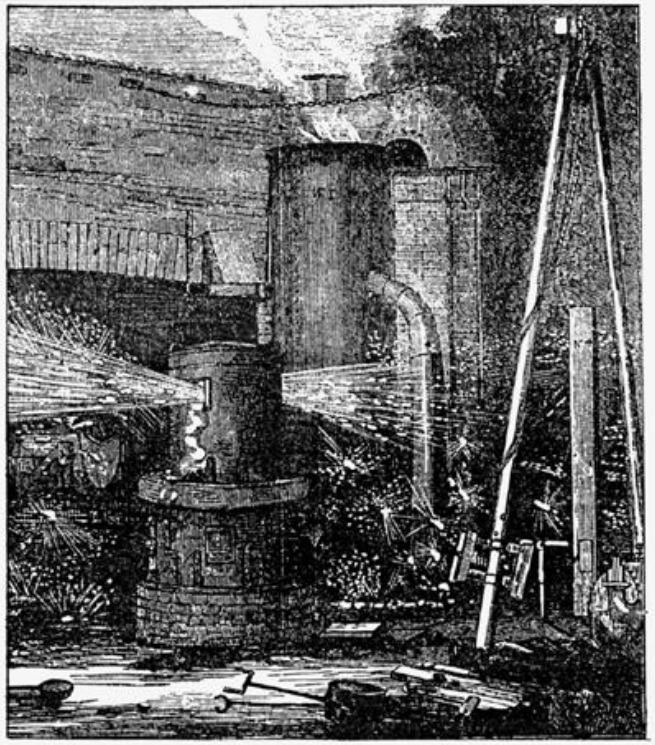


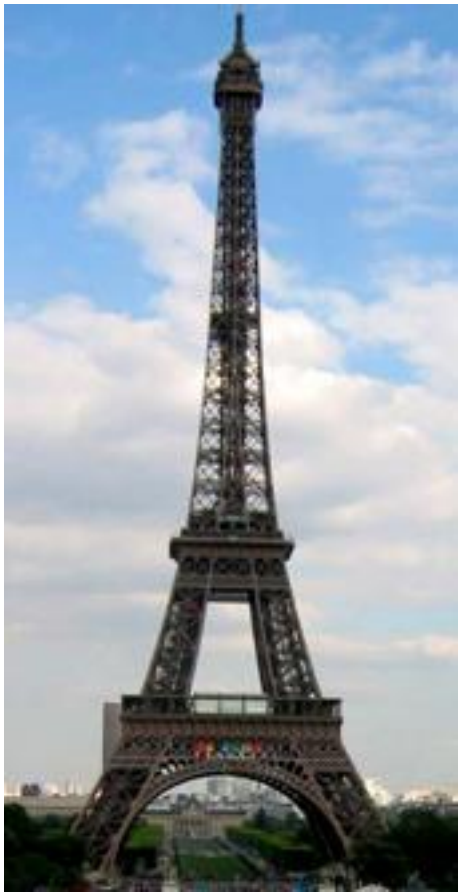
FIGURE 15—*Bessemer's fixed converter.* (Centre rear) *Cupola furnace on the usual principle;* (foreground) *the Bessemer furnace;* (extreme left) *vessel in which the crude iron is received from the smelting furnace and then passed into the refining chamber.*

- 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

Muito Aço

- Siemens- Martin: forno regenerativo de soleira aberta
- Thomas: revestimento básico nos conversores Bessemer (fósforo)
- 1870 a 1900: produção mundial de aço aumentou 56 vezes, 28 milhões de toneladas na virada do século
- Aço: ferrovias, caldeiras, navios, construção civil, pontes
- 1889: Torre Eiffel; EUA maior produtor mundial



Obtenção de Ferro e Aço

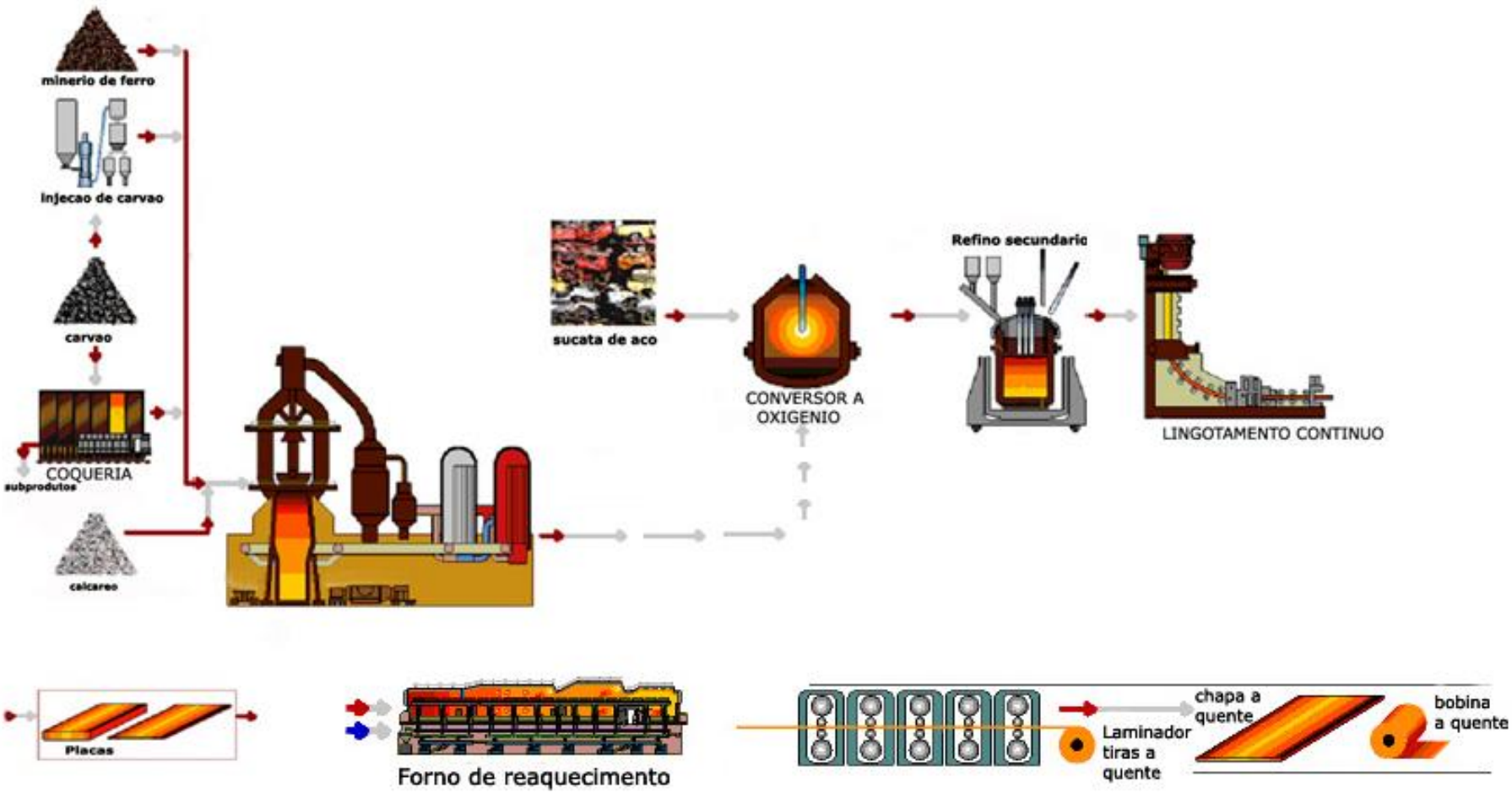
- A partir de minério de ferro:

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



Coqueria

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

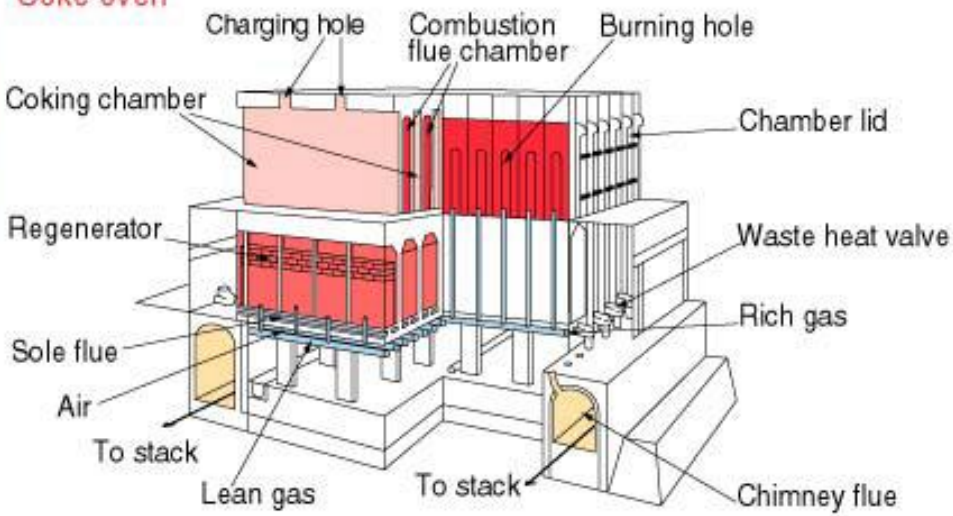
Coal and Coking

Coal	Anthracite (Non coking)
	Bituminous coal (Coking, For coke)
	Brown coal (Non coking)
	Peat (Non coking)

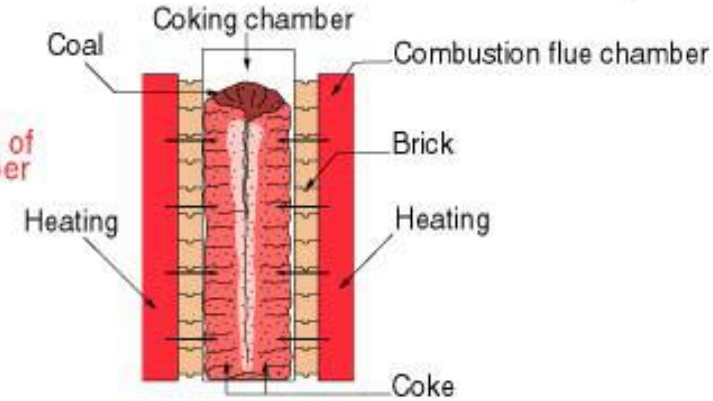
Coke quality		
Moisture	Dry quenching	0.1～0.2 %
	Wet quenching	2 ～ 5 %
Ash		11～12 %
Volatile matter		0.5～0.6 %
Mean dia.		50 mm

Composition of coke oven gas	
H_2	46 ～ 52 %
CH_4	27 ～ 35 %
CO	6 ～ 10 %
C_mH_n	3 ～ 4 %
CO_2	2 ～ 3 %
N_2	3 ～ 5 %

Coke oven

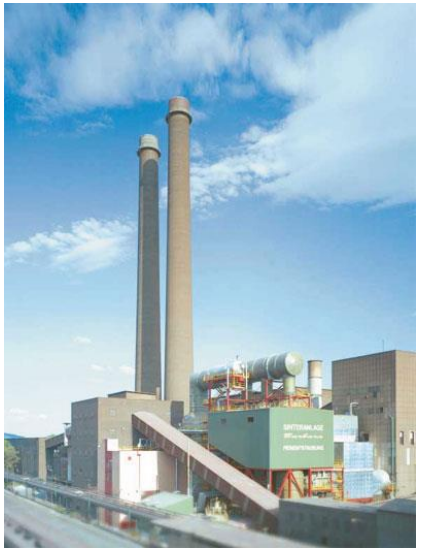


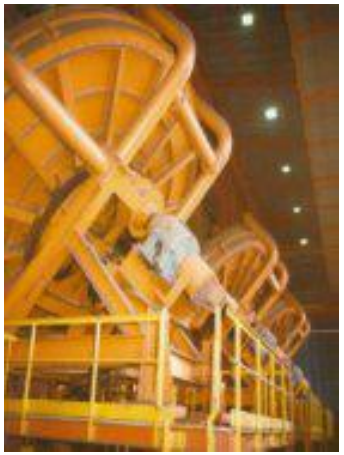
Cross section of coking chamber



Preparação da carga metálica

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





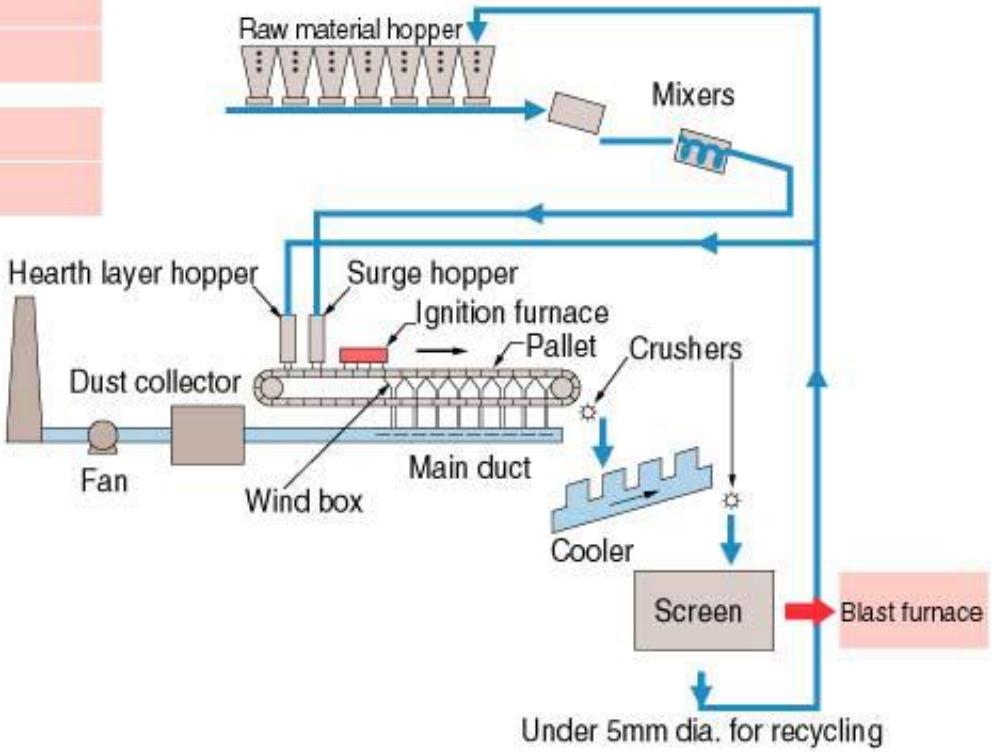
Pelotização: produz pelotas a partir de minério de ferro fino, nas empresas mineradoras

Iron Ore and Its Pretreatment

Iron ore	Hematite (Fe_2O_3)
	Magnetite (Fe_3O_4)
	Others
Pretreatment	Sintering
	Pelletizing

Composition of sintered ore	
T.Fe	55~58%
SiO_2	4.5~6.0%
Al_2O_3	<2.0%
CaO / SiO_2	1.5~2.3

Process flow of sintering



O ALTO FORNO

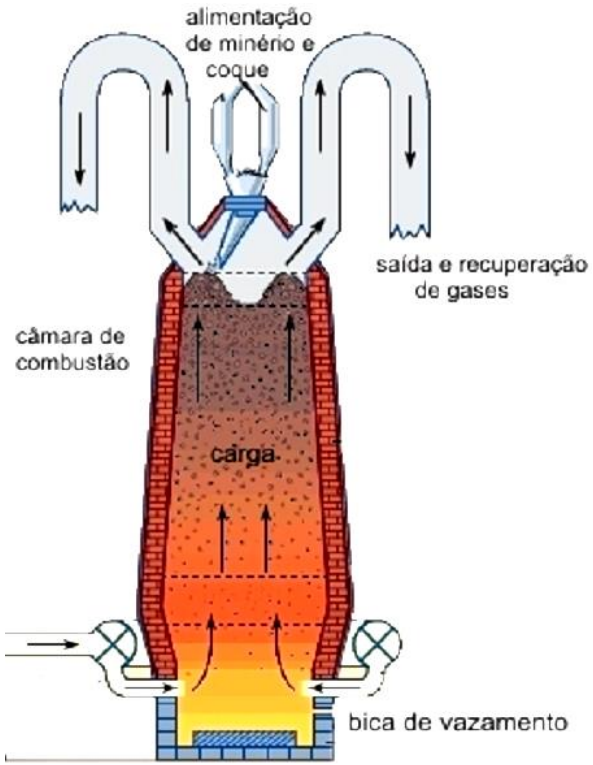
- mistura de minério de ferro e coque entra por cima e é colocada no topo do empilhamento.

- a carga desce e é aquecida pela corrente de gases gerados na reação do ar pré-aquecido injetado, a temperaturas entre 900 ºC e 1200 ºC.

- 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 (CO_2) e principalmente de nitrogênio (N_2) e após mistura com gases de coqueria é utilizado para pré-aquecer o ar insuflado no alto-forno.



Alto Forno

Redução de Minério de Ferro → 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

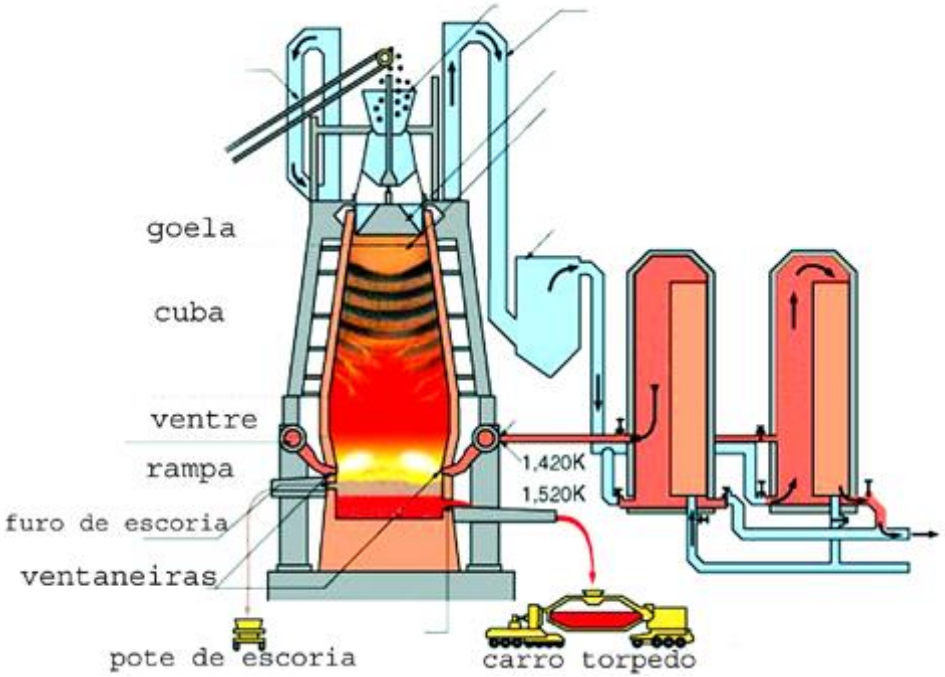
–sistema de carregamento

–sistema de drenagem (casa de corrida)

Produtos: – GUSA (1.500 °C)

- Escória

- GAF



Operating Conditions in Large Blast Furnace (BF)

Indirect reduction reaction $Fe_2O_3+3CO \rightarrow 2Fe+3CO_2$
Direct reduction reaction $Fe_2O_3+3C \rightarrow 2Fe+3CO$

Charging materials

Materials	Mean dia. (mm)	Unit consumption (kg/t*)
Coke	50	380
Sintered ore	20	1,160
Lump	25	280
Pellet	12	190

Blasting conditions

Blast volume (Nm^3/t^*)	995
Pulverized coal (kg/t*)	120
Humidity (kg/Nm^3)	28
Temperature (K)	1,453
Pressure (MPa)	0.40
O_2 enrichment (vol.%)	2.3

t*=Hot metal ton

Lumpy zone

Cohesive zone

Dropping zone

Raceway
→ Slag
→ Hot metal

Top gas

Dust (kg/t*)		16
Gas	Volume (Nm^3/t^*)	1,533
	Temperature (K)	430
	Pressure (MPa)	0.25
	CO (vol.%)	22.0
	CO_2 (vol.%)	22.8
	H_2 (vol.%)	4.2

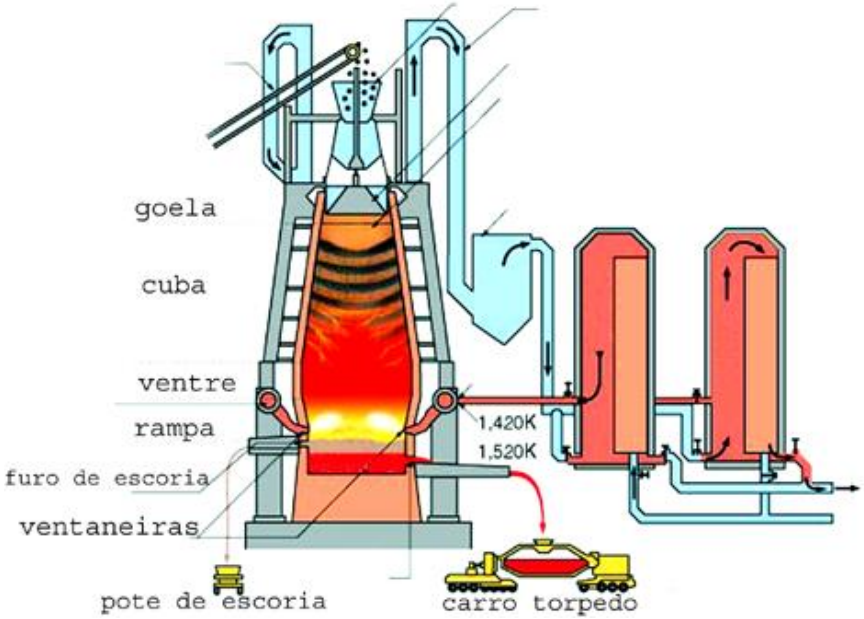
Hot metal, Slag

Hot metal temp. (K)	1,800
Slag / hot metal ratio	0.30

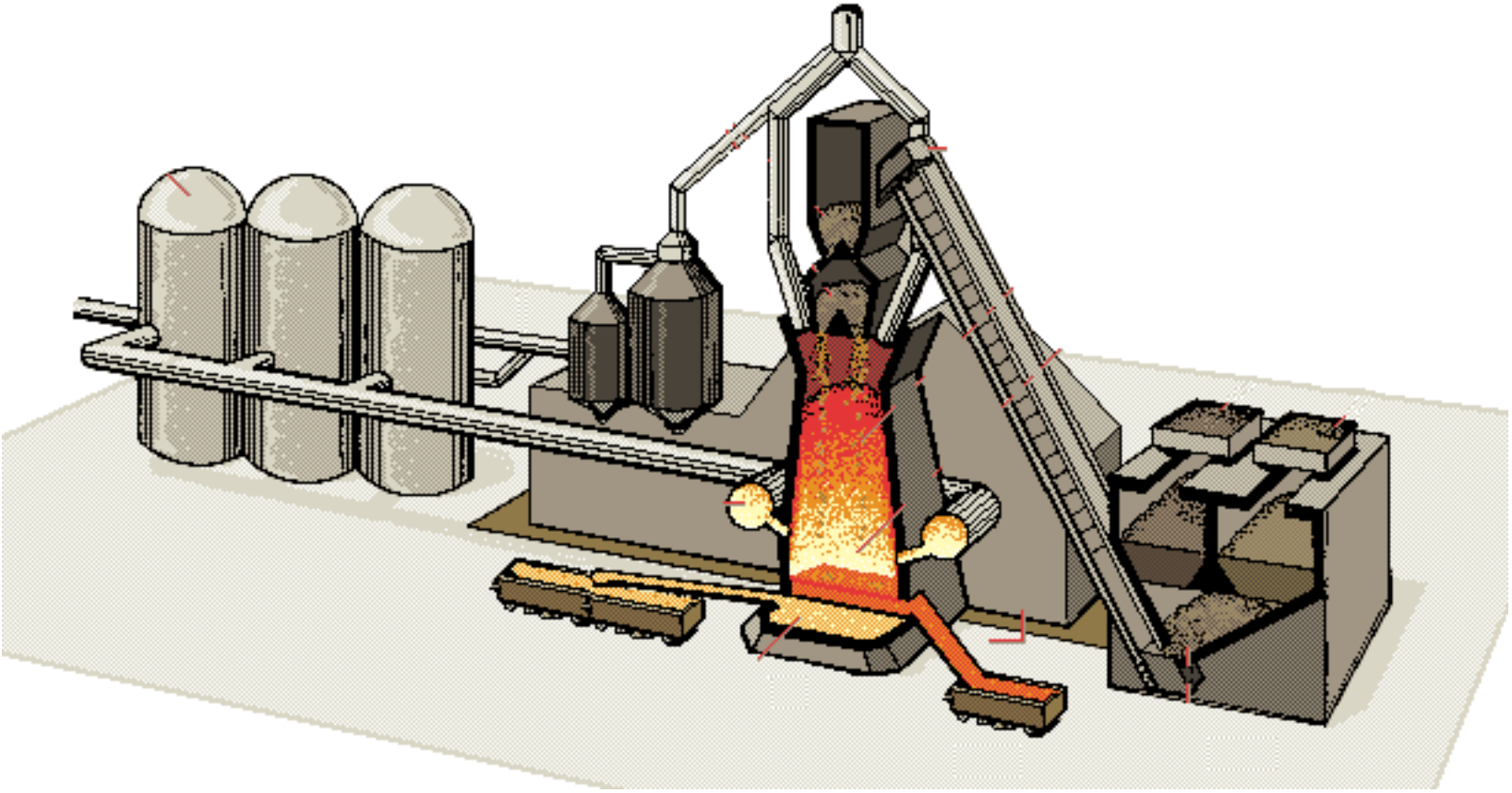
Composition (mass %)

Hot metal		Slag	
C	4.50	SiO_2	33.8
Si	0.39	CaO	42.5
Mn	0.27	Al_2O_3	14.3
P	0.10	MgO	6.5
S	0.03	MnO	0.26
		S	0.96

Alto Forno Hoje

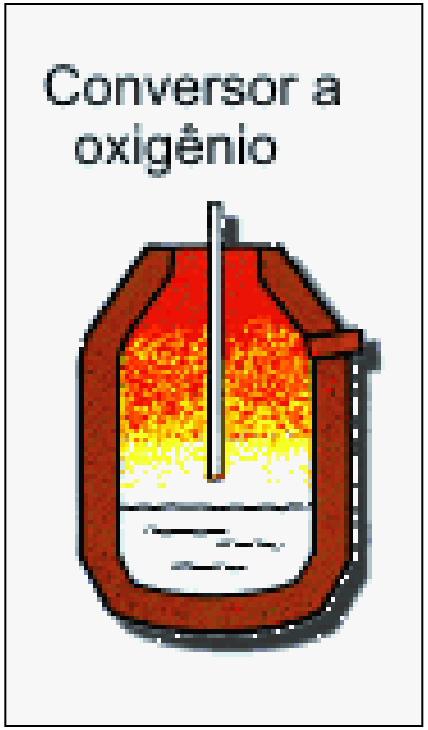


- 13.000 toneladas de ferro gusa por dia
- operação estável
- vida útil média de 15 anos (e crescendo)
- alta produtividade
- baixo consumo de combustível (entre 470 e 500 kg de coque mais combustível injetado)



Fabricação de Aço
Processo a Oxigênio (processo LD)

Ferro gusa líquido é carregado em conversor e submetido a sopro de oxigênio puro



- principais reações exotérmicas: oxidação do carbono para monóxido de carbono, de silício para sílica, manganês para óxido de manganês e fósforo para fosfato:

$$2C + O_2 \rightarrow 2CO$$

$$Si + O_2 \rightarrow SiO_2$$

$$2Mn + O_2 \rightarrow 2MnO$$

$$2P + 5/2\ O_2 \rightarrow P_2O_5$$

- Ocorre parcialmente:

$$2Fe + O_2 \rightarrow 2FeO$$

Produtos finais: Aço líquido e escória de aciaria

BOF Operation for Top & Bottom Blown Vessel

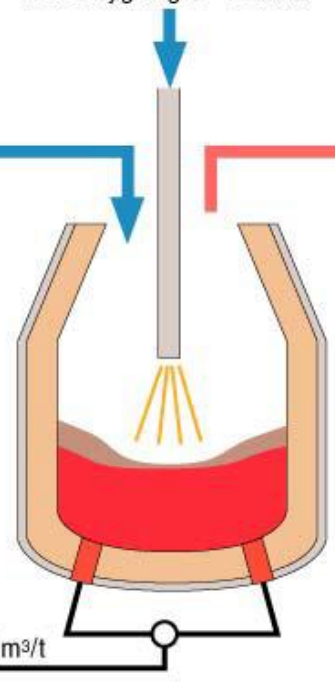
Pure oxygen gas 50Nm³/t

Charging raw materials (kg/t)

Raw material	Hot metal	1,033
	Scrap	28
	Pig iron	4
	Burnt lime	23
	Ferroalloy	11
	Dolomite	8

Composition of hot metal (after pretreatment) (mass%)

C	Si	Mn	P	S
4.30	0.01	0.20	0.04	0.01



Inert gas (Ar, N_2) CO, CO_2 } 1.6Nm³/t

Amount of gas collected

101Nm³/t

Gas composition (vol.%)

CO	CO_2	N_2	H_2
70	10~15	13	1~2

Amount of slag produced

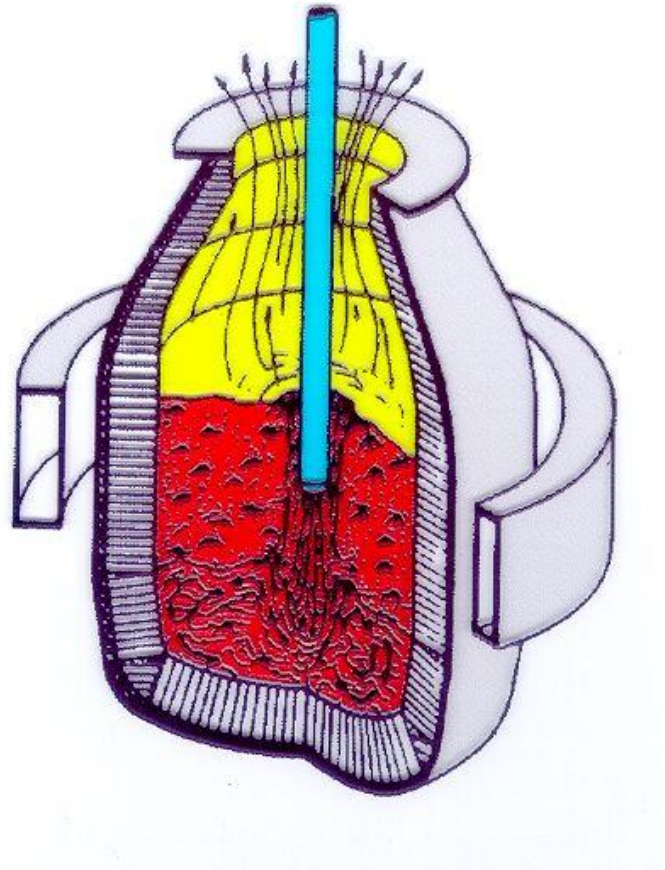
50kg/t

Composition of molten steel (mass%)

C	Si	Mn	P	S
0.04	0.01	0.15	0.01	0.007

To secondary refining

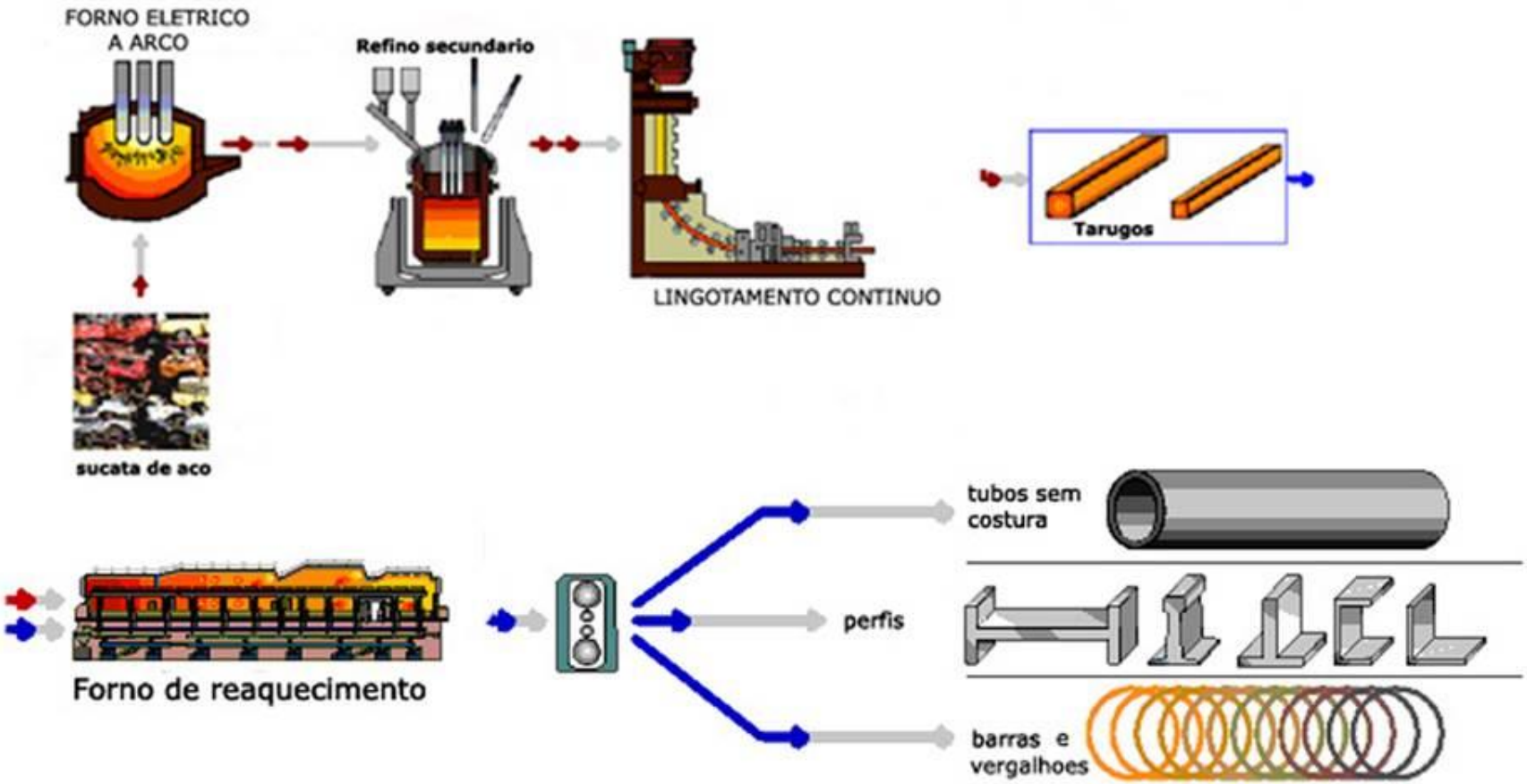
Processo LD (BOF)



1

BASDELLA

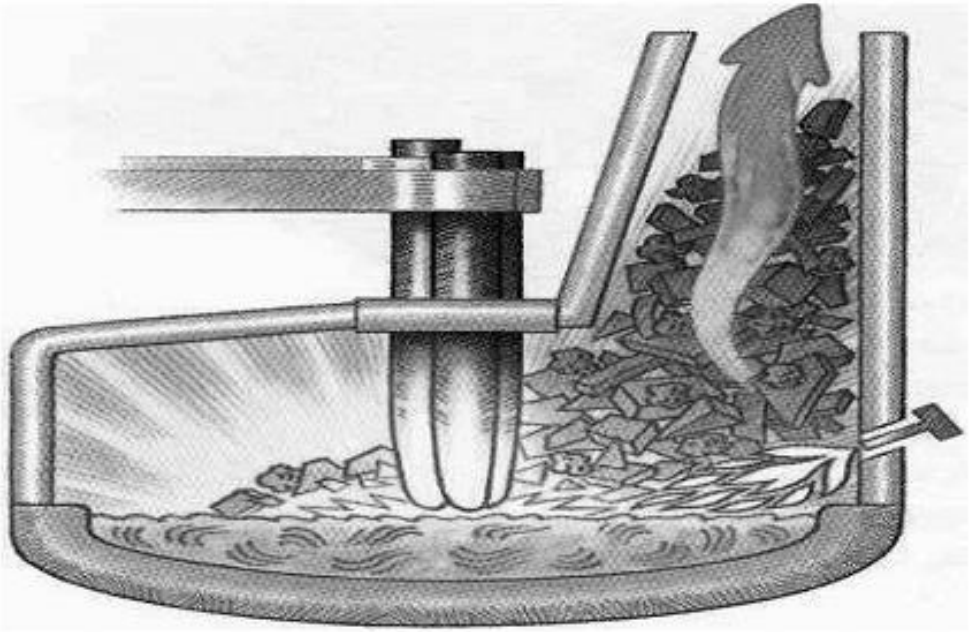
Usinas semi-integradas

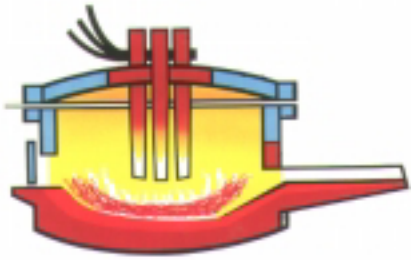


Forno elétrico a arco

- 25% da produção mundial de aço é feita em forno elétrico.
- Arco elétrico de elevada corrente para fundir e obter aço líquido.
- Controle mais acurado da temperatura do banho,
- A maior parte da carga dos fornos elétricos é constituída de sucata de aço. A qualidade da sucata tem influência direta na qualidade do aço produzido.

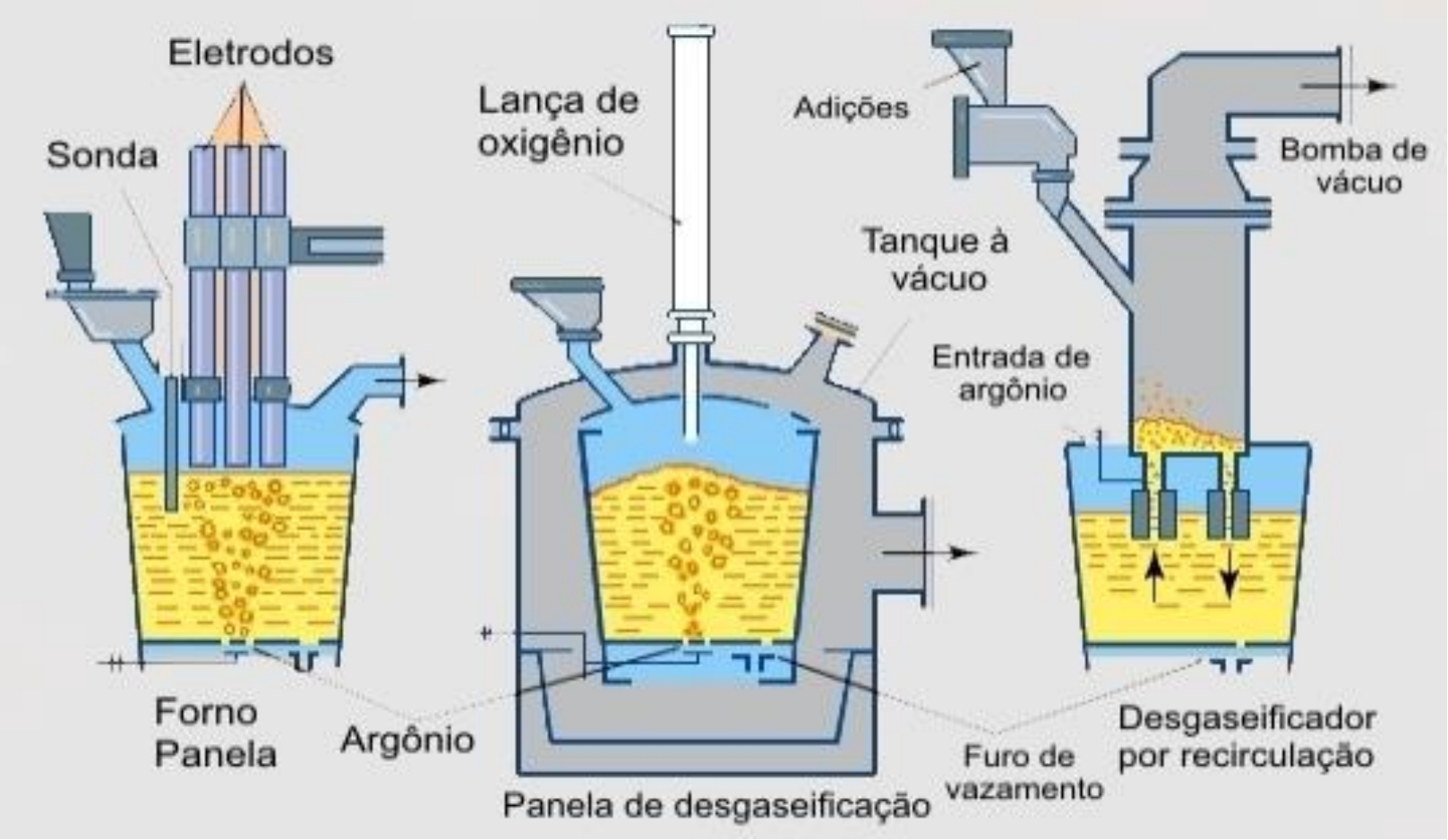
Fabricação de Aço
Forno Elétrico a Arco (FEA)



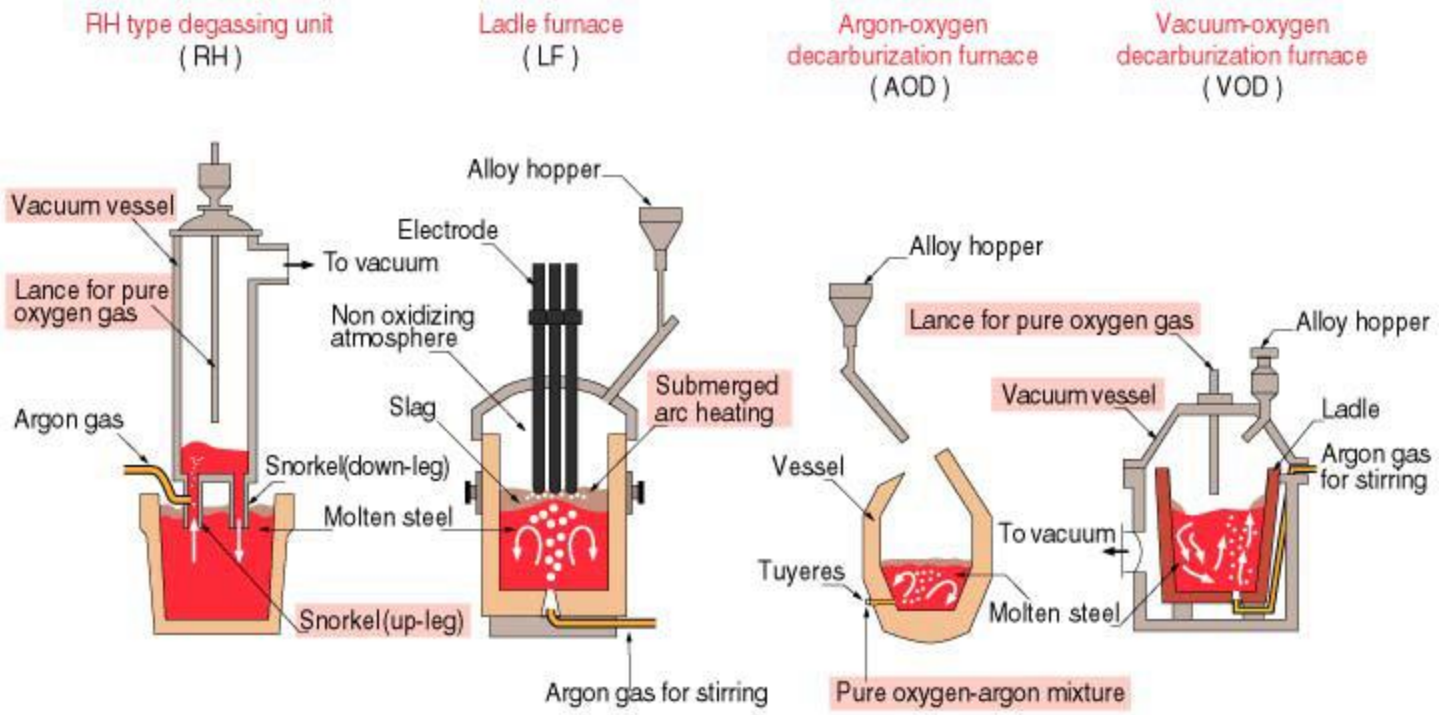


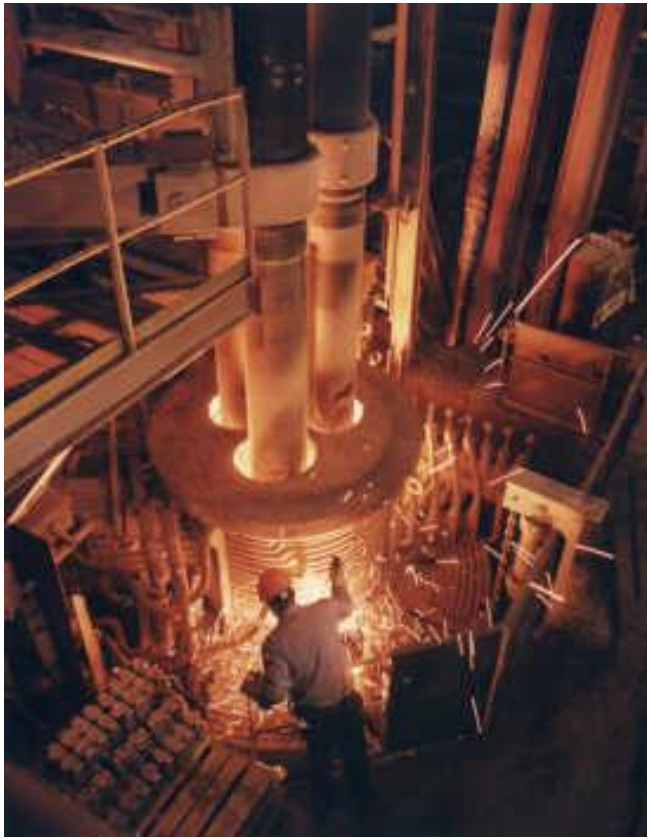
Forno Elétrico a Arco

Refino secundário



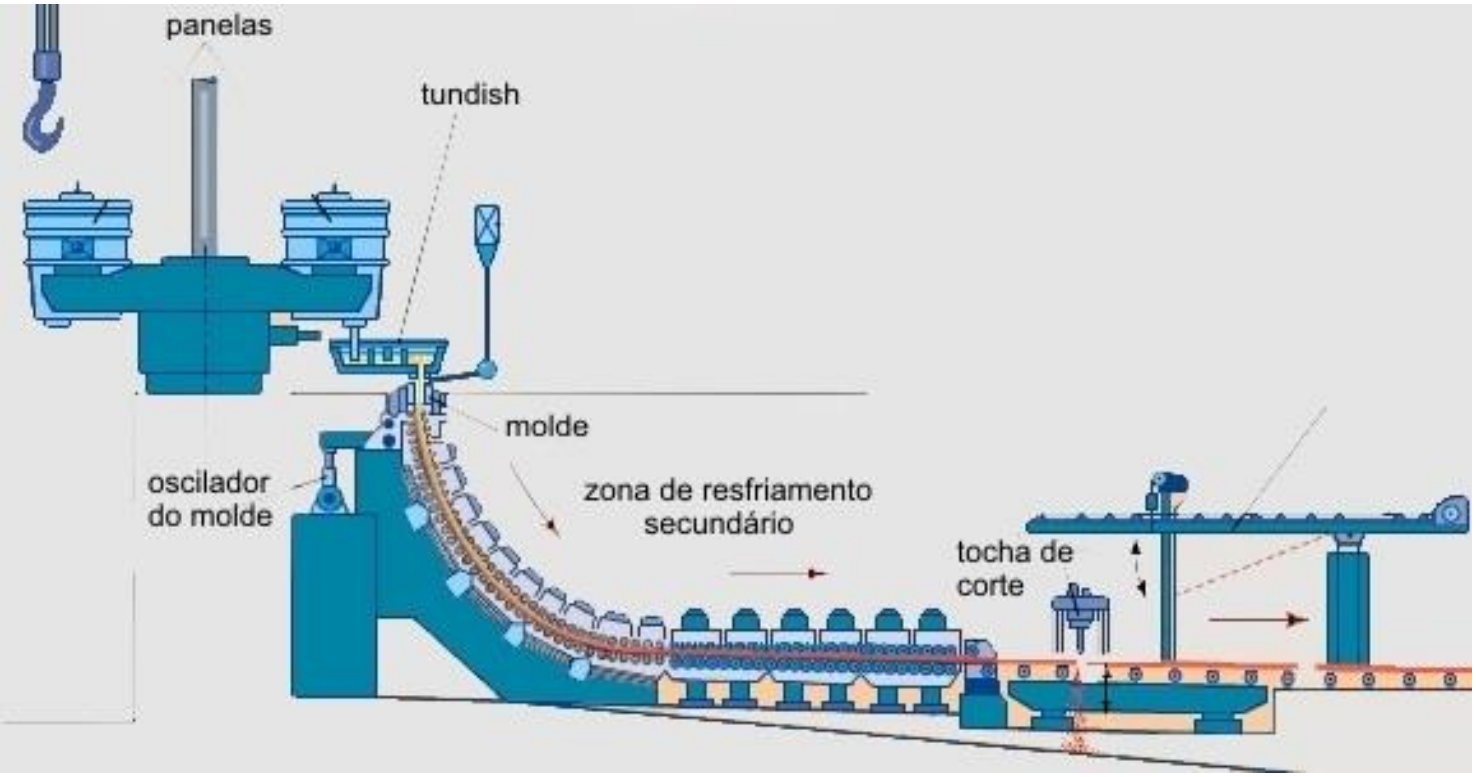
Typical Facilities for Secondary Refining





Lingotamento contínuo

- Cerca de 80% da produção mundial de aço é obtida através de lingotamento contínuo.
- O lingotamento contínuo consiste no vazamento do aço líquido em um pequeno molde vertical de cobre refrigerado e na extração simultânea da casca solidificada que contém aço líquido em seu interior.



Lingotamento contínuo

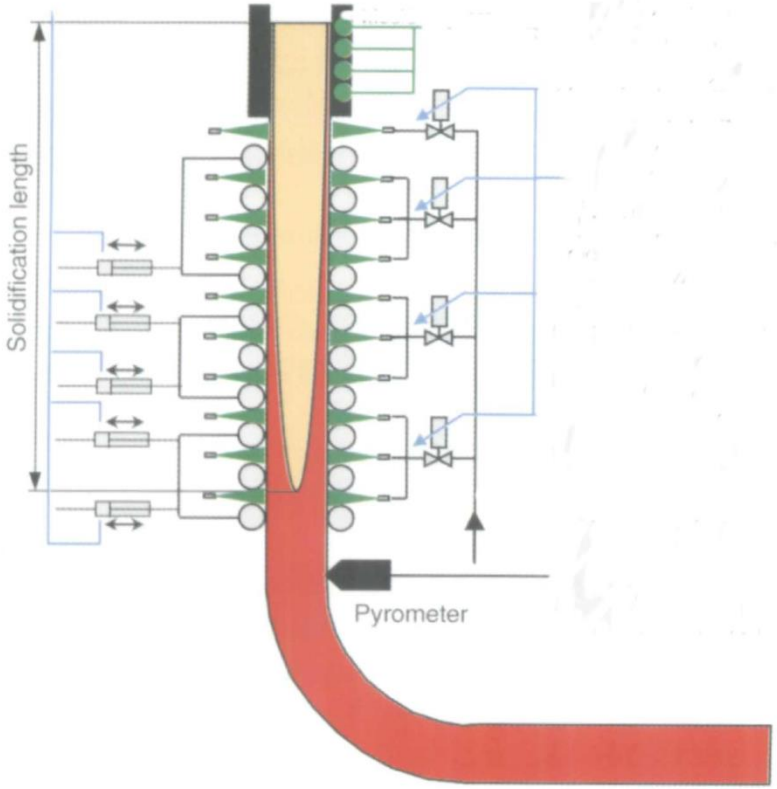
- O molde é feito de cobre - metal de alta condutividade térmica – refrigerado com água e oscila verticalmente para evitar adesão da casca solidificada ao molde.

- O tarugo é suportado por vários rolos guia em seu movimento de descida para evitar que a pressão ferrostática do líquido dobre a casca.

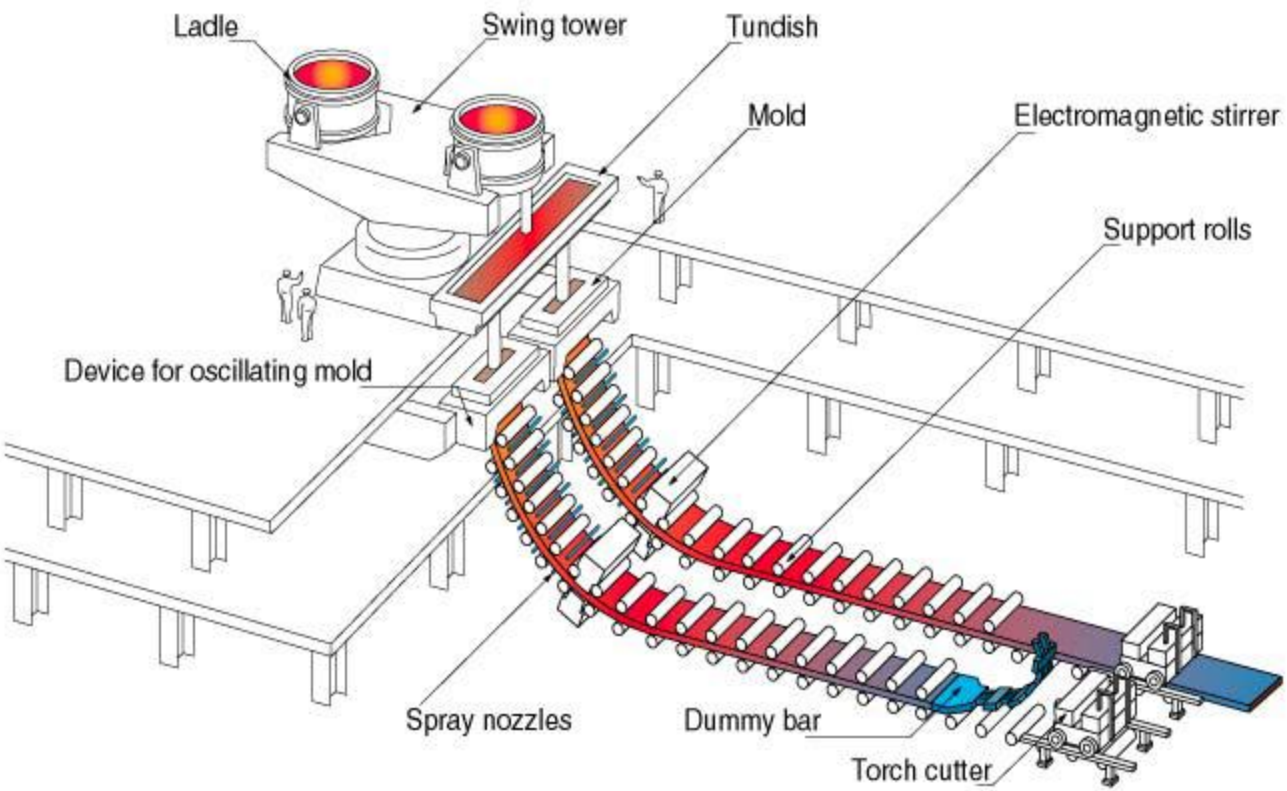
- Nessa zona desenvolve-se a estrutura “bruta de fusão” do material.

- Dependendo da seção transversal da placa ou do tarugo e da velocidade de lingotamento, a zona de resfriamento secundário pode ter de 10 a 40 metros de extensão.

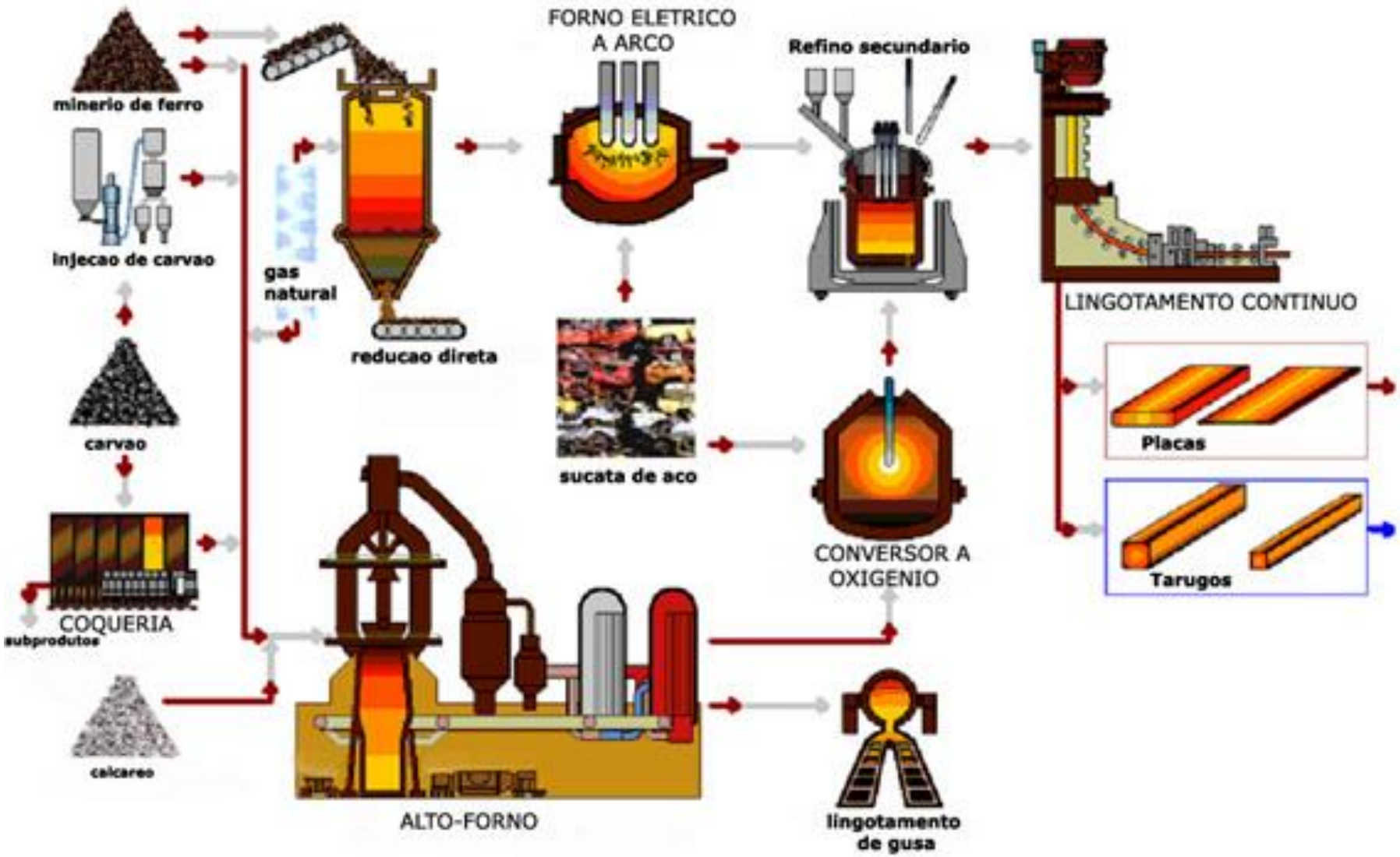
- Ao passar pelo último rolo de sustentação o tarugo entra em uma mesa de saída e é cortada, ainda em movimento, por tochas oxi-acetilênicas.



Two-strand Continuous Slab Caster



Fluxograma da Metalurgia Primária



Laminação

Laminação quanto ao produto:

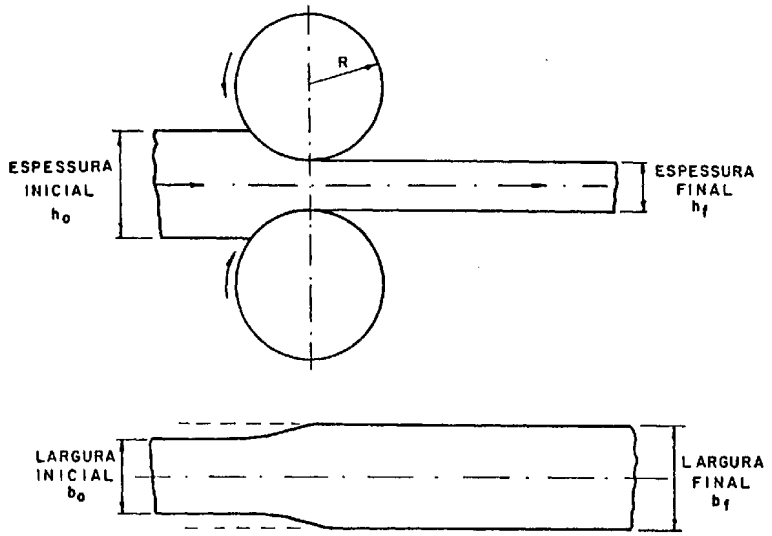
Planos : Placas, chapas, tiras, etc

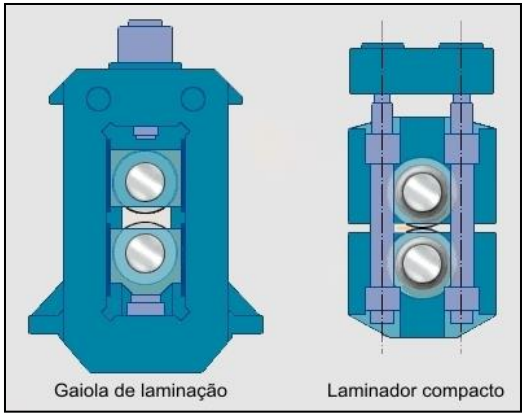
Não-Planos (Longos): barras, perfis, etc

Laminação quanto à temperatura de deformação:

Laminação a quente (c/recristalização)

Laminação a frio (s/recristalização)


R
ESPESSURA
INICIAL
h_o
ESPESSURA
FINAL
h_f
LARGURA
INICIAL
b_o
LARGURA
FINAL
b_f


Gaiola de laminação
Laminador compacto