

Fabricação de aço

Metalurgia Antiga

duas etapas da metalurgia antiga



A—FURNACES. B—FOREHEARTHS.

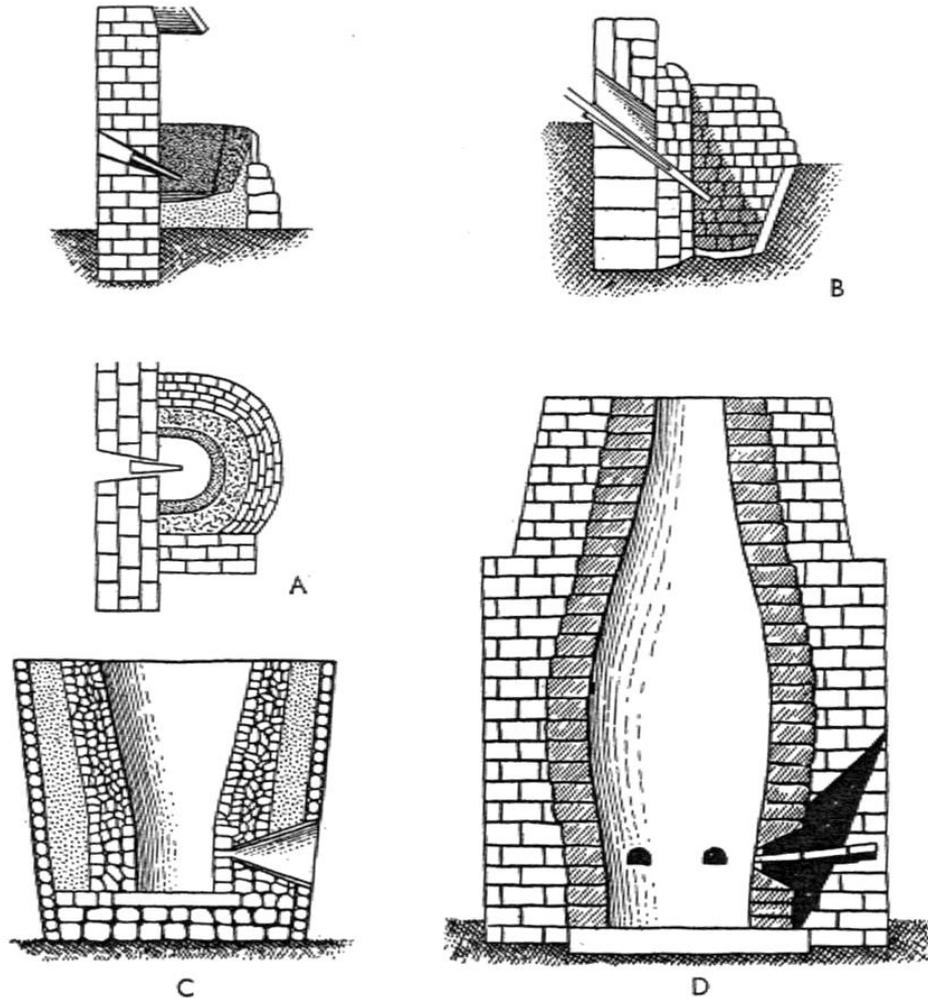
a extração do ferro ocorria no estado sólido

conformação nas forjas com separação da escória, carbonização/ descarburização



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

Evolução dos processos siderúrgicos



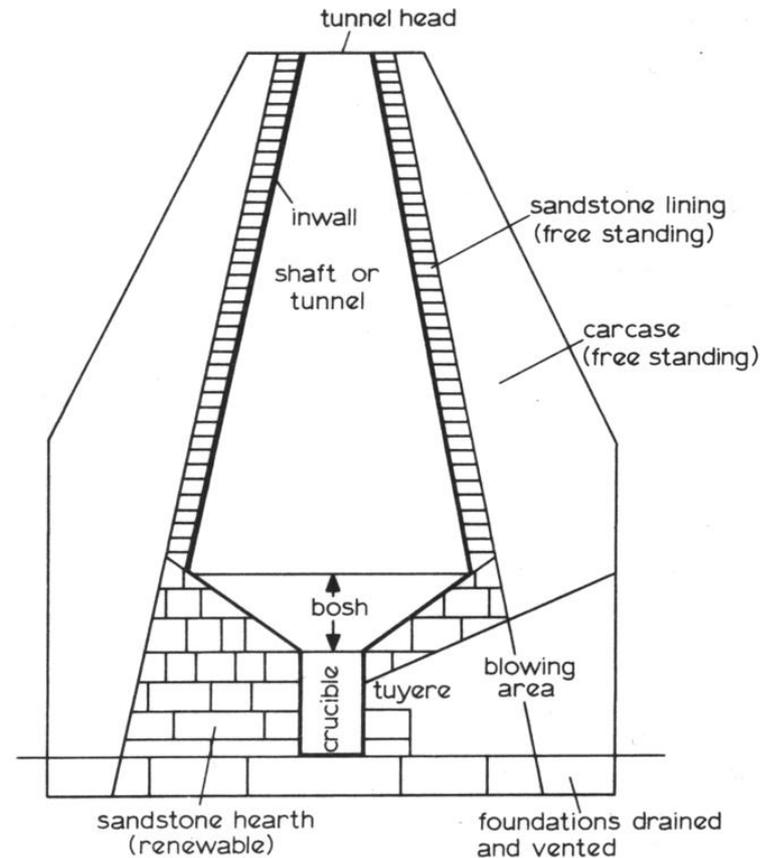
A: Forja Corsa; B: Forja Catalã; C: Forno Osmund; D: Stucköven

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

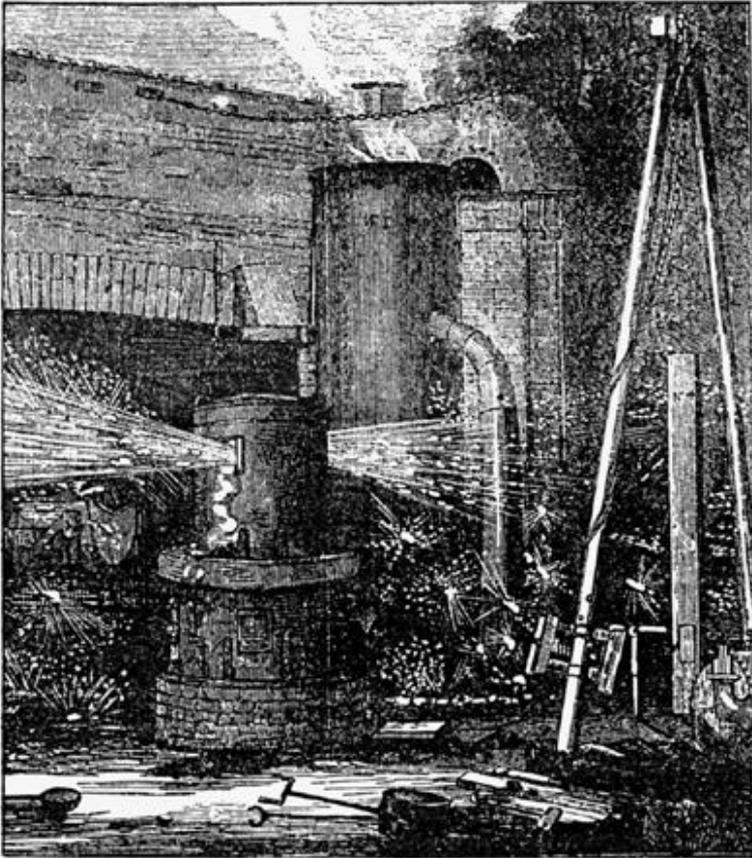
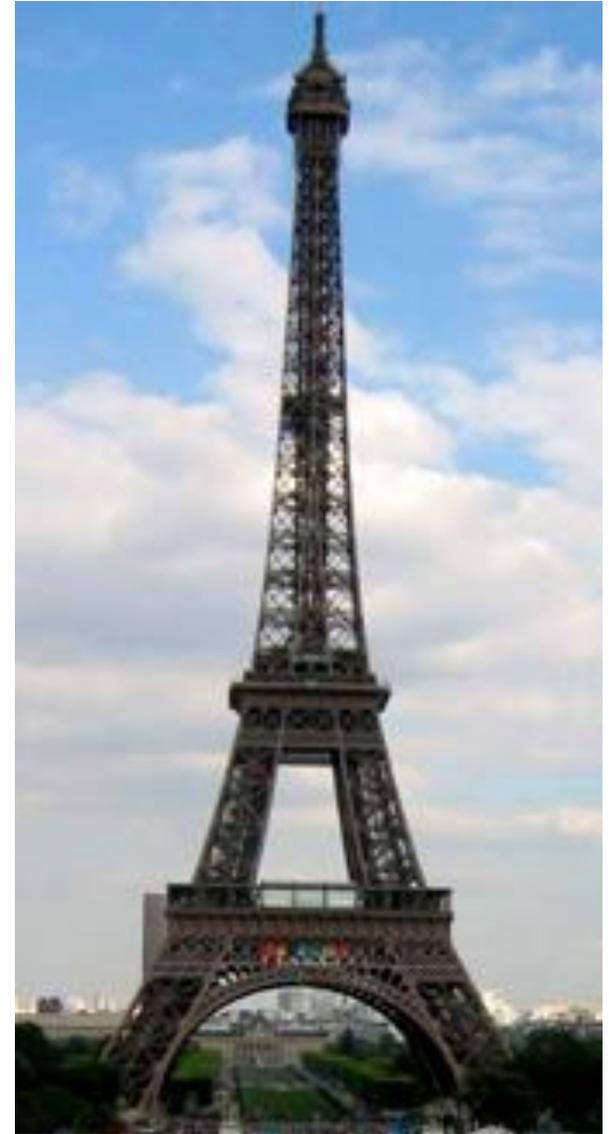


FIGURE 15—Bessemer's fixed converter. (Centre rear) Cupola furnace on the usual principle; (foreground) the Bessemer furnace; (extreme left) vessel in which the crude iron is received from the smelting furnace and then passed into the refining chamber.

- 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



Processo de produção de aço

A partir de minério de ferro em usinas integradas

Etapas principais

- **Redução** do minério de ferro a ferro metálico em altos-fornos, obtendo ferro gusa líquido
- **Conversão** do ferro gusa em aço líquido, pela “queima” do carbono do gusa em convertedores a oxigênio (LD);
- **Refino secundário (purificação)** do aço
- Solidificação do aço em forma de placas (**lingotamento**).

Obtenção de Ferro e Aço

Em usinas semi-integradas

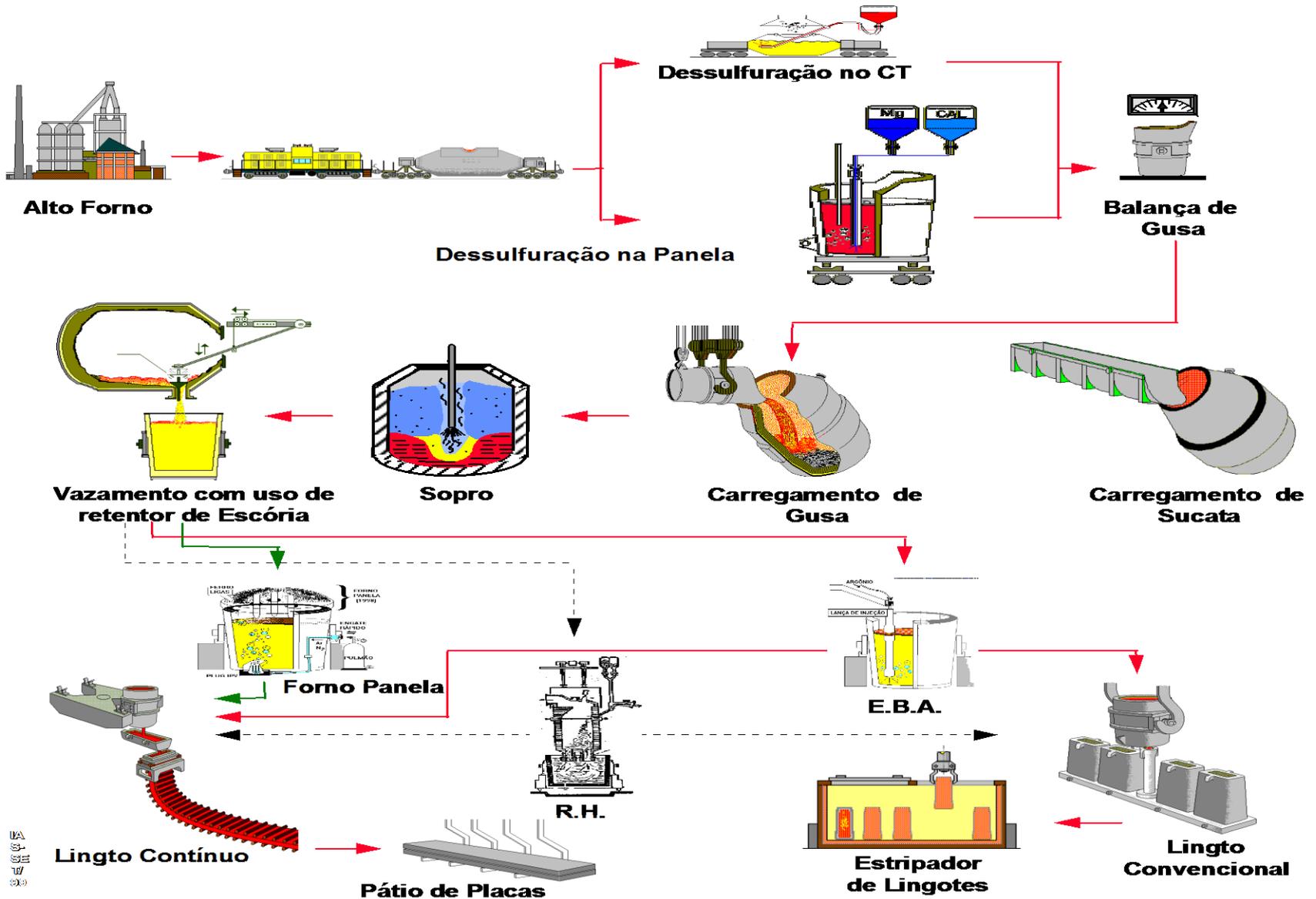
- Redução direta de **minério de ferro** seguida de fusão em fornos elétricos

-

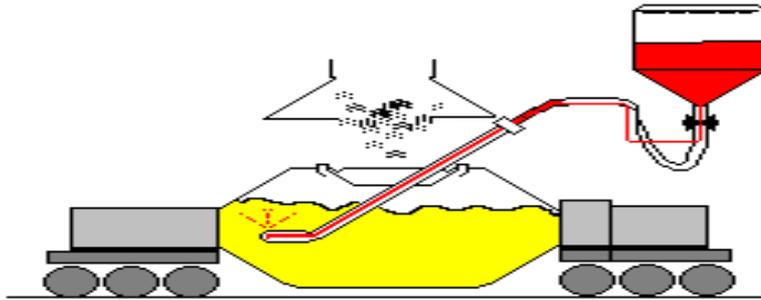
A partir de **sucata** de ferro e aço:

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

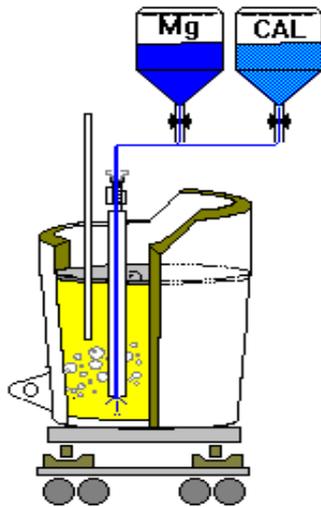
Fluxo do Processo de Aciaria LD



Pré-tratamento do gusa

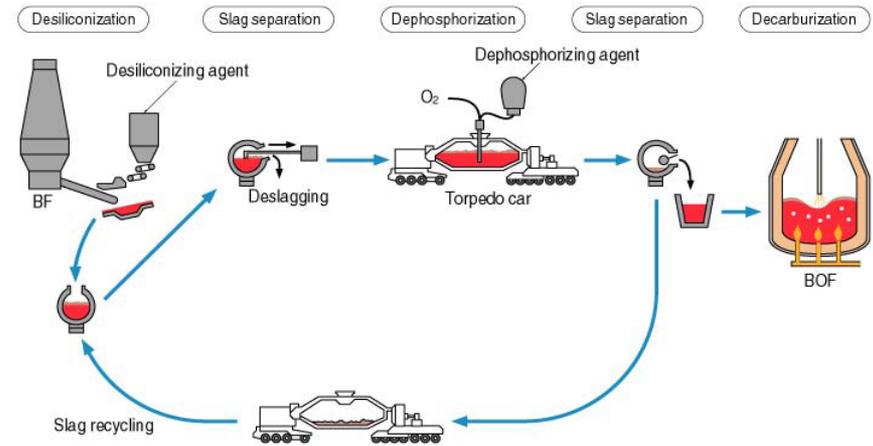


Dessulfuração de gusa em carro Torpedo



Dessulfuração de gusa na panela

Example of Hot Metal Pretreatment Process



Fabricação de Aço

Convertedor a Oxigênio (processo LD, ou BOF)

Ferro gusa líquido e sucata de aço são carregados em conversor e submetidos a sopro de oxigênio puro.

A queima do carbono (e do silício) do gusa causa aumento de temperatura e diminuição do teor de carbono (até entre 0,03 a 0,06 de carbono).

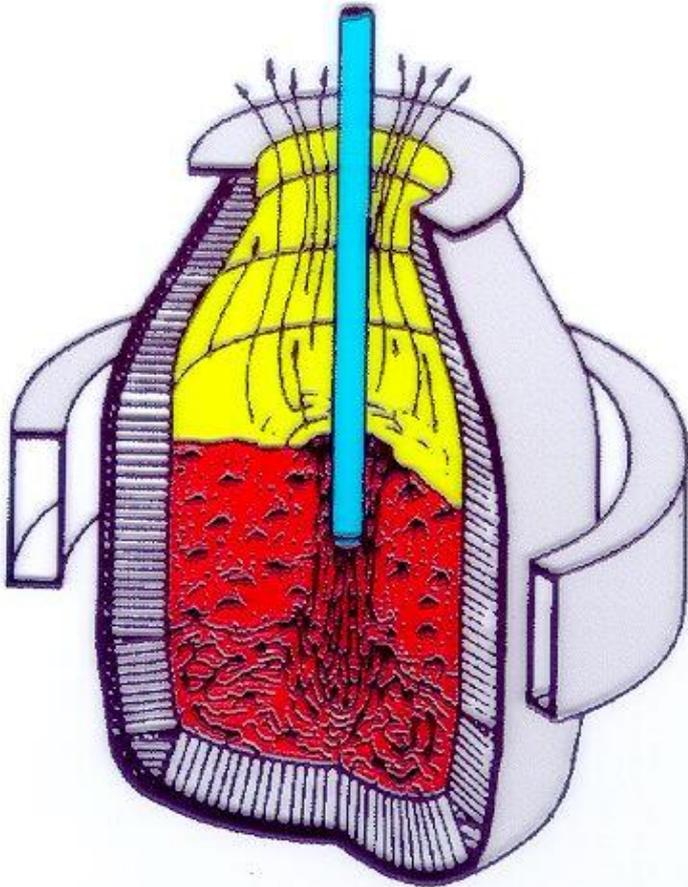
Adiciona-se cal para neutralizar o óxido de silício formado.

Produtos finais: Aço líquido e escória de aciaria, além do gás de aciaria



- principais reações
$$2\text{C} + \text{O}_2 \rightarrow 2\text{CO}$$
$$\text{Si} + \text{O}_2 \rightarrow \text{SiO}_2$$
$$2\text{Mn} + \text{O}_2 \rightarrow 2\text{MnO}$$
$$2\text{P} + 5/2 \text{O}_2 \rightarrow \text{P}_2\text{O}_5$$
- Ocorre parcialmente:
$$2\text{Fe} + \text{O}_2 \rightarrow 2\text{FeO}$$

Processo LD (BOF)



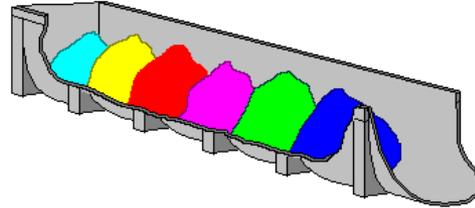


Processo L.D. - Operação do Conversor

___ O ciclo de operações de refino no L.D. envolve seis (6) etapas:

- a) Carregamento de carga sólida
- b) Carregamento do gusa líquido
- c) Sopro
- d) Medição de temperatura e retirada de amostras
- e) Vazamento
- f) Vazamento de escória

Carregamento de carga sólida



Processo L.D. - Sucata

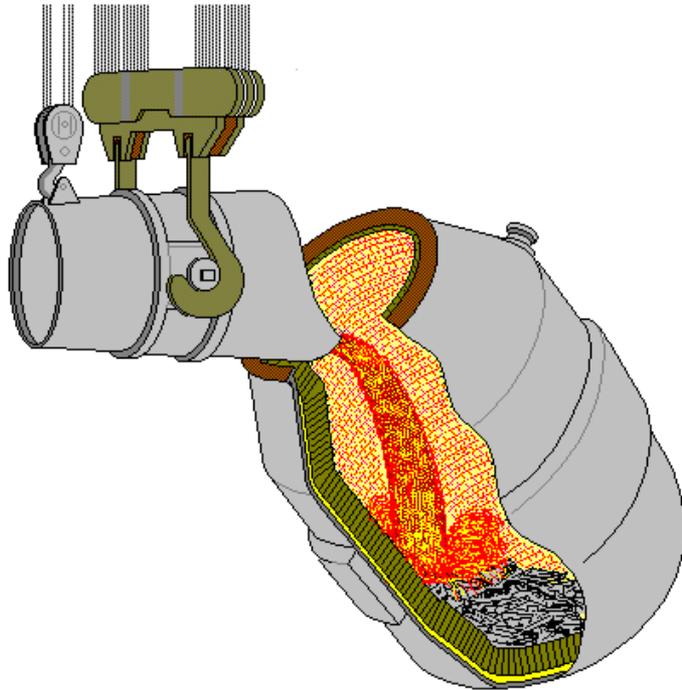
é vantajoso proporção alta de sucata, uma vez que seu teor de ferro é superior ao do gusa. É usado sucata de retorno da própria usina e também sucata comprada.

dimensões da sucata: permitir completa fusão durante o sopro e não causar estragos ao revestimento do conversor no carregamento.

deve estar completamente seca, para evitar o risco de explosões.

Carregamento de gusa líquido

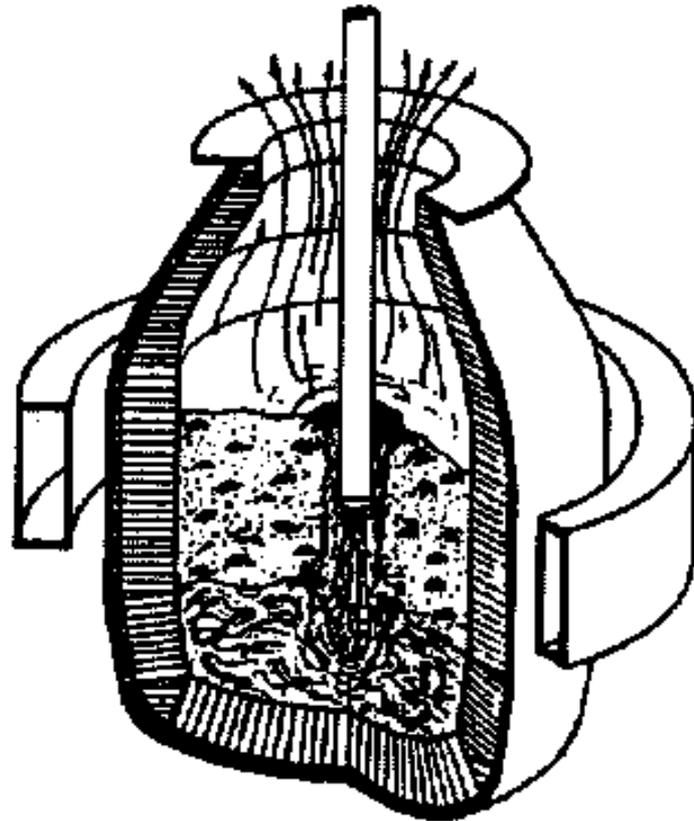
Processo L.D. - Gusa Líquido



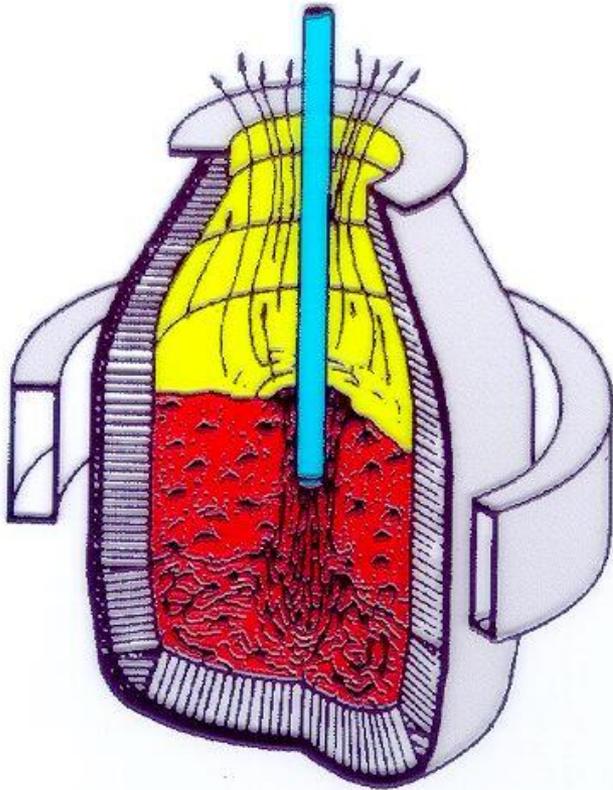
A proporção de gusa líquido na carga do conversor depende de sua composição e temperatura (conteúdo térmico), da qualidade do aço a ser produzido, do volume das adições de cal, minério e carepa, e em parte das dimensões do conversor. Normalmente varia entre 70 e 85%.

Processo L.D. - Operação do Conversor _ Sopro

Terminado o carregamento do gusa líquido o conversor é trazido novamente à posição vertical, a lança de oxigênio é baixada e o sopro iniciado, já durante a descida da lança.



Processo LD (BOF)





Processo L.D. - Sopro- Adição de Cal e fundentes

A adição de cal no conversor L.D. é necessária para a escorificação da sílica formada pela oxidação do silício da carga metálica e para a remoção do fósforo e enxofre. Além disso uma quantidade de CaO suficiente para diminuir o ataque dos refratários deve ser mantido na escória. A cal utilizada no processo deve ser de alta reatividade.

Fluorita, CaF_2 : fundente da cal, para acelerar a sua dissolução e aumentar a fluidez de escórias muito viscosas.

Outros fundentes: os aluminatos (especialmente bauxita) e boratos.

Reações durante o sopro

Reações :



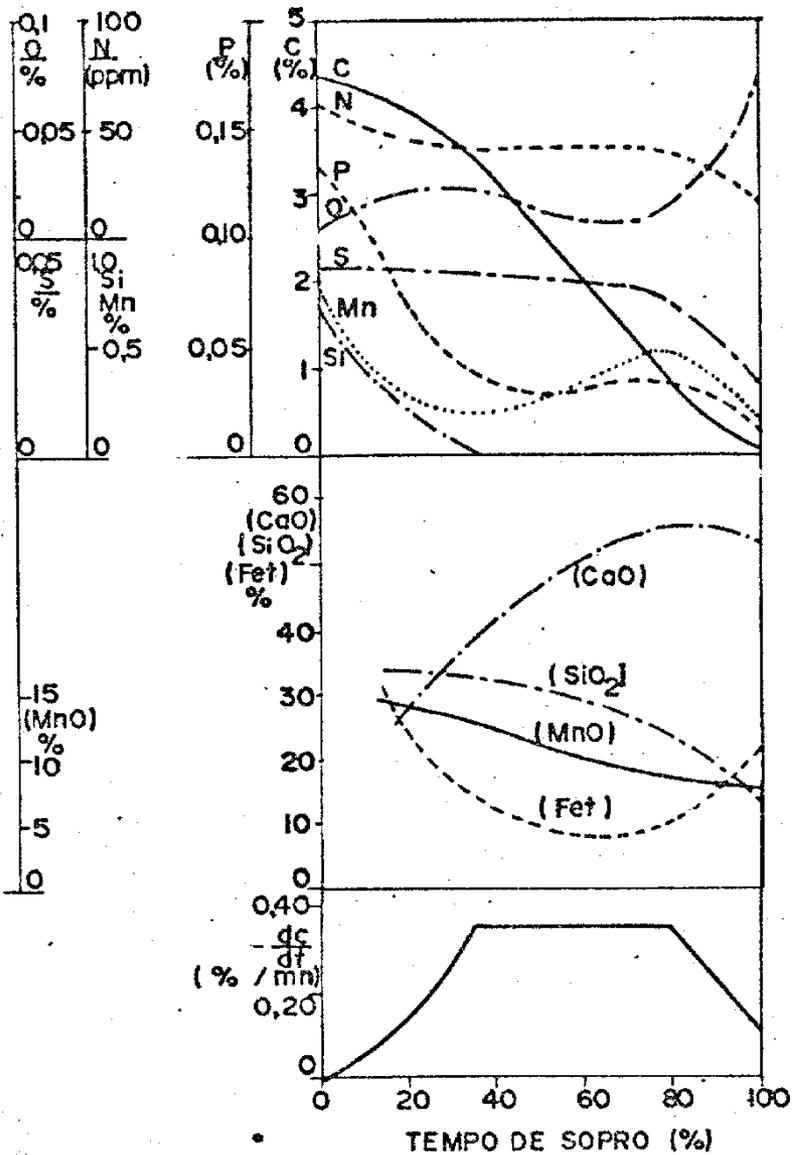
Reações de Refino

Praticamente todas as reações que ocorrem no processo L.D. são exotérmicas, isto é, liberam calor ; principalmente as reações de oxidação do silício e manganês. Desta forma, há uma elevação acentuada na temperatura do banho.

Terminada a oxidação do silício, que corresponde à primeira etapa do sopro, o aumento da temperatura e a formação de uma emulsão metal-gás-escória criam condições em que a única reação importante é a descarburagem (segunda etapa), cuja a velocidade atinge valores só limitados pelo oxigênio disponível.

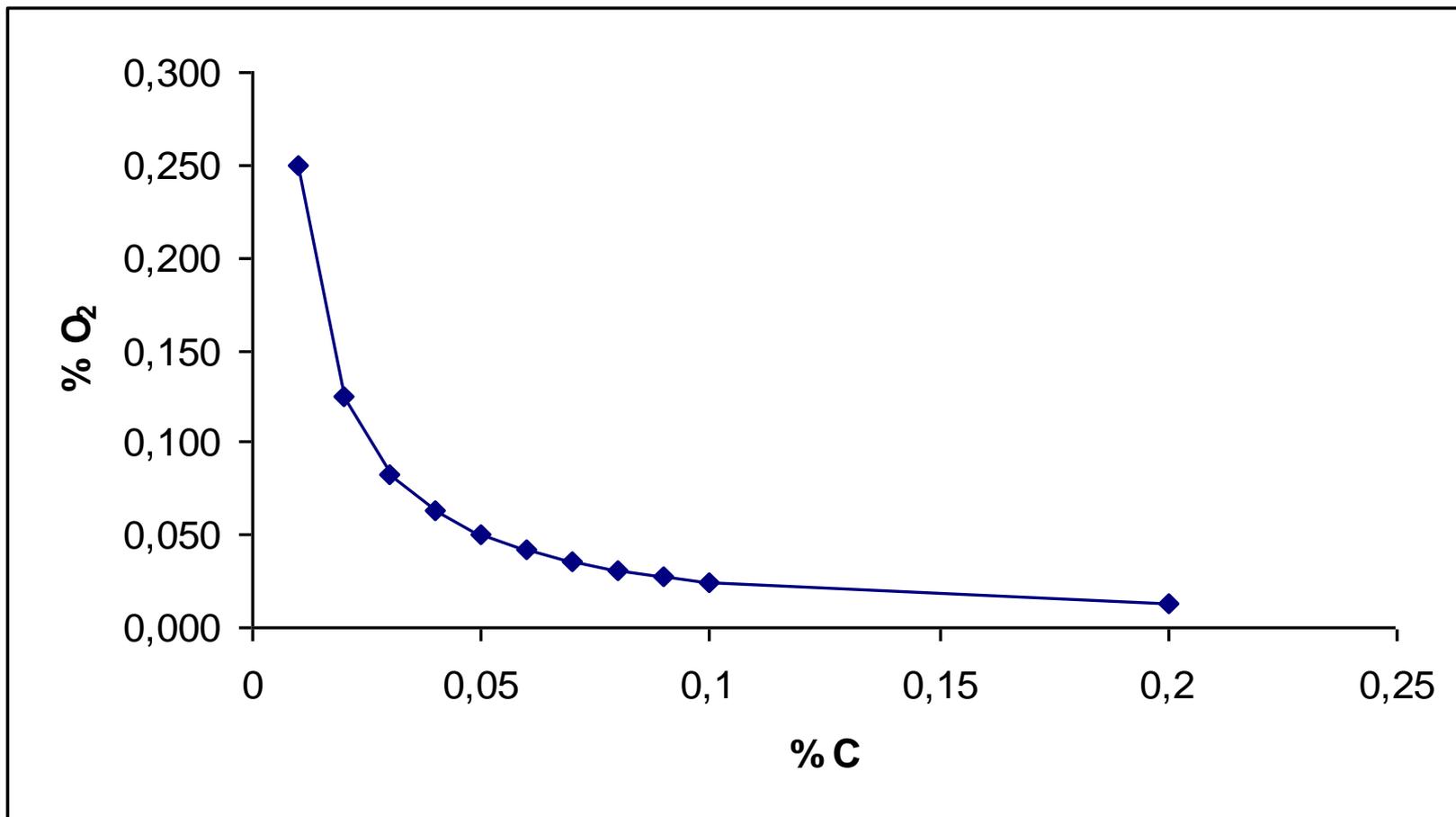
Reações :





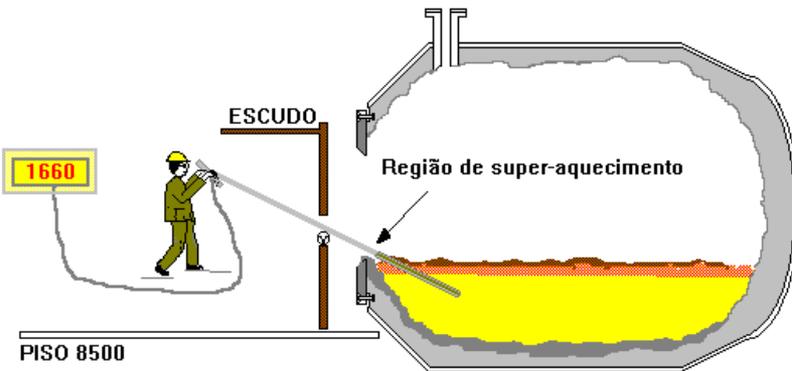
- À medida que o carbono vai sendo oxidado o teor de oxigênio aumenta segundo uma relação:

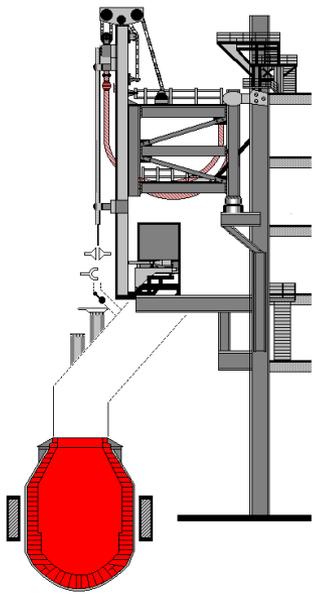
$$\% \text{ C} \times \% \text{ O}_2 = 0,0025$$



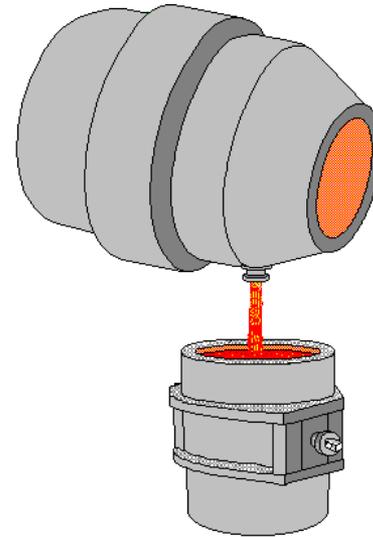
Medição de temperatura e retirada de amostras

Assim que o sopro é interrompido o conversor é basculado para posição horizontal, a fim de se medir a temperatura e retirar amostras de aço e escória. Se a composição química e a temperatura correspondem ao especificado o conversor é basculado no sentido contrário para vazamento da corrida na panela de aço.

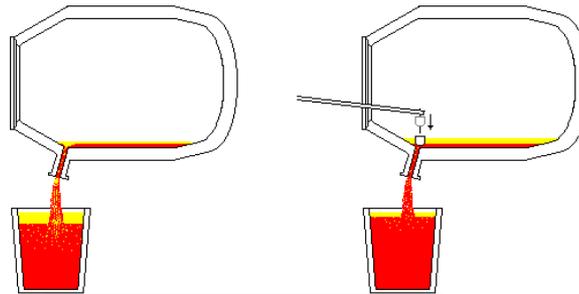




Sublança



vazamento



Vazamento de escória

Processo L.D. - Operação do Conversor- Vazamento

O processo L.D. é oxidante, e portanto o aço a ser vazado precisa ser desoxidado. Isto é feito durante o vazamento para a panela, por meio de Alumínio e/ou Silício, jogados diretamente no jato de aço através de calhas direcionais. Durante o vazamento são adicionados ainda as ferro-ligas, que irão conferir ao aço certas características desejadas. Esse material é adicionado através da mesma calha direcional mencionada acima.

O tempo de vazamento deve ser controlado, para minimizar a passagem de escória para panela, evitar oxidação excessiva do metal pelo ar bem como perdas elevadas de temperatura, de maneira a permitir uma produtividade adequada.

Processo L.D. - Operação do Conversor- vazamento da escória

Após o vazamento o conversor é basculado completamente para o lado de carregamento e a escória é vazada no pote, pela sua boca, e ele volta à posição inicial de carregamento, reiniciando o ciclo.

A panela de aço, após medição de temperatura, é encaminhada para as máquinas de lingotamento contínuo ou para o lingotamento convencional.

Processo L.D. - Noções do Controle de Processo

A finalidade do controle de processo é a obtenção, no final do sopro, do peso de aço visado, na temperatura e com a composição química desejadas.

Para isso são utilizadas várias técnicas, com distintos graus de refinamento, dependendo das condições locais e opções técnico-econômicas.

Controle mais simples: é efetuado pelo soprador, que se apoia apenas na sua experiência pessoal, e na observação visual da chama para a avaliação do teor de C e temperatura, e a definição das medidas a serem adotadas para a interrupção do sopro no momento adequado.

Processo L.D. - Noções do Controle de Processo

Mais comumente utiliza-se um modelo matemático que pode ser mais ou menos complexo, abrangendo número variável de parâmetros, e que fornece ao soprador subsídios para a condução do sopro.

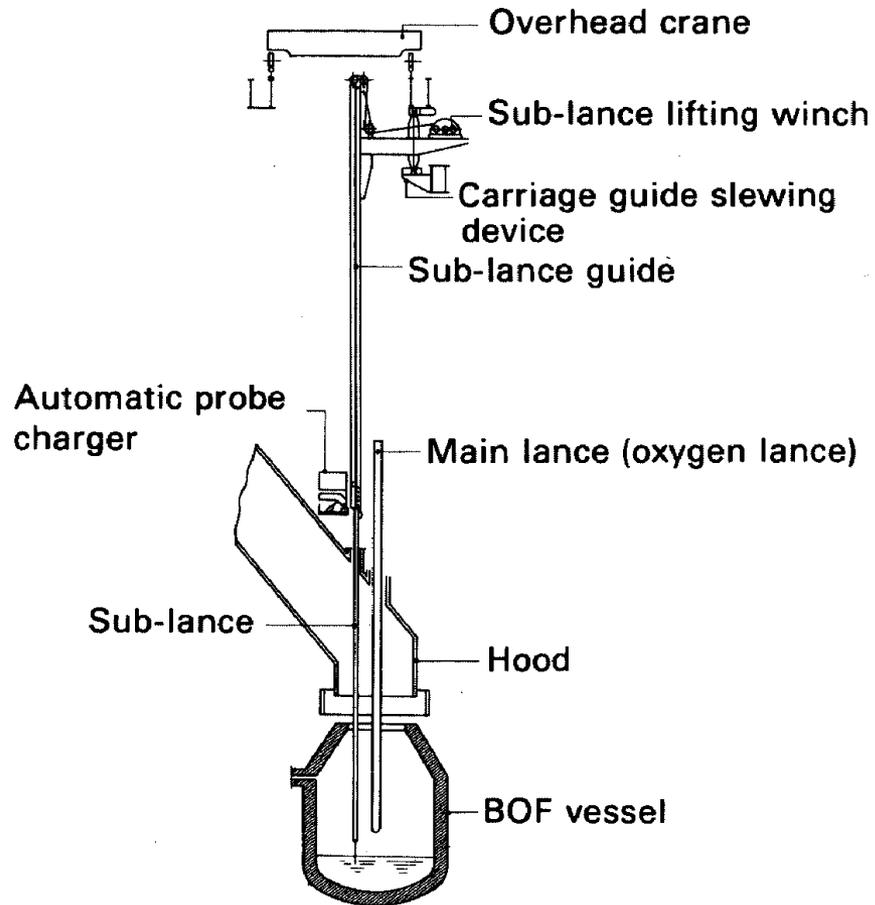
Esses modelos são classificados genericamente em **estáticos**, quando os cálculos são realizados a partir de dados levantados do início do sopro; e **dinâmicos**, quando utilizam informações colhidas durante o sopro e determinam ações corretivas.

Tempo de sopro da corrida

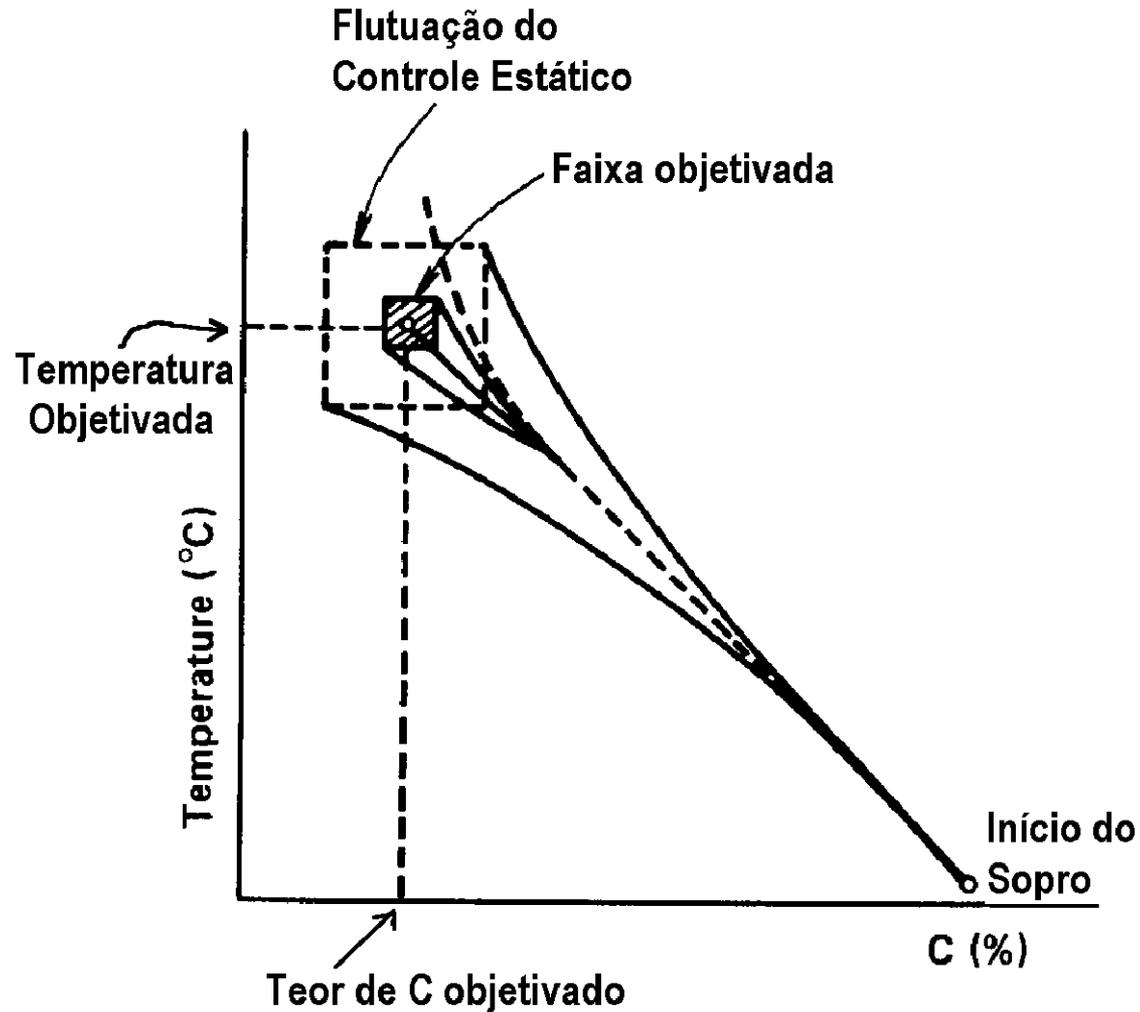
depende do:

- CFS
- Vazão de oxigênio
- Relação CO/CO₂ (análise de gás)
- Olhômetro (aspecto da chama)

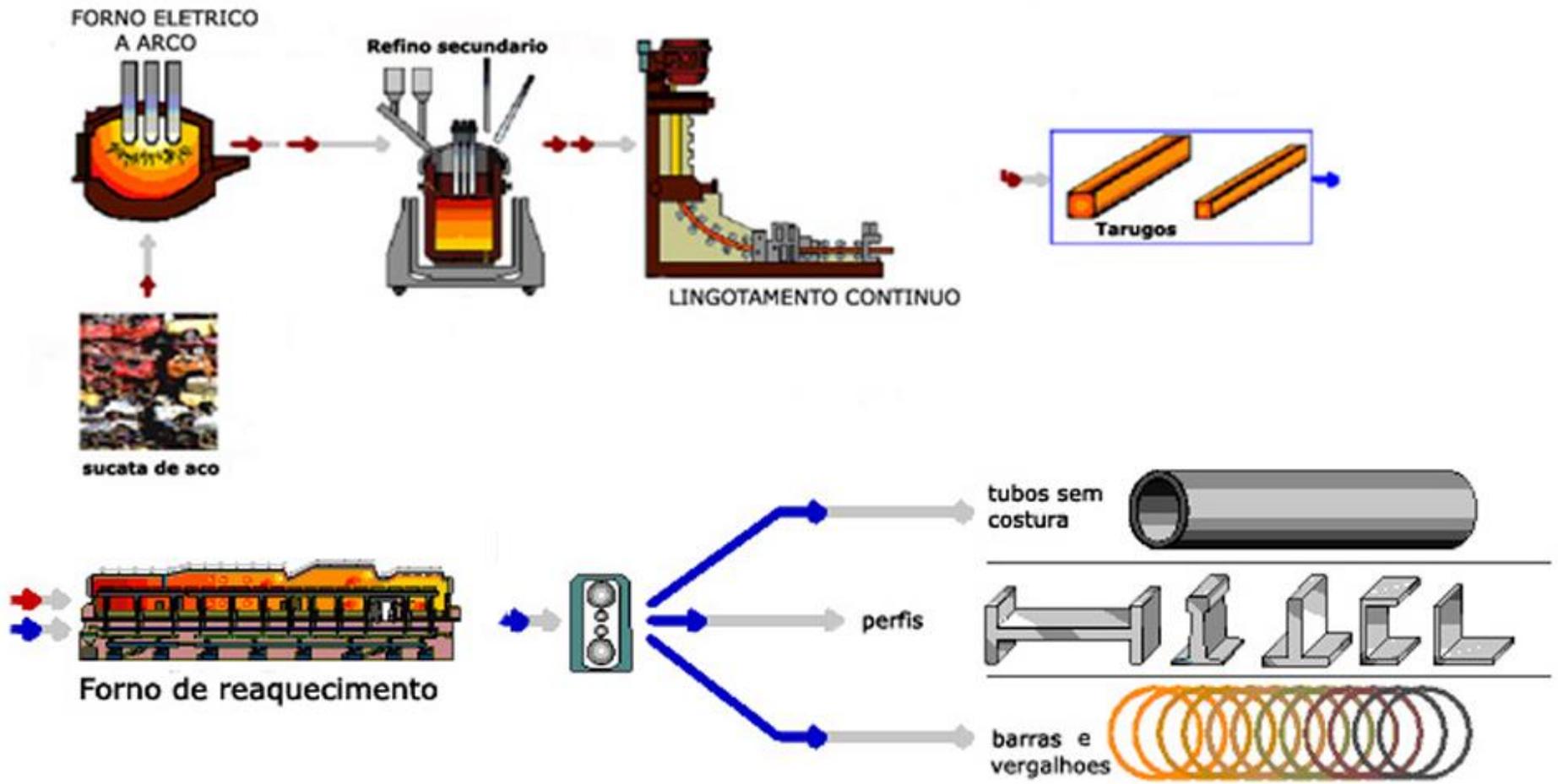
Esquema de uma sublança



Filosofia do controle dinâmico por sublança



Usinas semi-integradas

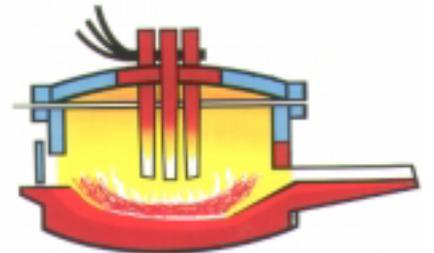
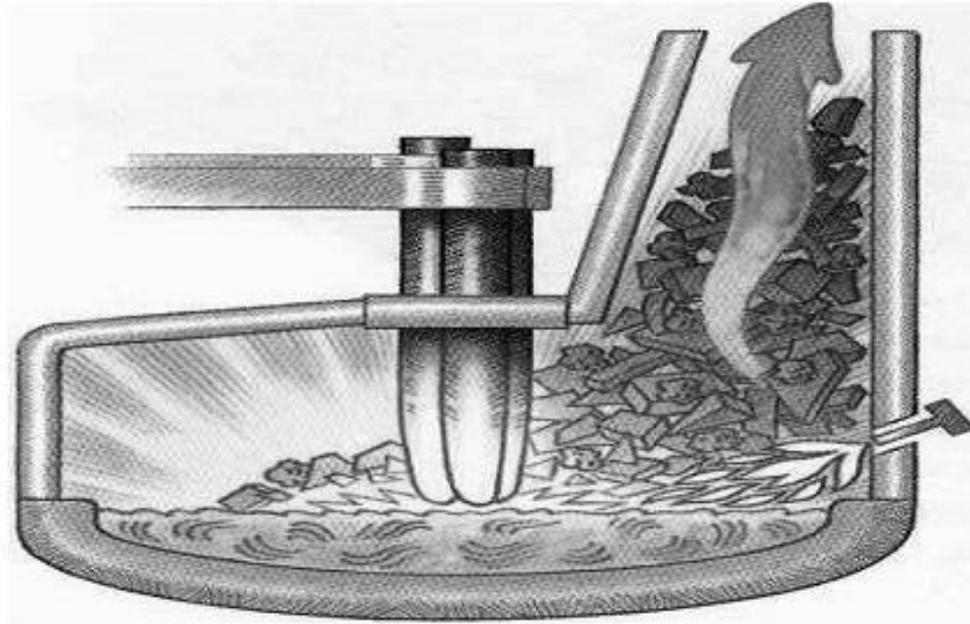


Forno elétrico

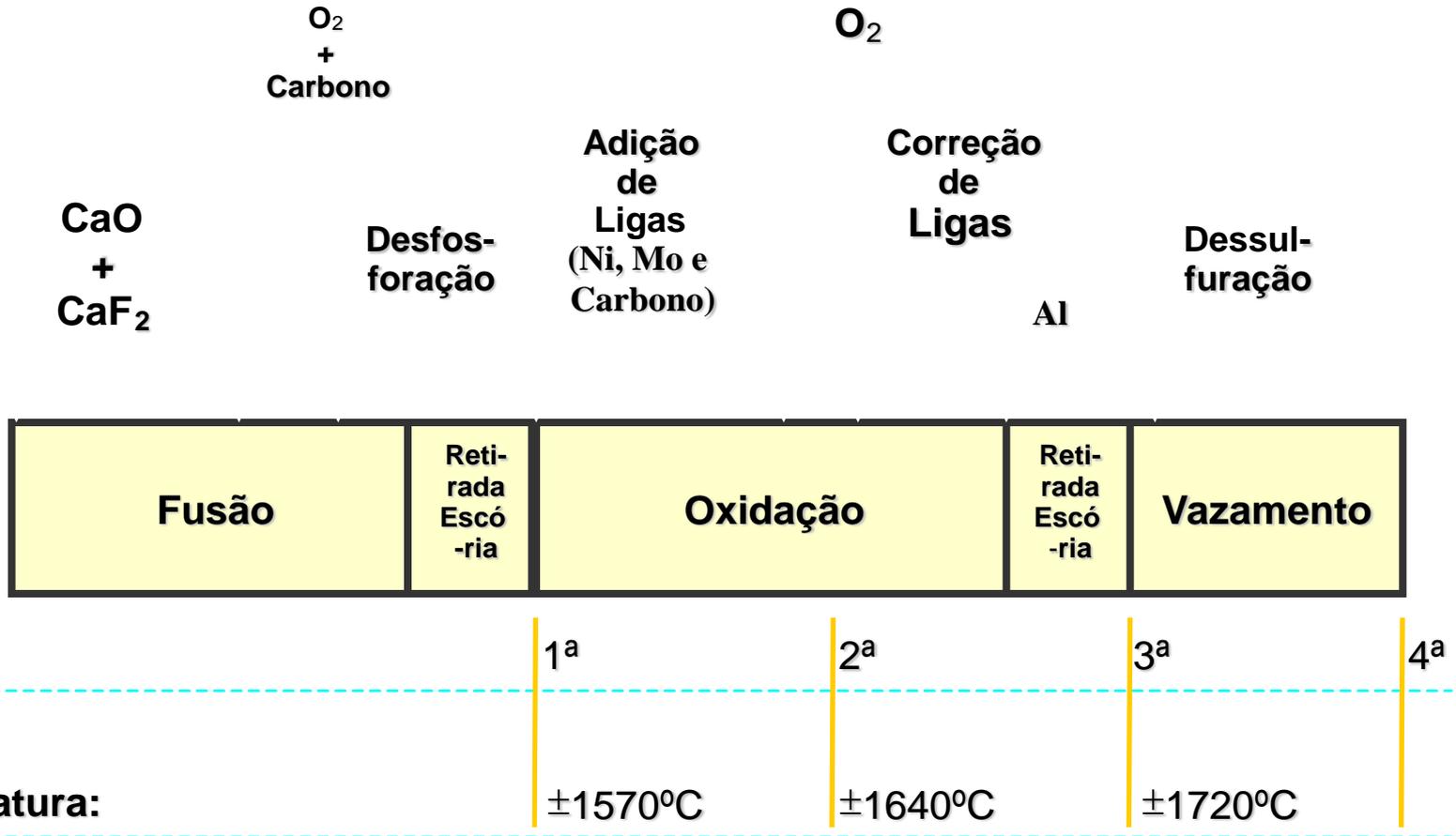
- 25% da produção mundial de aço é feita em forno elétrico.
- Arco elétrico de elevada corrente para fundir e obter aço líquido.
- Controle mais acurado da temperatura do banho,
- O nitrogênio, elemento que fragiliza o aço, é absorvido da atmosfera em contato com a superfície do banho metálico, na zona de abertura do arco elétrico. Sua eliminação pode ser conseguida com operações adicionais de injeção de CO ou argônio.
- 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.



Forno Elétrico (fusão)



Processo de fabricação do forno elétrico

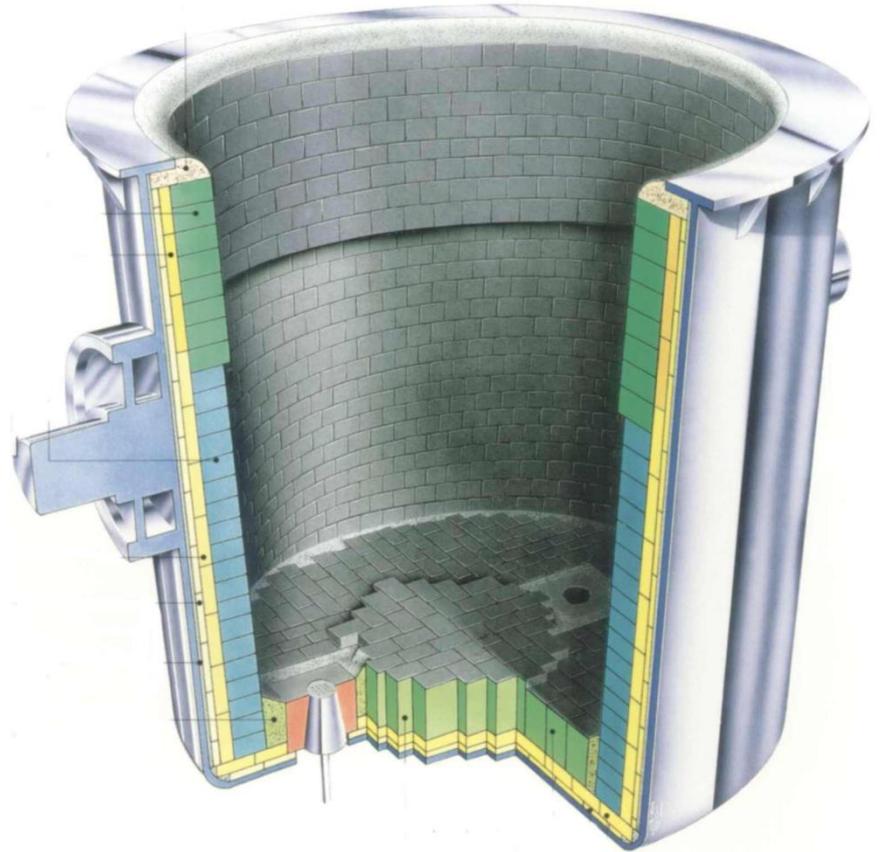


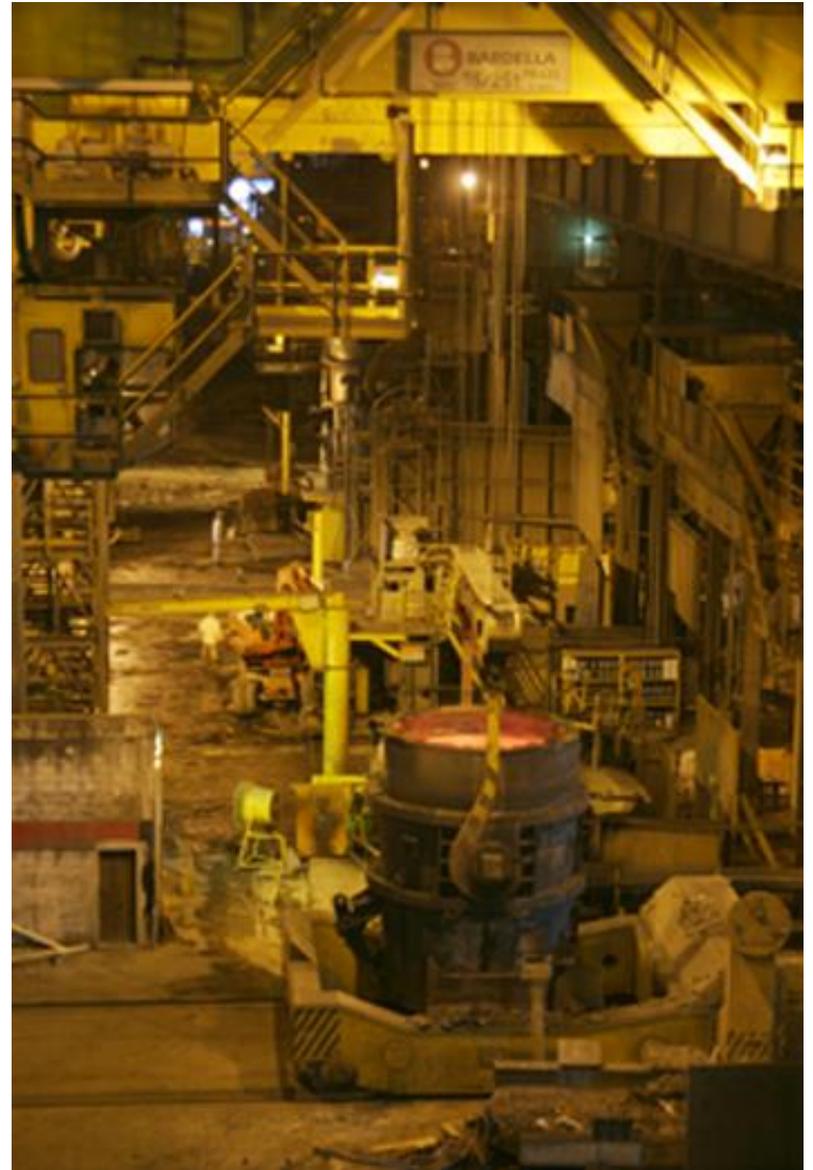
Metalurgia secundária do aço ou Refino Secundário

- O tratamento do aço na panela é uma prática comum nas aciarias.
- Reduz custos ao utilizar o forno elétrico como equipamento de fusão rápida.
- O ajuste final de composição química e de temperatura feito na panela.
- Algumas reações metalúrgicas ocorrem de maneira mais eficiente na panela.
- Principais equipamentos de metalurgia secundária:
 - Forno panela
 - Desgaseificadores

Refino secundário

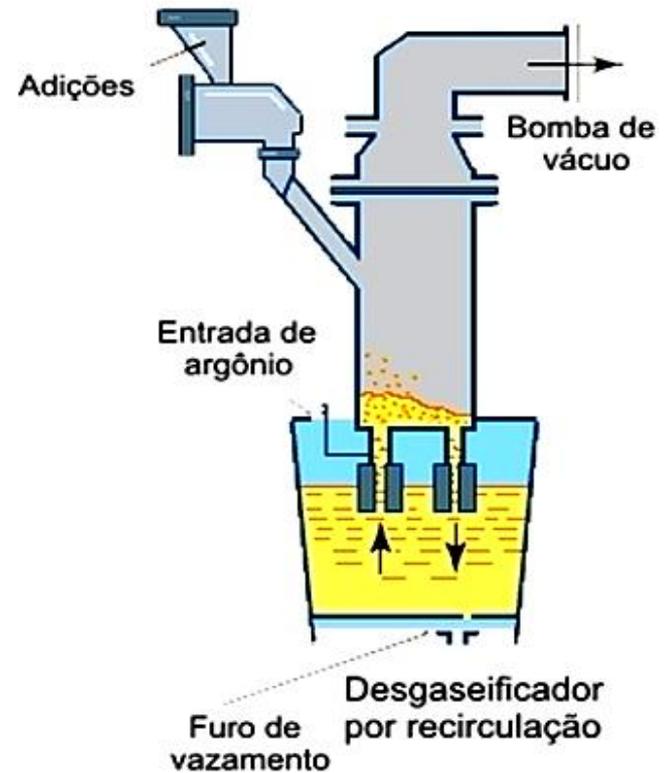
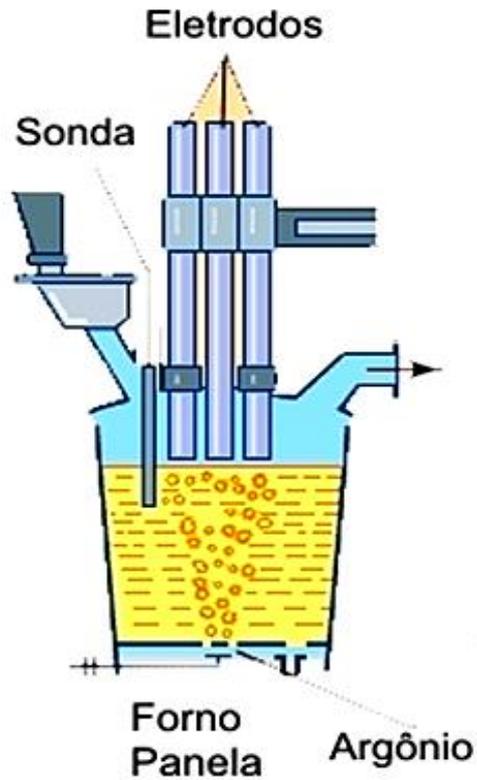
- O tratamento secundário do aço líquido é feito em panelas de manutenção e transporte.
- Nessas operações pode-se tirar a escória, aquecer eletricamente ou através de tochas de plasma, resfriar o banho através da adição de sucata fria, injetar pó ou arame metálico ou ainda promover agitação pelo borbulhamento de gás ou agitação magnética.
- A maneira mais simples de tratar os aços na panela consiste em adicionar desoxidantes, dessulfurantes, formadores de escória e pequenas quantidades de elementos de liga no jato de vazamento,





Refino secundário

Equipamentos especiais transformam o aço bruto naquele especificado pelo cliente



Refino secundário

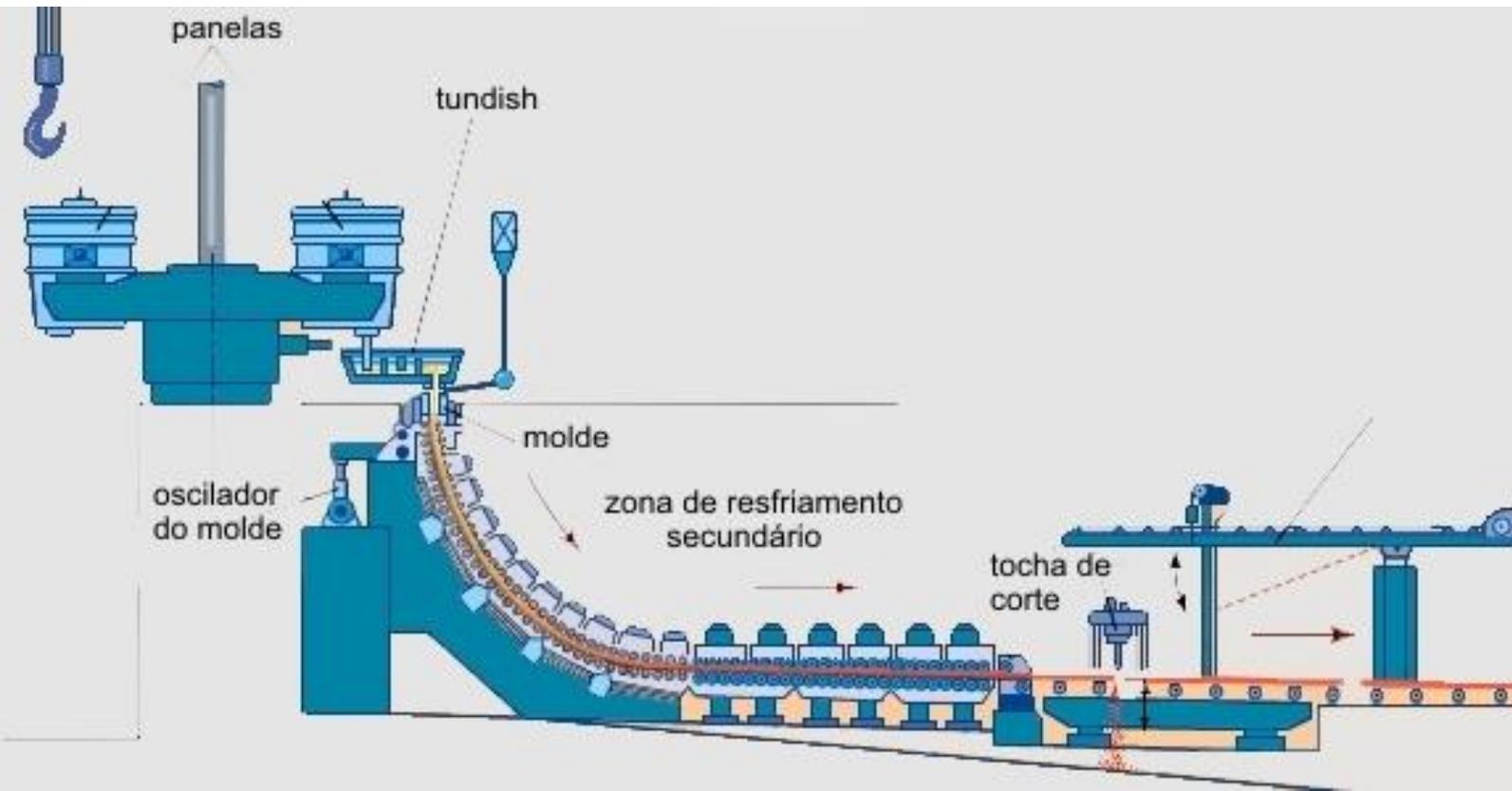


Metalurgia secundária e inclusões

- Eliminação das impurezas oxigênio (O), enxofre (S), nitrogênio (N), hidrogênio (H) e o fósforo (P).
- O oxigênio, o enxofre, o fósforo e o nitrogênio formam compostos denominados inclusões (óxidos, sulfetos, nitretos), que quase sempre são prejudiciais para as propriedades mecânicas do aço
- As inclusões diminuem a plasticidade e a tenacidade, favorecendo a formação de trincas e de defeitos superficiais.
- O hidrogênio, pode em certas condições causar o aparecimento de trincas internas no aço.

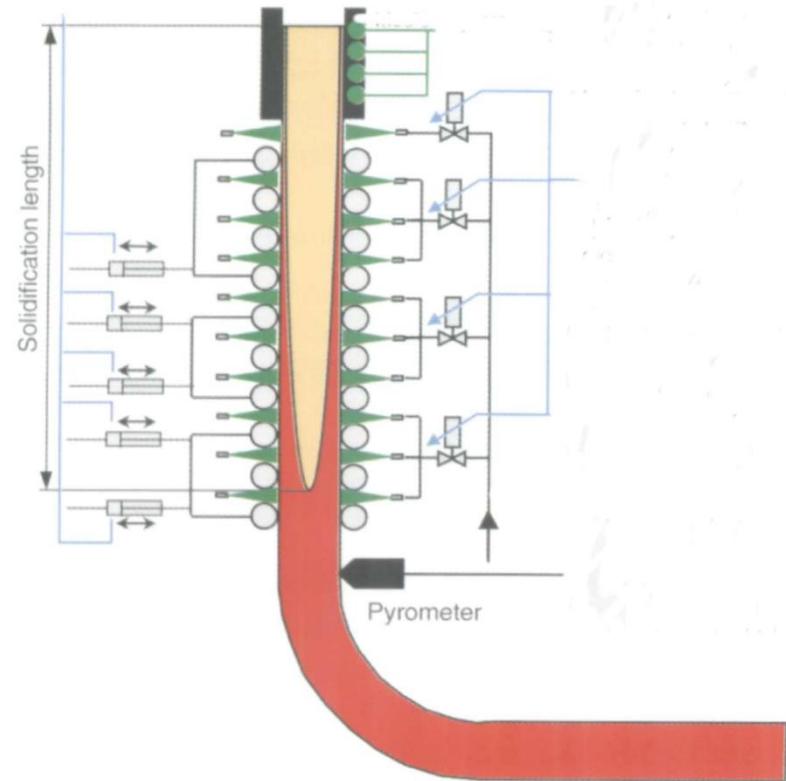
Lingotamento contínuo de aço

- 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.

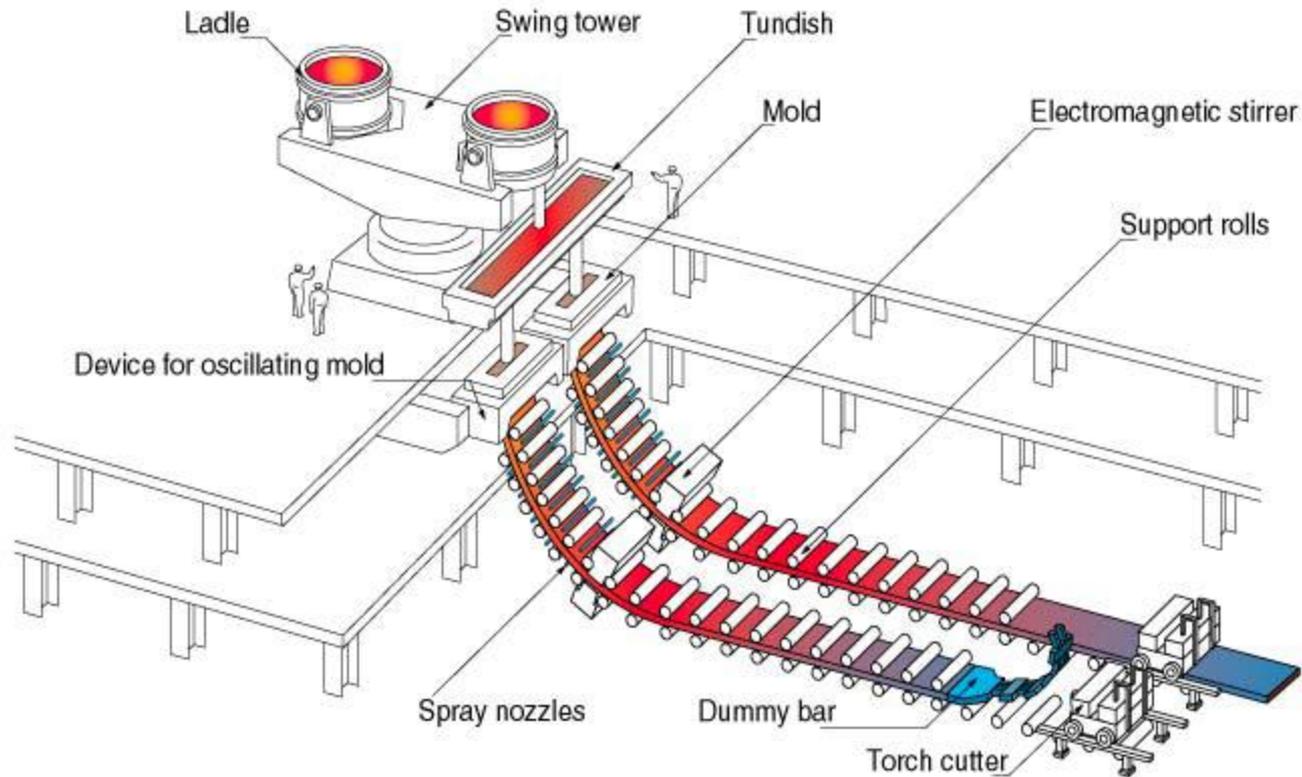


Lingotamento contínuo

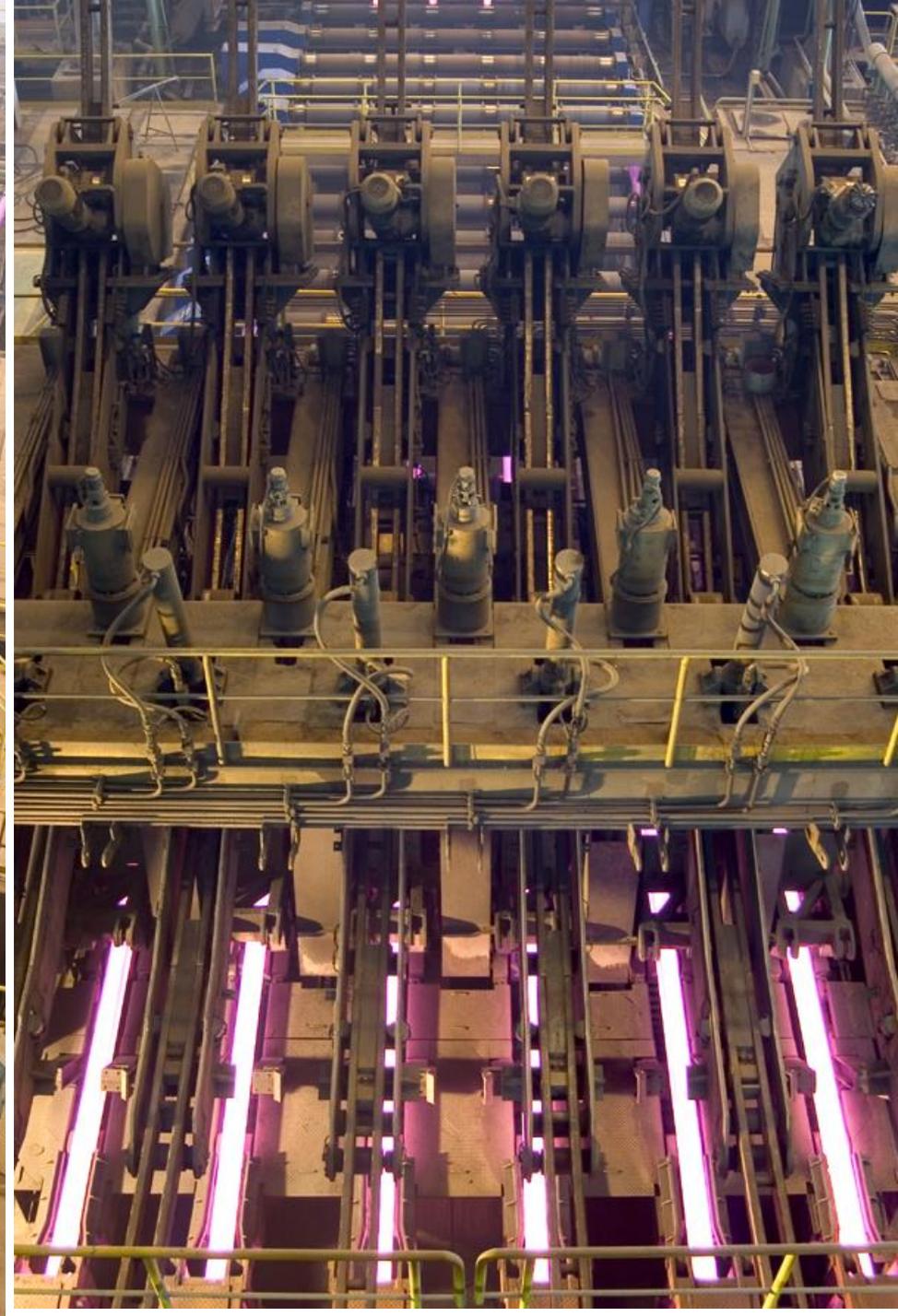
- O molde é feito de cobre - metal de alta condutividade térmica – refrigerado com água e oscila verticalmente para evitar adesão da casca solidificada ao molde.
- O tarugo é suportado por vários rolos guia em seu movimento de descida para evitar que a pressão ferrostática do líquido dobre a casca.
- 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







Perfís obtidos por lingotamento contínuo

Blocos



400 X 600

Tarugos



200 X 200



500 dia.

Redondos



140 dia.



1048 X 450

VIGAS CONVENCIONAIS



438 X 381

PLACAS GROSSAS E MÉDIAS



400 X 100

3200 X 218

Vigas com forma próxima da final



Placas finas

1680 X 50

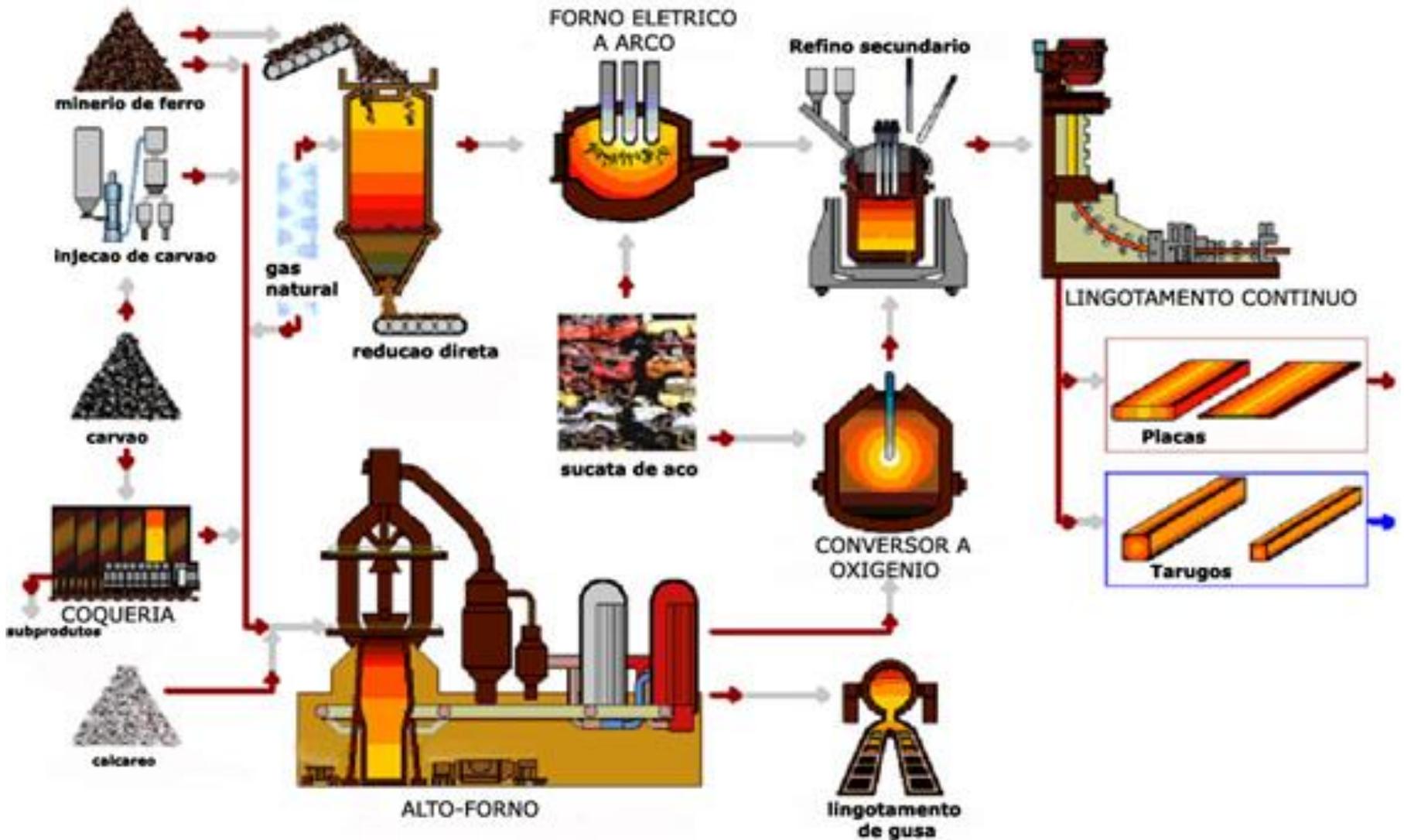


850 X 250

Placas de Aço



Fluxograma da Metalurgia Primária



Laminação

Laminação quanto ao produto:

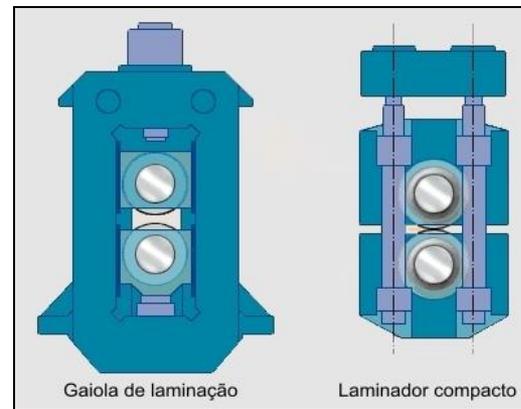
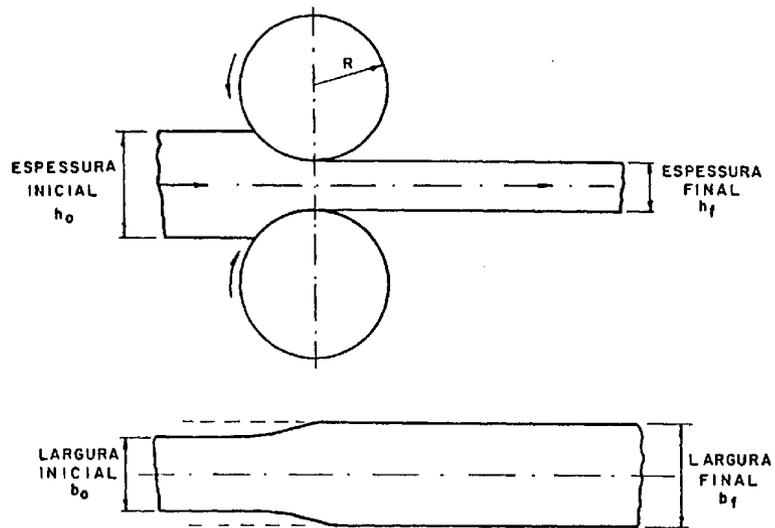
Planos : Placas, chapas, tiras, etc

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

Laminação quanto à temperatura de deformação:

Laminação a quente (c/recristalização)

Laminação a frio (s/recristalização)



Placa → produto semi-acabado, transformado em

– CG → chapa grossa

–TQ → tiras a quente:

– Decapagem → L. Acabamento

– TFF → tiras finas a frio:

- Recozimento → L. Encruamento

Tarugos → semi-acabado, para produtos longos.

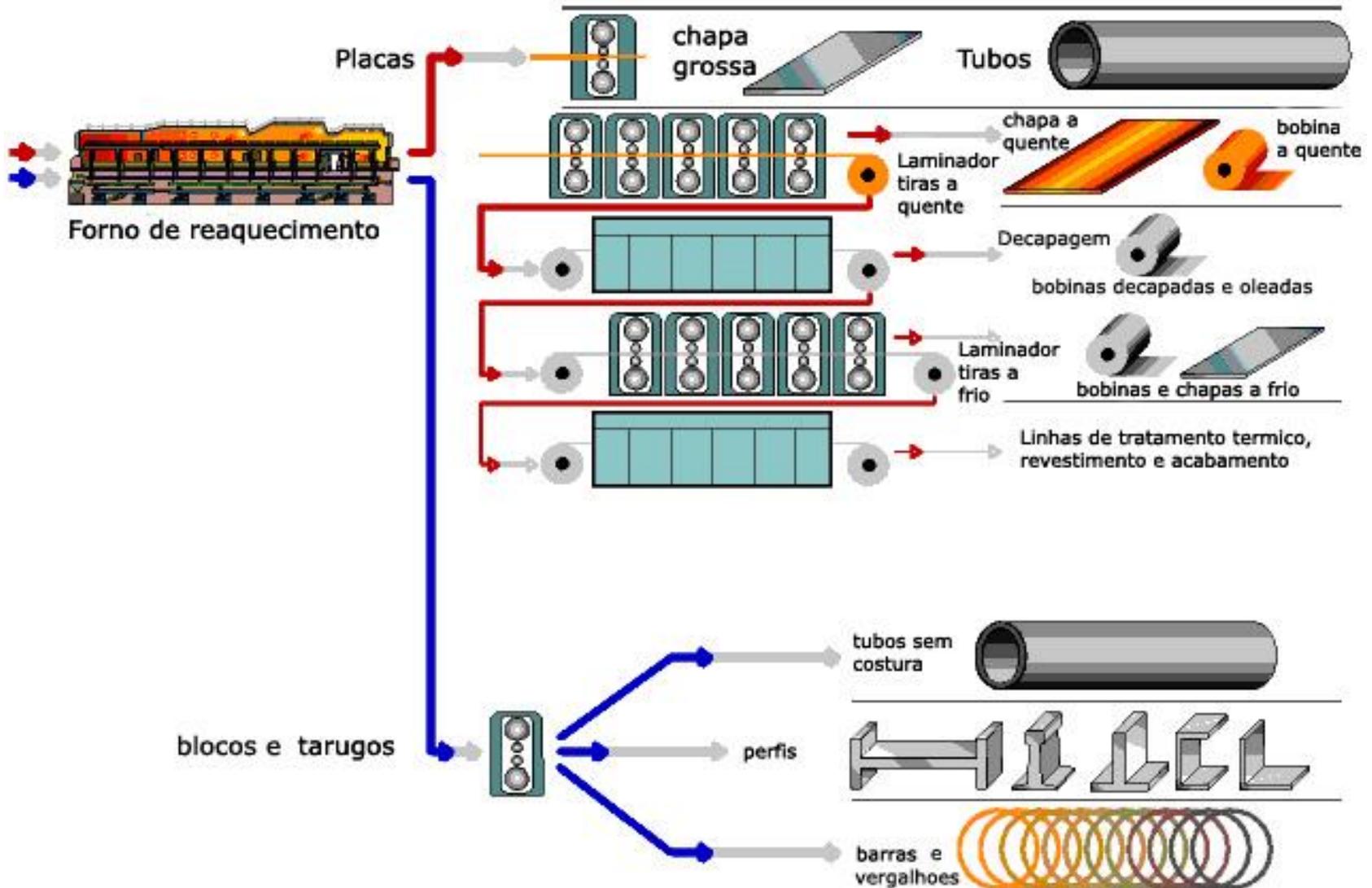








Fluxograma Transformação Mecânica



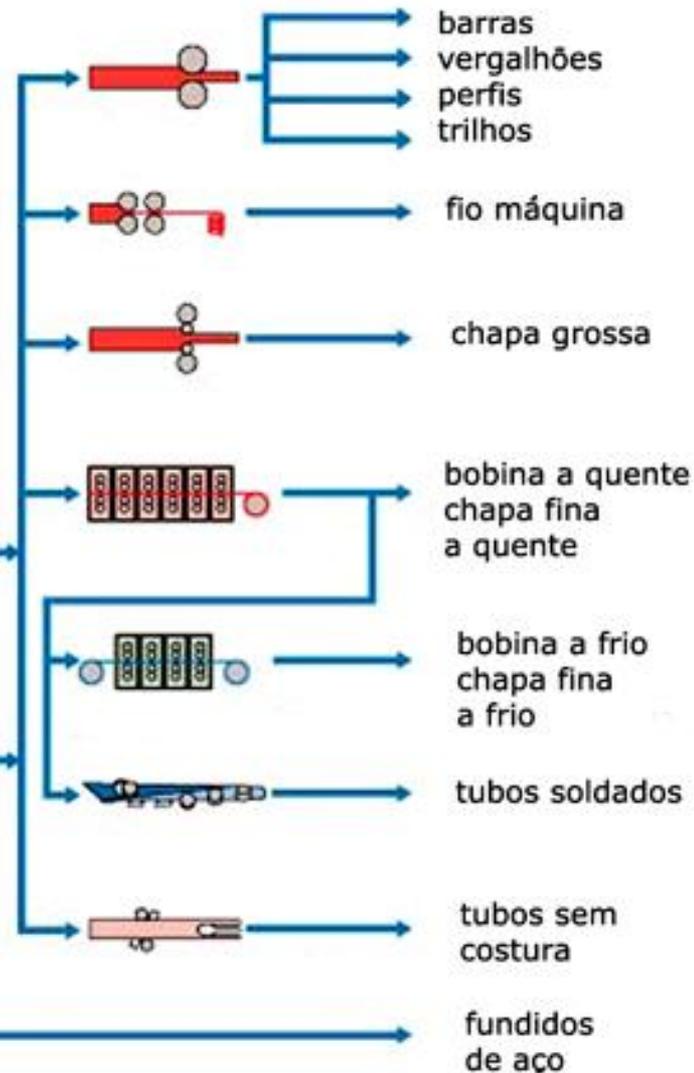
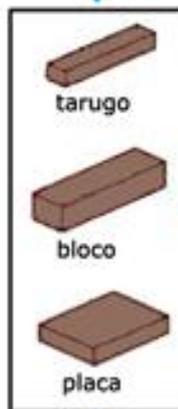
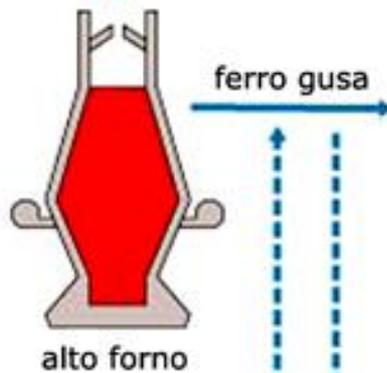
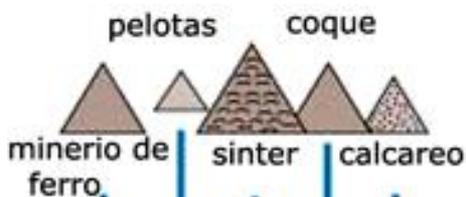
redução

aciaria

lingotamento

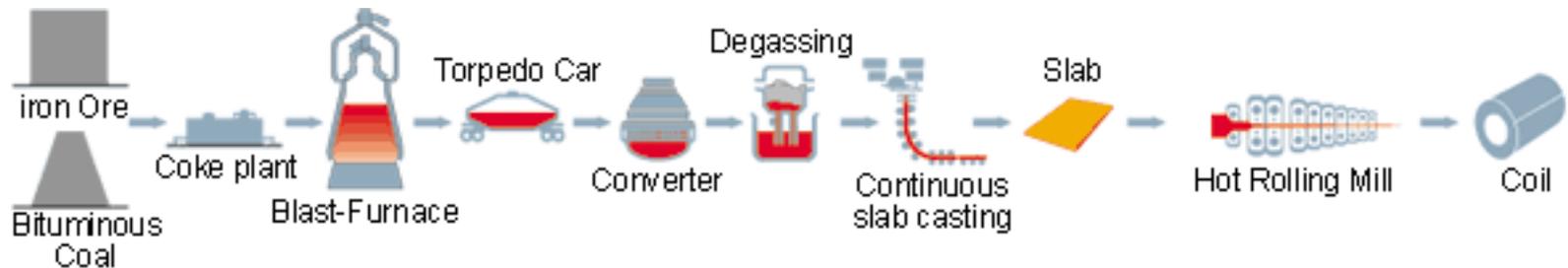
laminação

produtos



Redução de etapas

Processo convencional



Processo simplificado

