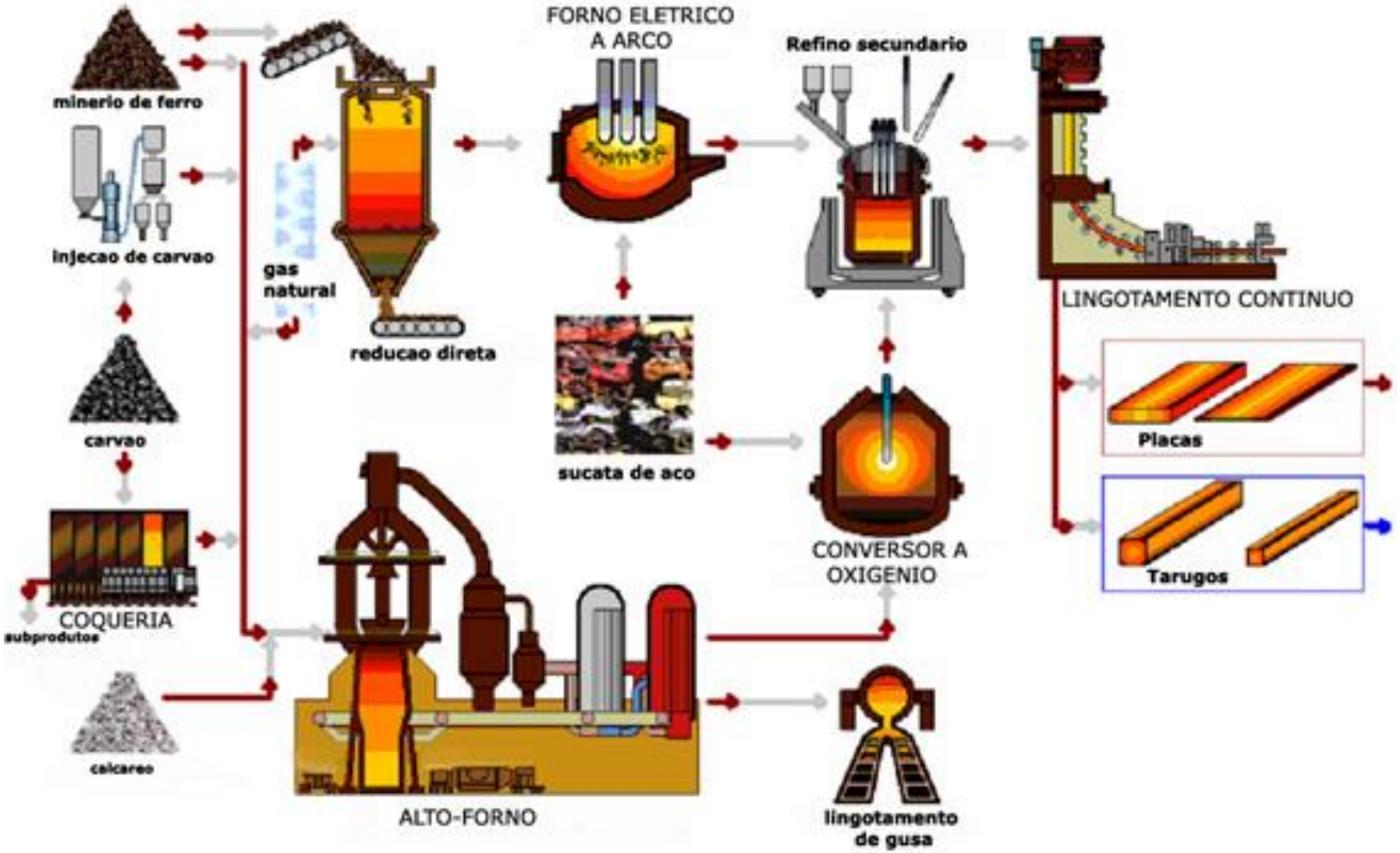
FABRICAÇÃO DE AÇO

Fluxograma da Metalurgia Primária



CONVERSOR A OXIGÊNIO

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: SiO_2-CaO-Al_2O_3

Gás: CO-CO_2-N_2

Tipos de Aço

Os principais tipos de aços planos são :

- Acalmados ao alumínio
- Acalmados ao Silício
- Acalmados ao Alumínio e Silício
- Aços inoxidáveis.

Aços produzidos normalmente em processo LD de refino e lingotamento contínuo.

Os aços lingotados continuamente podem ser divididos em dois grandes grupos, quanto à composição química :

- ao carbono
- ligados

Tipos de Aço

Esses por sua vez, em função do teor de carbono, podem ser sub-divididos em :

- de ultra-baixo teor de C (UBC) : $C \leq 0,01\%$;
- de baixo teor de carbono (BC) : $C \leq 0,10\%$;
- de médio teor de carbono (MC) : $0,10\% \leq C \leq 0,24\%$;
- de alto teor de carbono (AC) : $C \geq 0,25\%$.

Produtos originários de aços planos

Tipo	Aplicação Final
Chapas grossas	Uso geral, estrutura geral, estrutura soldável, naval, tubo, vaso de pressão e caldeira, longarina, cuba de galvanização,etc..
Tiras à quente	Uso geral, estrutura geral, estrutura soldável, naval, plataforma, tubo, longarina, estampagem, botijão, cuba de galvanização, rodas , etc.
Tiras à frio	Estrutura, estampagem média e profunda, indústria automobilística, estrutura soldável, eletromagnética siliciosa, etc..

Refino do gusa
Matérias primas

- As principais matérias primas fonte de ferro, para fabricação do aço, são o gusa líquido, sucata de aço e ferro obtido por redução direta.

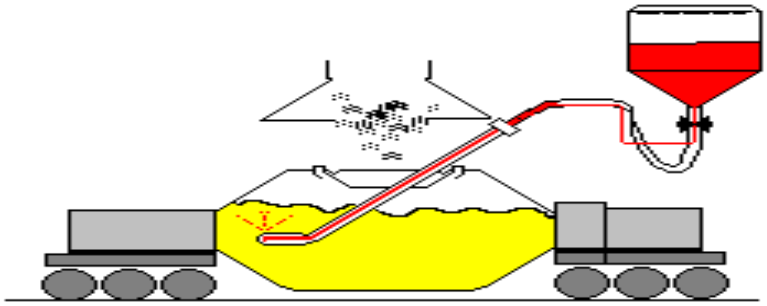
- O gusa líquido contém entre 3,8 e 4,5 %C, 0,4 a 1,2 % Si, 0,6 a 1,2% Mn, até 0,2% P e até 0,04% S.

- A temperatura do gusa situa-se entre 1300ºC e 1500ºC.

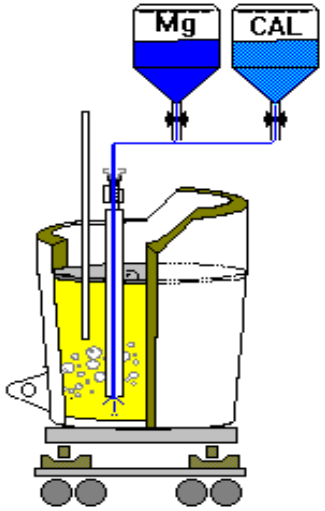
- O teor de fósforo depende do minério utilizado já que o fósforo não é removido no alto-forno. Já o enxofre é incorporado ao aço a partir do coque metalúrgico utilizado no processo de redução.

- A sucata é constituída por ferro metálico contendo impurezas como cobre, estanho, cromo, etc, dependendo de sua origem.

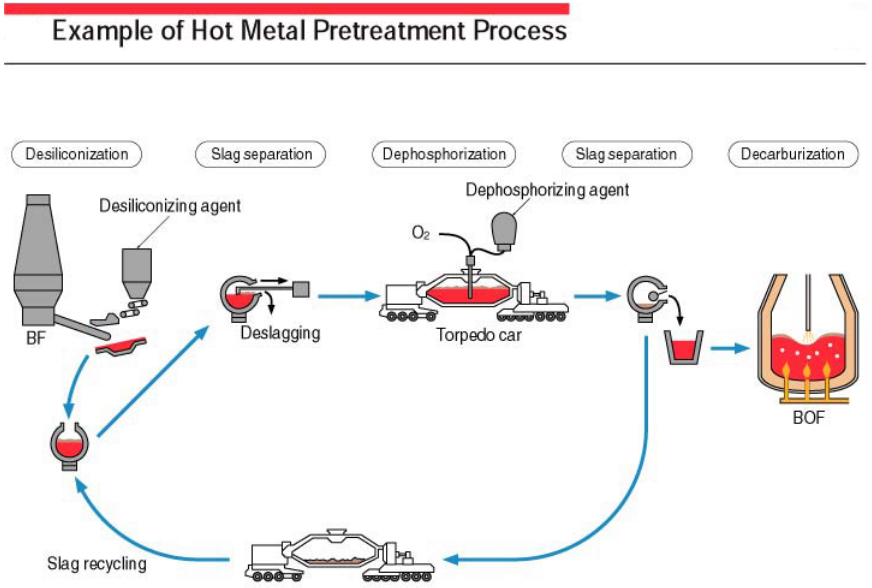
Pré-tratamento do gusa



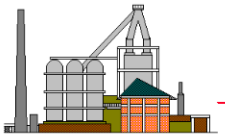
Dessulfuração de gusa em carro Torpedo



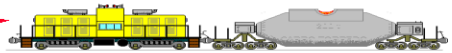
Dessulfuração de gusa na panela

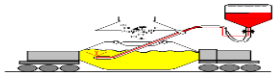


Fluxo do Processo de Aciaria LD



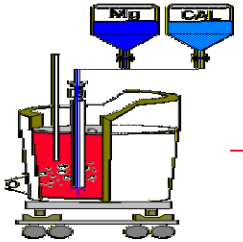
Alto Forno



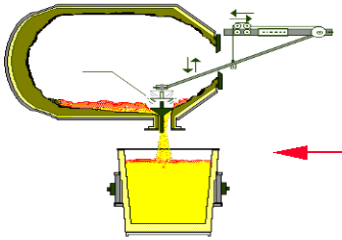


Dessulfuração no CT

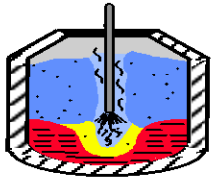
Dessulfuração na Panela



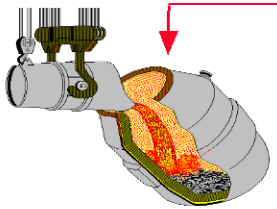
Balança de Gusa



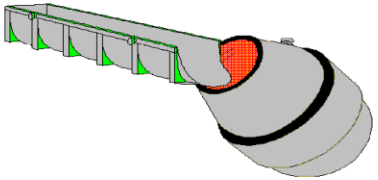
Vazamento com uso de retentor de Escória



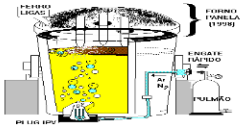
Sopro



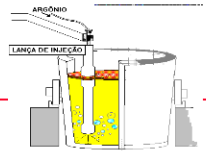
Carregamento de Gusa



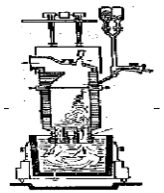
Carregamento de Sucata



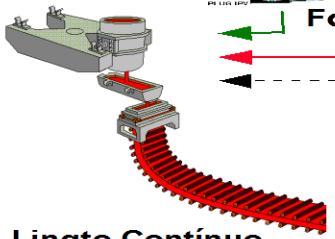
Forno Panela



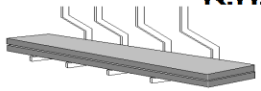
E.B.A.



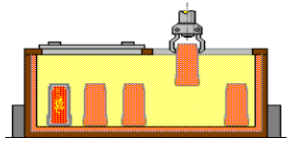
R.H.



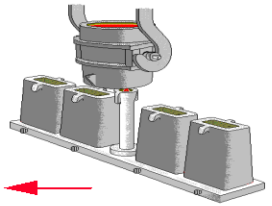
Lingto Contínuo



Pátio de Placas



Estripador de Lingotes



Lingto Convencional

IA
S-
SE
TY
99

ORIGEM DO CALOR NO PROCESSO LD

- Reações de oxidação exotérmica: 40%
- Calor sensível do gusa: 60%

Geralmente há um “overheat” no processo permitindo a adição de sucata no conversor

SUCATA

- Quantidade: 15 a 30% da carga metálica.
- 1ª Categoria:

  Pesada, Leve, F_oF_o

- 2ª Categoria:

  Sucata planta (sucata A),

  Cascão de Aço, Cascão de Gusa

SUCATA + GUSA + O_2+CALOR $\rightarrow$ AÇO FIM DE SOPRO

Composição típica de fim de sopro

- C: 0,02 a 0,04%
- Si: 0%
- Mn: 0,10 a 0,15%
- P, S: 0,015%
- Oxigênio dissolvido: 400 a 1000ppm

REFRIGERANTES

Minério de Ferro

- Aumenta o "*input*" de Fe
- Ganga: SiO_2, Al_2O_3, MgO e P_2O_5, necessitando de cal para "neutralizar"
- Granulometria muito fina, arraste para O.G.
- Muita umidade acarreta engaiolamento nos silos
- Substituto ideal para o Min. de Fe = SINTER, já utilizado normalmente

OUTROS REFRIGERANTES

- Calcário: aumenta cascão de boca no conversor
- Dolomito crú
- Sucata B
- Escória bitolada de LD
- Briquetes de resíduos de lama de aciaria
- Cal (em emergências)
- Ferro esponja (pré reduzido, + usado em FEA)
- Minério de Manganês (pode aumentar o MnFS)

FUNDENTES

- Cal
- Dolomita Calcinada
- Cal Magnesiana

OXIGÊNIO

- Quantidade típica: 50Nm^3/t

- Qualidade:

$99{,}2\%\ O_2 \rightarrow NFS = 50ppm$

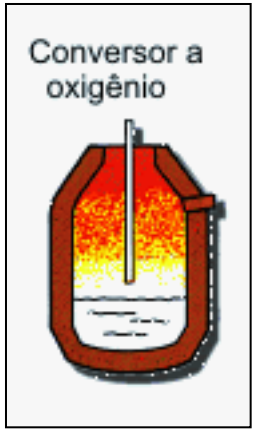
$99{,}7\%\ O_2 \rightarrow NFS = 18ppm$

REFRATÁRIOS

- Padrão de revestimento: MgO-C
- Características elevadas de resistência aos choques térmicos, mecânicos e ataque químico por escória
- Maior teor de C no tijolo, maior condutividade térmica, e maior expansão do tijolo
- Limite de C: até 20%

Reações de oxidação
Conversor a oxigênio

- As principais reações que ocorrem no interior do conversor a oxigênio e no forno elétrico são a oxidação do carbono para monóxido de carbono, de silício para sílica, manganês para óxido de manganês e fósforo para fosfato:



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

$$Si + O_2 \rightarrow SiO_2$$

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

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

- Entretanto, não há como evitar a perda por oxidação de ferro, simultânea a essas reações:

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

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

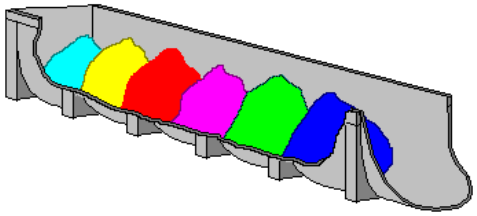
c) Sopro

d) Medição de temperatura e retirada de amostras

e) Vazamento

f) Vazamento de escória

Carregamento de carga sólida

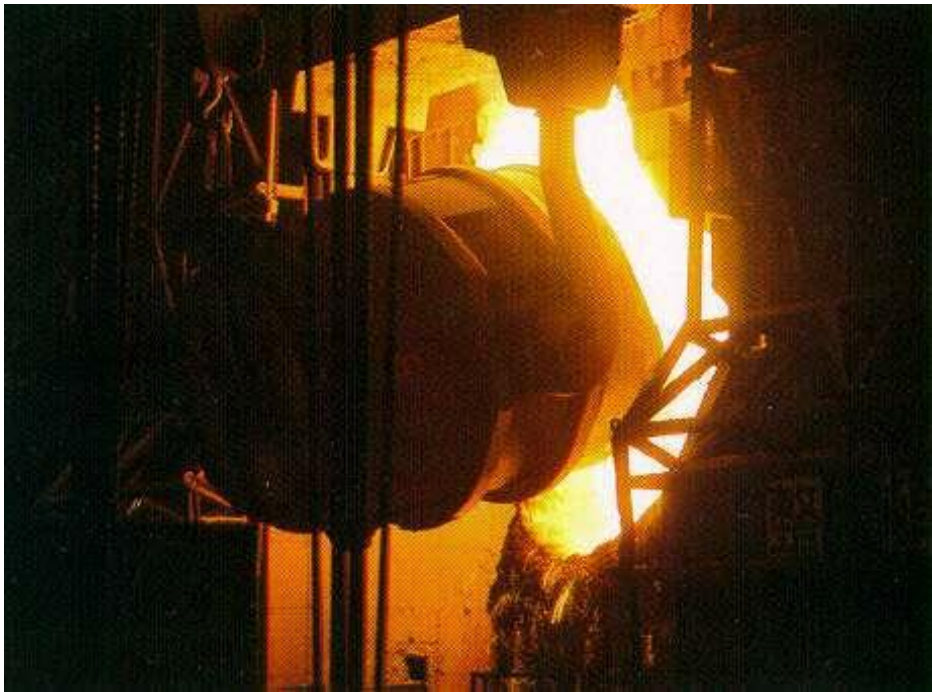


Processo L.D. - Sucata

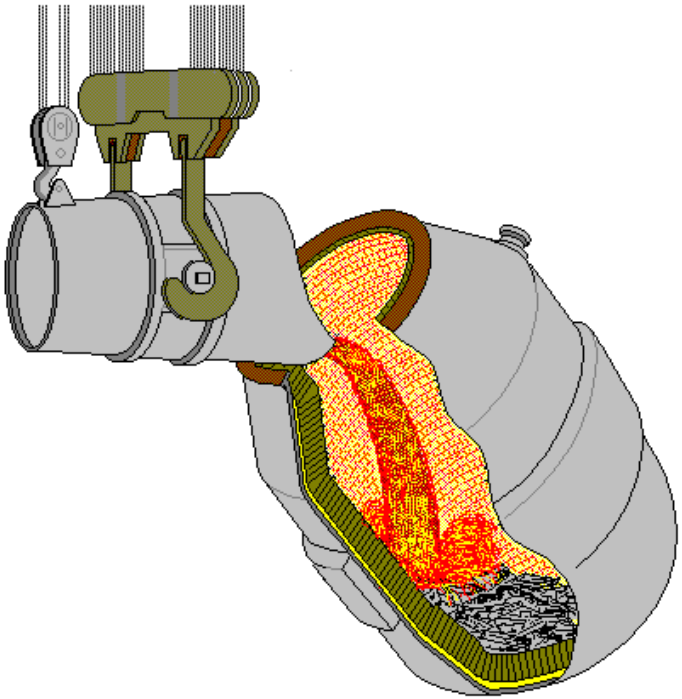
é vantajoso proporção alta de sucata, uma vez que seu teor de ferro é superior ao do gusa. É usado sucata de retorno da própria usina e também sucata comprada.

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.



Processo L.D. - Gusa Líquido

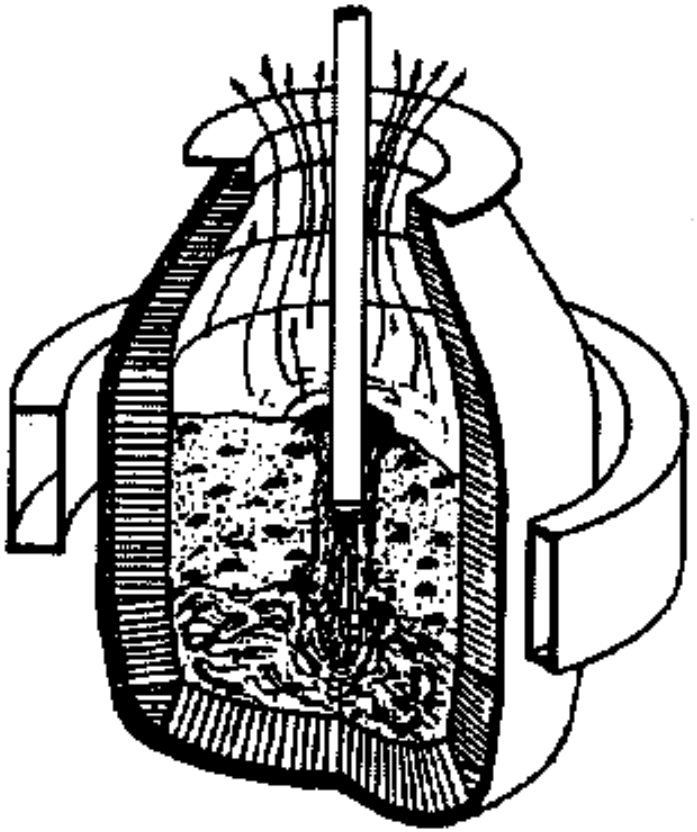


A proporção de gusa líquida na carga do conversor depende de sua composição e temperatura (conteúdo térmico), da qualidade do aço a ser produzido, do volume das adições do cal, minério e carepa, e em parte das dimensões do conversor. Normalmente varia entre 70 e 85%.

Carregamento de gusa líquido

Processo L.D. - Operação do Conversor

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 L.D. - Operação do Conversor-Adições

Cal:As adições de cal e fundentes são realizadas no início do sopro. A adição de cal 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, CaO suficiente diminui o ataque dos refratários e deve ser mantido na escória. A cal utilizada no processo deve ser de alta reatividade.

- Minério de Ferro

As adições de minério de ferro ou carepa devem ser realizadas na etapa final do sopro. Tem duas funções:

- acelerador da dissolução da cal, quando adicionado no início do sopro
- agente refrigerante, sendo então adicionado em qualquer etapa, mas principalmente no final do sopro, para controle da temperatura.

Processo L.D. - Outras Adições

- Fe-Si: adicionado para controle térmico do processo, cedendo calor devido à oxidação do Si.
- dolomita: para proteção do revestimento e em menor escala como agente refrigerante, usa-se a calcinada ou crua .

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.

Processo de Refino Primário

Reações :

$2Fe + O_2 \longrightarrow 2\ FeO$

$2FeO + Si \longrightarrow SiO_2 + 2\ Fe$

$FeO + Mn \longrightarrow MnO + Fe$

$FeO + SiO_2 \longrightarrow FeO\ .\ SiO_2$

$MnO + SiO_2 \longrightarrow MnO\ .\ SiO_2$

$FeO\ .\ SiO_2 + CaO \longrightarrow CaO\ .\ SiO_2 + FeO$

$MnO\ .\ SiO_2 + CaO \longrightarrow CaO\ .\ SiO_2 + MnO$

Reações de Refino

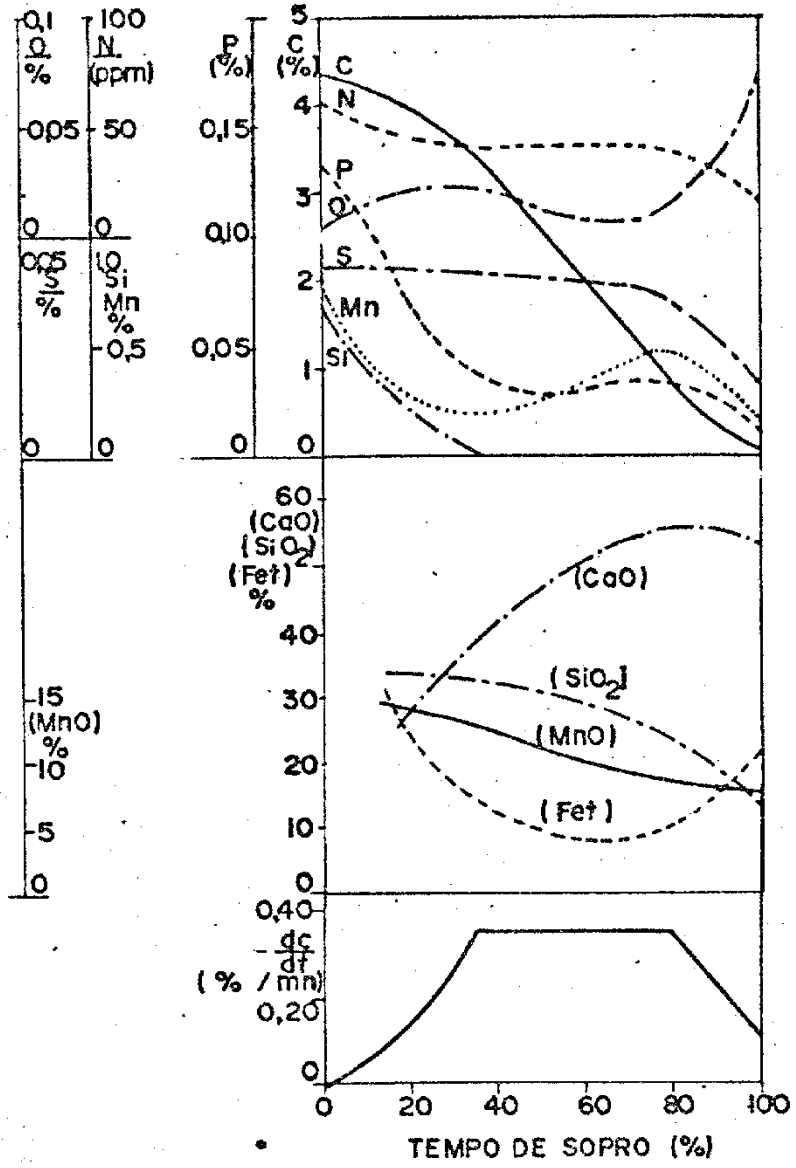
Praticamente todas as reações que ocorrem no processo L.D. são exotérmicas, isto é, liberam calor. Desta forma , há uma elevação acentuada na temperatura do banho.

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 descarburação (segunda etapa), cuja velocidade atinge valores só limitados pelo oxigênio disponível.

Reações :

$FeO + C \qquad Fe + CO$

$2\,C + O_2 \qquad 2\,CO$


0,1
O
%
0,05
0
100
N
(ppm)
50
0
0,05
S
%
0
1,0
Si
Mn
%
0,5
0
P
(%)
0,15
0,10
0,05
0
5
C
(%)
4
3
2
1
0
C
N
P
O
S
Mn
Si
60
(CaO)
(SiO2)
(FeT)
%
40
30
20
10
0
(CaO)
(SiO2)
(MnO)
(FeT)
15
(MnO)
%
10
5
0
0,40
-dc/dt
(% / mn)
0,20
0
0
20
40
60
80
100
TEMPO DE SOPRO (%)

Reações de Refino

A terceira etapa é caracterizada pela velocidade de descarburação decrescente e por um aumento gradativo da oxidação do manganês e do ferro, à medida que o teor de carbono do banho diminui. Nesta fase a dissolução da cal é acelerada e a basicidade da escória (relação CaO/SiO_2 dissolvidos na escória) aumenta acentuadamente.

A desfosforação é iniciada na primeira etapa, quando as condições de baixa temperatura e elevado teor de FeO na escória favorecem a reação de oxidação do fósforo.

Reações de desfosofração:

$5\ FeO + 2\ P \longrightarrow P_2O_5 + 5\ Fe$

$FeO + P_2O_5 \longrightarrow FeO\ .\ P_2O_5$

$FeO\ .\ P_2O_5 + CaO \longrightarrow CaO\ .\ P_2O_5 + FeO$

Reações de dessulfuração:

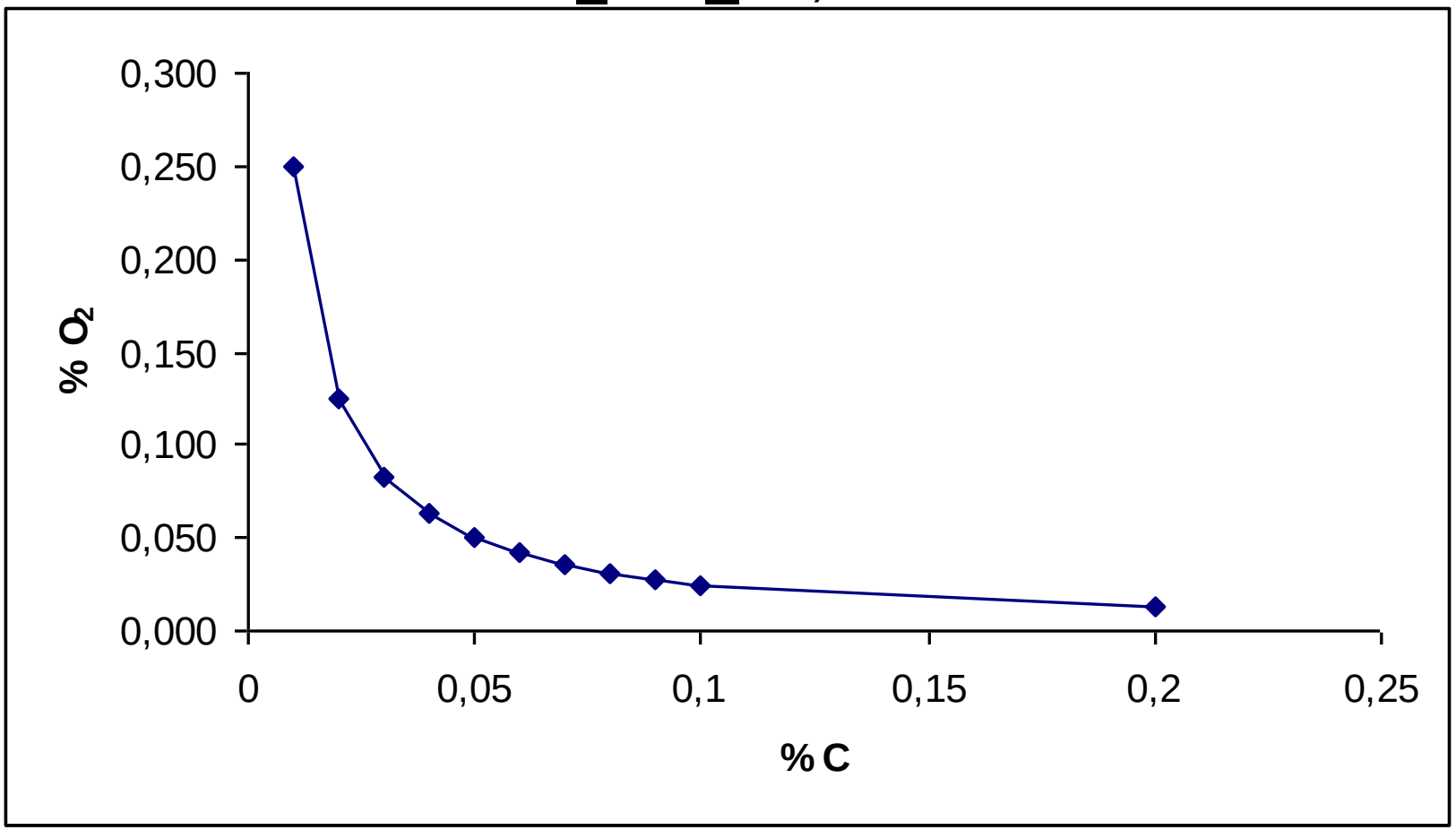
$FeS + CaO \qquad CaS + FeO$

$FeS + O_2 \qquad SO_2 + Fe$

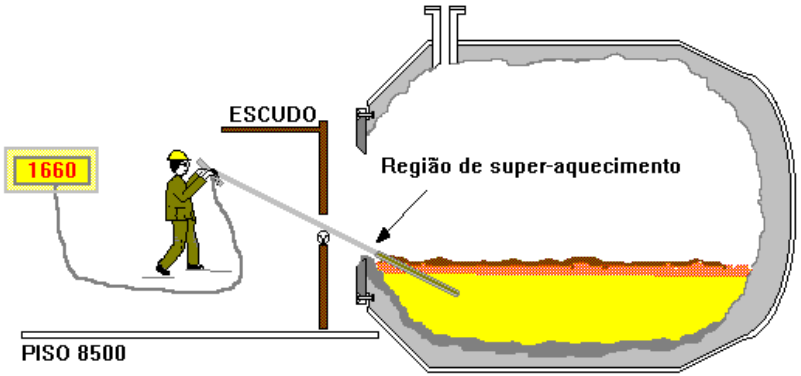
➢ Descarburação

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

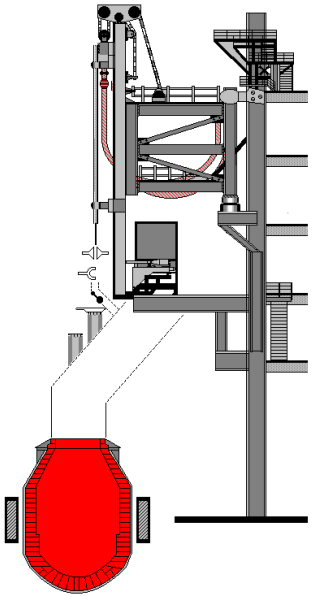
% C x % O = 0,0025



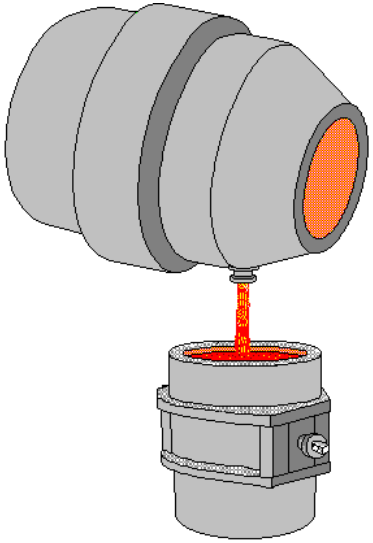
Medição de temperatura e retirada de amostras



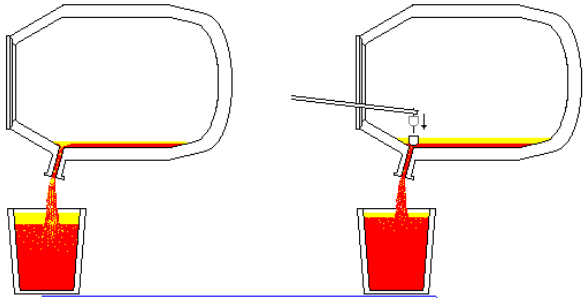
Assim que o sopro é interrompido o conversor é basculado para posição horizontal, a fim de medir a temperatura e retirar amostras de aço e escória. Se a composição química e a temperatura correspondem ao especificado o conversor é basculado no sentido contrário para vazamento da corrida na panela de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



Sublança

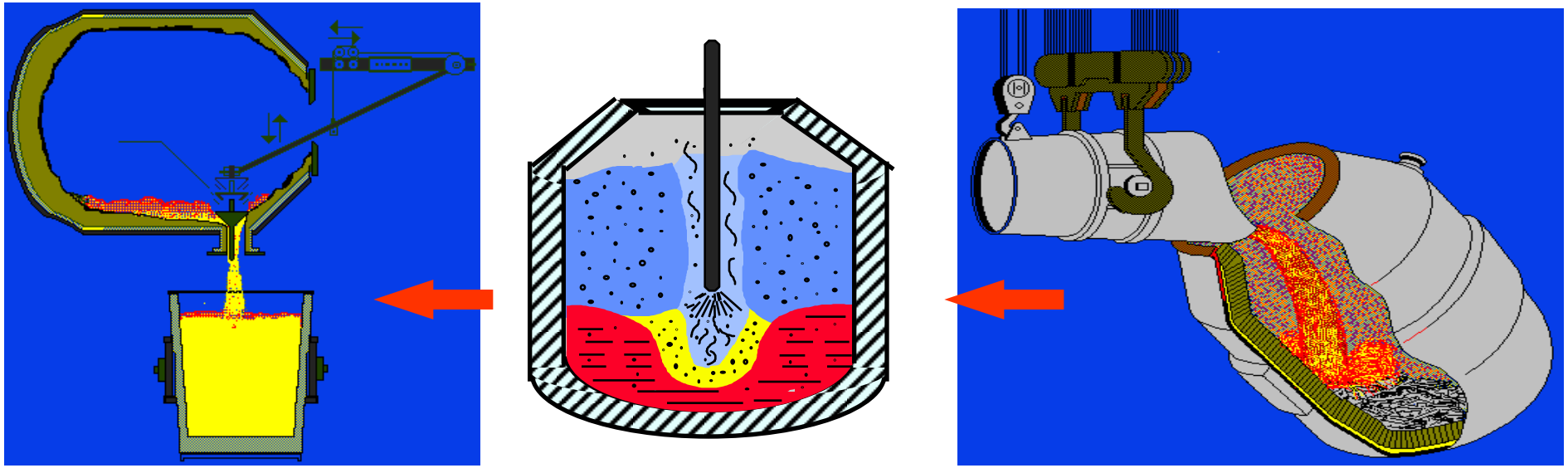


vazamento



Vazamento de escória

Processo L.D. - Operação do Conversor



Transformação do gusa em aço líquido por meio de sopro de oxigênio

Processo L.D. - Operação do Conversor

O processo L.D. é oxidante, e portanto o aço a ser vazado precisa ser desoxidado. Isto é feito durante o vazamento do conversor para a panela de aço, normalmente por meio de Alumínio e/ou Silício , que são 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 na granulometria adequada, é jogado através da mesma calha direcional mencionada acima.

17 5 2001

2 8 2001

Processo L.D. - Operação do Conversor

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. - Controle Operacional

Os resultados operacionais de uma Aciaria L.D. podem ser avaliados através de três parâmetros:

produtividade, rendimento e acerto de composição e temperatura.

A produtividade é função da infra-estrutura de equipamentos e Lay-Out, porém é influenciada negativamente por um inadequado controle operacional, que aumenta a incidência de corridas ressopradas ou resfriadas, paradas para a limpeza sob os conversores devido a projeções, retirada de cascão da boca do conversor, e outras anormalidades.

O rendimento em aço pode ser definido de várias maneiras; todavia podemos considerá-lo como a relação entre o peso de aço obtido e a soma dos pesos de gusa líquido, gusa sólido, sucata e minério de ferro adicionados (este último afetado por um coeficiente corretivo).

Processo L.D. - Controle Operacional

Quanto ao **acerto da composição química e temperatura** do aço, devemos considerá-lo no final do sopro e na panela de lingotamento, após vazamento e adição de desoxidantes e ferro-ligas. O acerto no final de sopro é importante para possibilitar uma prática de desoxidação e adição de ligas em condições reprodutivas, evitando variações nos rendimentos dos diversos elementos. O acerto na panela define a composição final do aço e condiciona a qualidade do produto final.

Deve-se notar que o acerto de temperatura e composição no final de sopro está intimamente ligado à produtividade, pois o ressopro de corridas ou seu resfriamento, além de prejudicarem a qualidade do aço podem consumir um tempo da ordem de até 20% do tempo total do ciclo.

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

O controle de processo mais simples é o utilizado pelo soprador, que se apoia apenas na sua experiência pessoal para a condução de operação, 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 modelo matemático que fornece ao soprador subsídios mais ou menos completos 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.

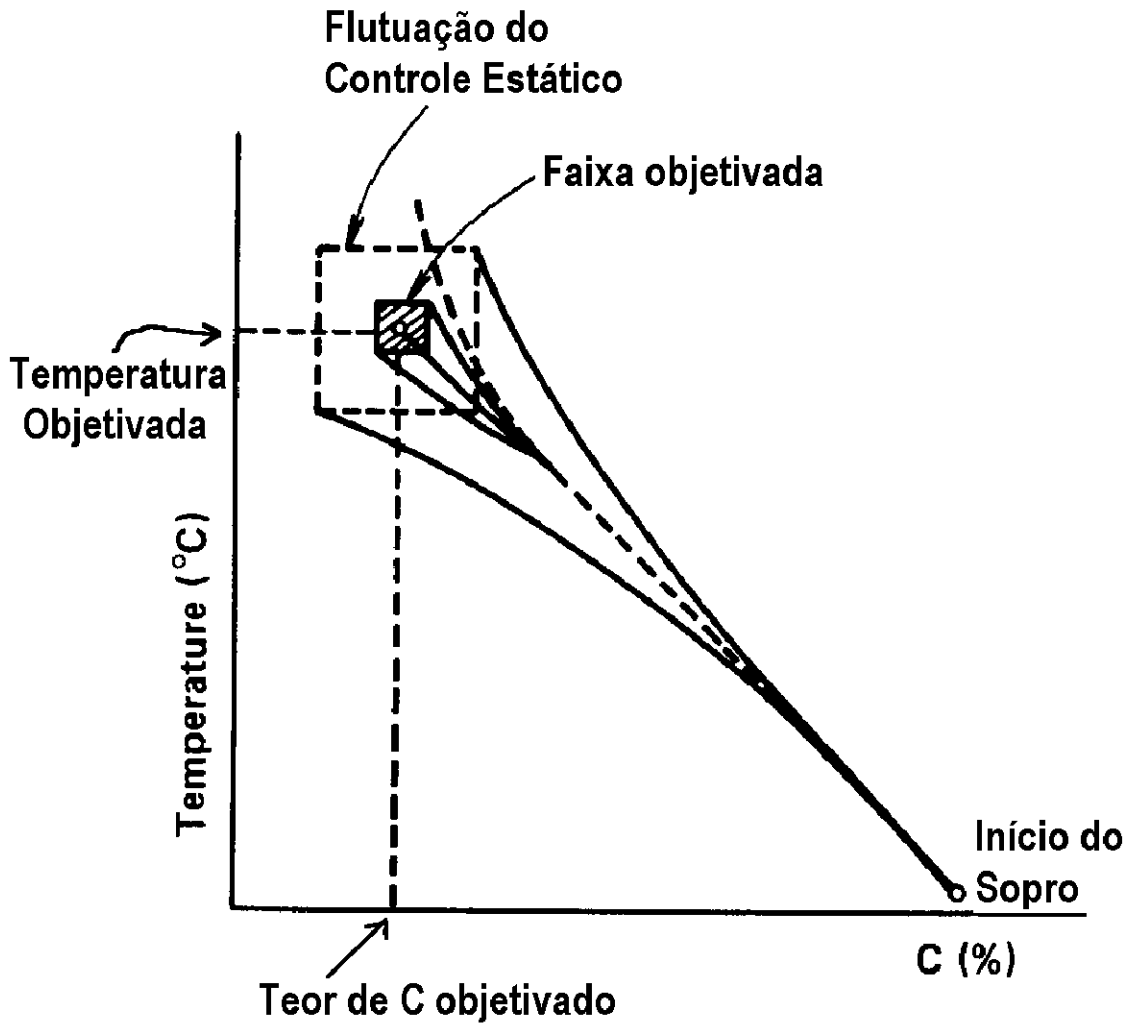
O método de observação visual da chama é o tipo mais elementar de controle dinâmico.

Tempo de sopro da corrida

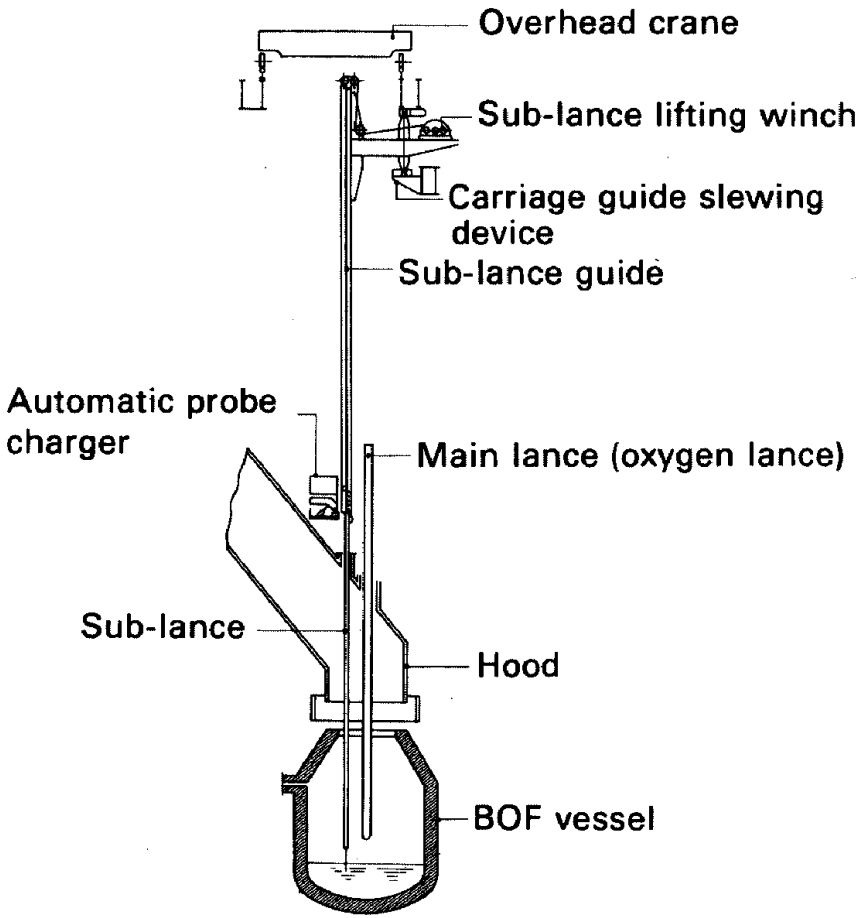
depende do:

- CFS
- Vazão de oxigênio
- Relação CO/CO_2 (análise de gás)
- Olhômetro (aspecto da chama)

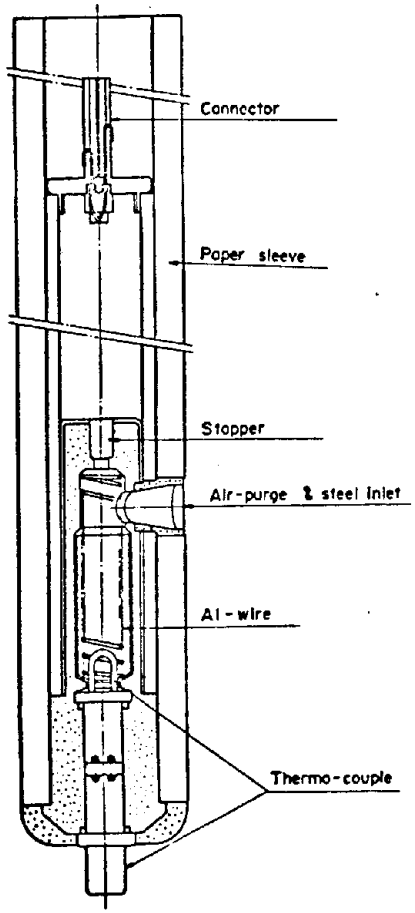
Controle Dinâmico por Sublança



Esquema de uma sublança



Amostrador da sublança



Alguns problemas operacionais típicos na operação do conversor LD

- Projeção:

"Veneno" para a produtividade. Acaba com a carcaça do conversor, pois acarreta formação de cascão.

- Lança de oxigênio:

Nº limite: 150 a 200 corridas. Se ultrapassar este valor, pode-se perder o controle do processo; é uma decisão administrativa, pois cascão de lança também é função da relação Mn/Si do gusa

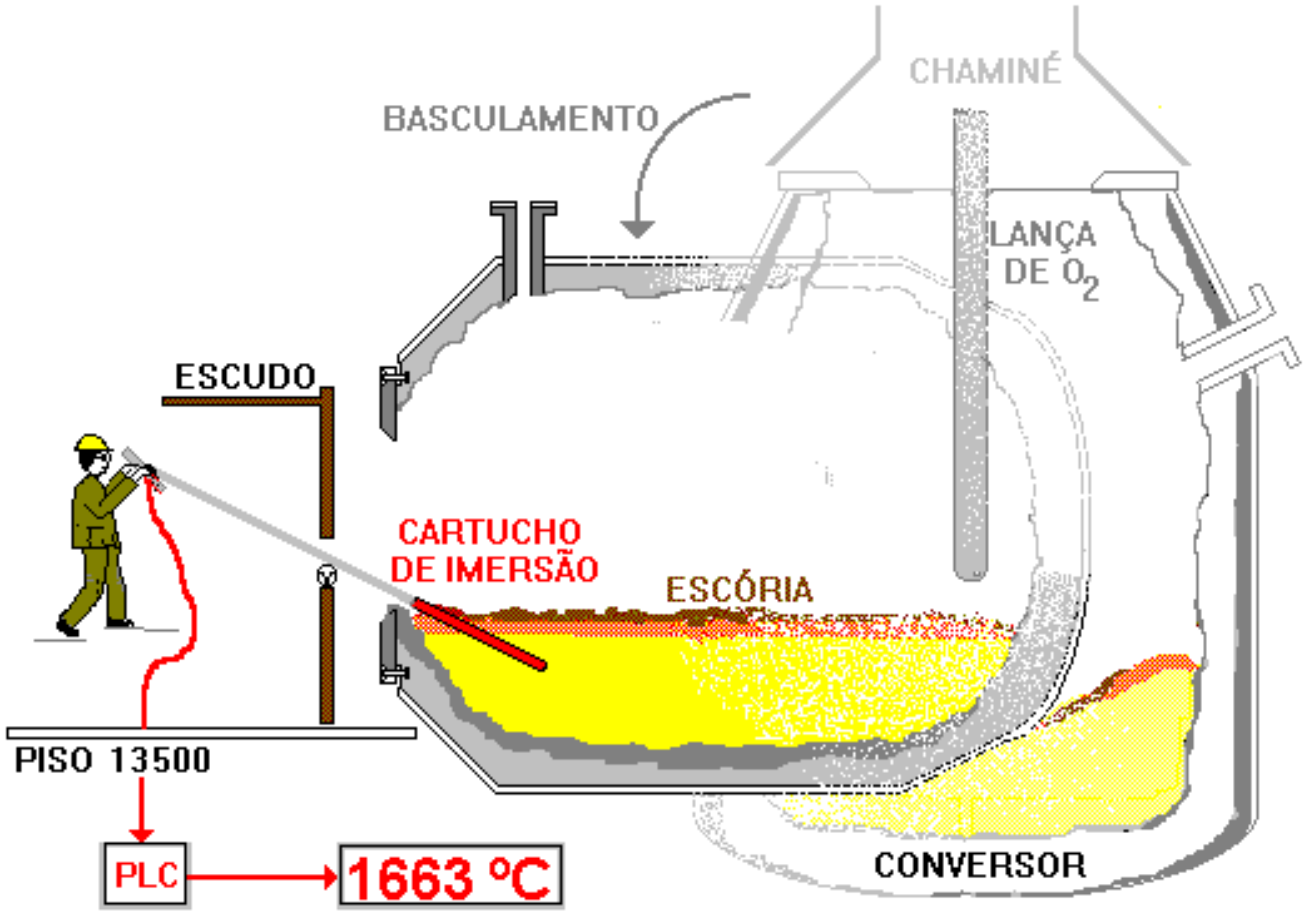
Alguns problemas operacionais típicos na operação do conversor LD (continuação)

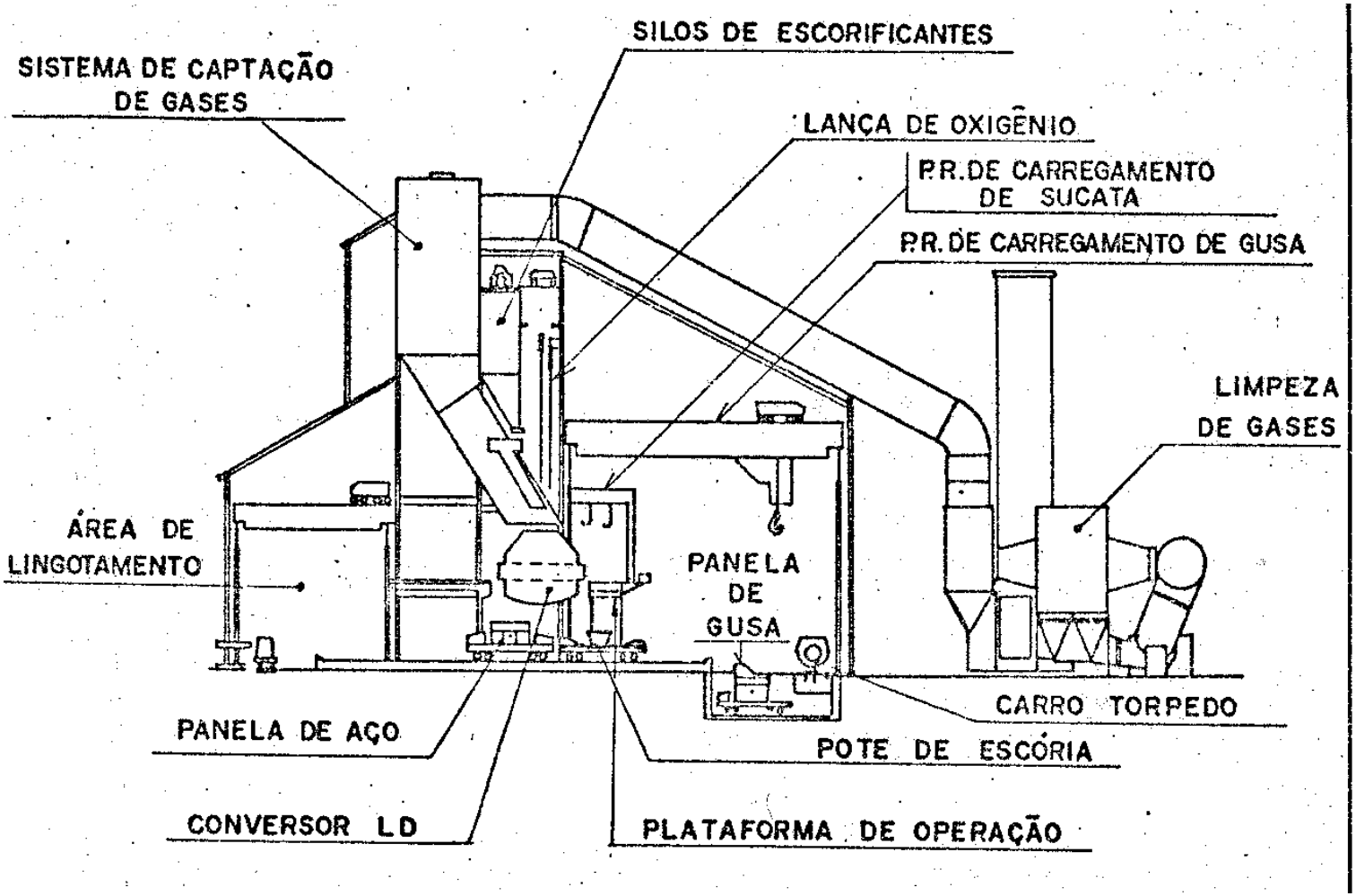
- Escória de panela de gusa: deve ser retirada! pode-se perder o controle do processo por isso; usa-se escumadeira.
- Velocidade de carregamento: se for muito rápido: POLUIÇÃO, pois sobrecarrega a capacidade de exaustão dos fumos para o despoeiramento secundário.

Alguns problemas operacionais típicos na operação do conversor LD (continuação)

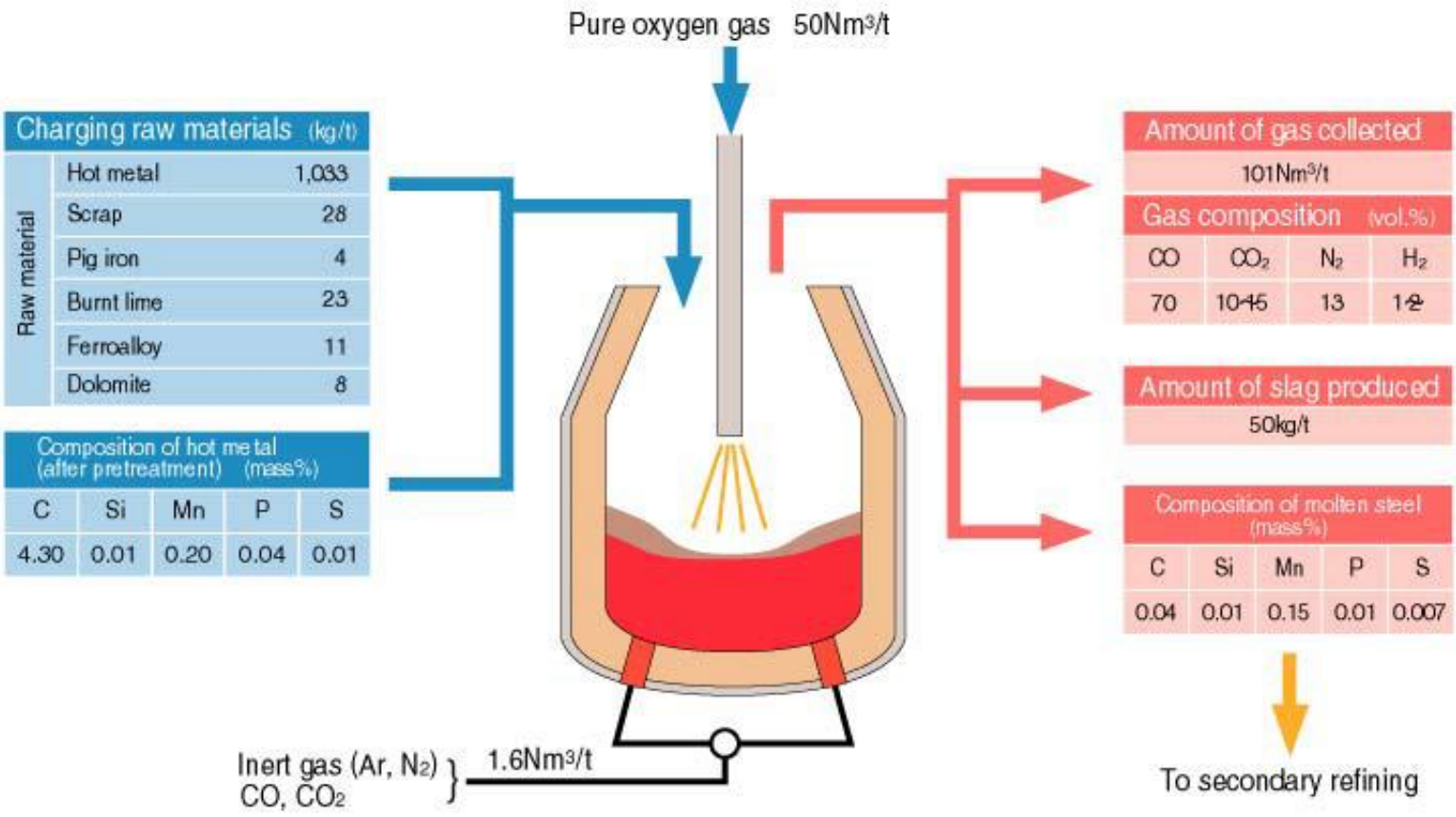
- Zona de impacto de carregamento (da sucata e da carga líquida): dever ser lento para amenizar agressões ao refratário LD
- Sucata molhada: secá-la no conversor antes de enfornar o gusa líquido, senão: EXPLOSÃO
- Resto de escória da corrida anterior: nunca enfornar gusa com escória de corrida anterior no conversor, senão: EXPLOSÃO!

Esquema de amostragem no final de sopro



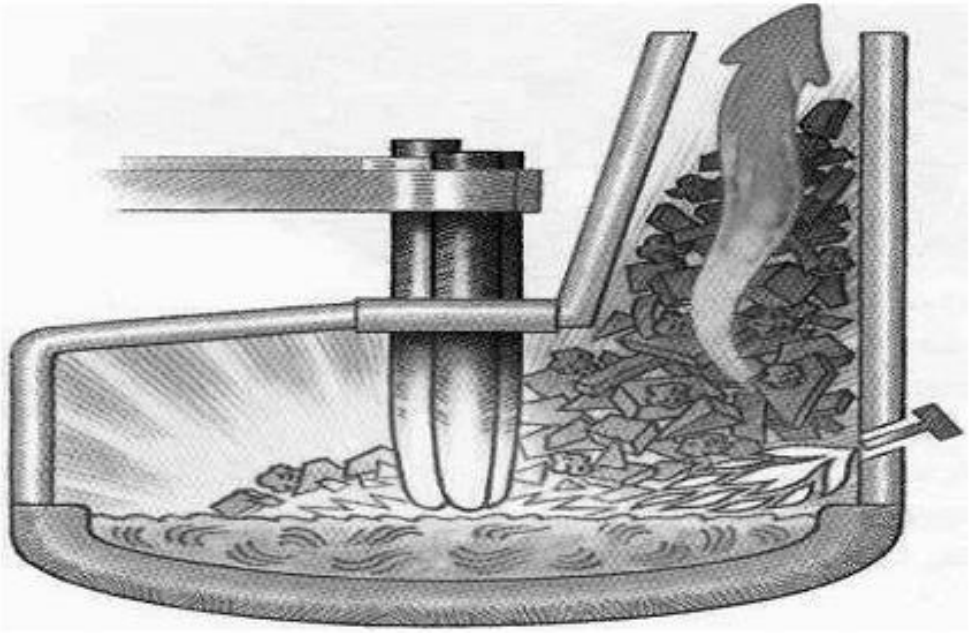

SISTEMA DE CAPTAÇÃO DE GASES
SILOS DE ESCORIFICANTES
LANÇA DE OXIGÊNIO
P.R. DE CARREGAMENTO DE SUCATA
P.R. DE CARREGAMENTO DE GUSA
LIMPEZA DE GASES
ÁREA DE LINGOTAMENTO
PANELA DE GUSA
PANELA DE AÇO
CONVERSOR LD
POTE DE ESCÓRIA
CARRO TORPEDO
PLATAFORMA DE OPERAÇÃO

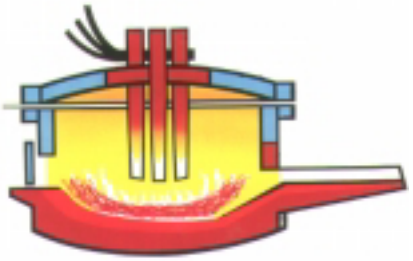
BOF Operation for Top & Bottom Blown Vessel



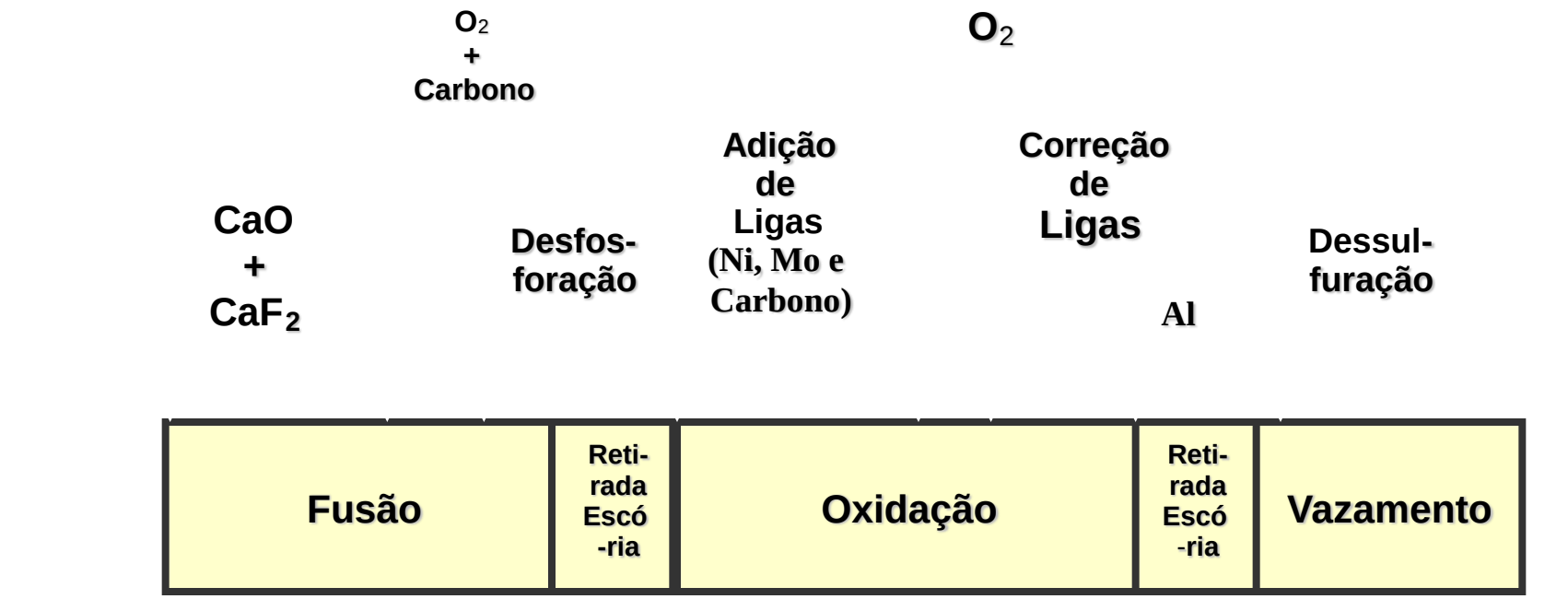
Forno elétrico

- 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.





Processo de fabricação do forno elétrico



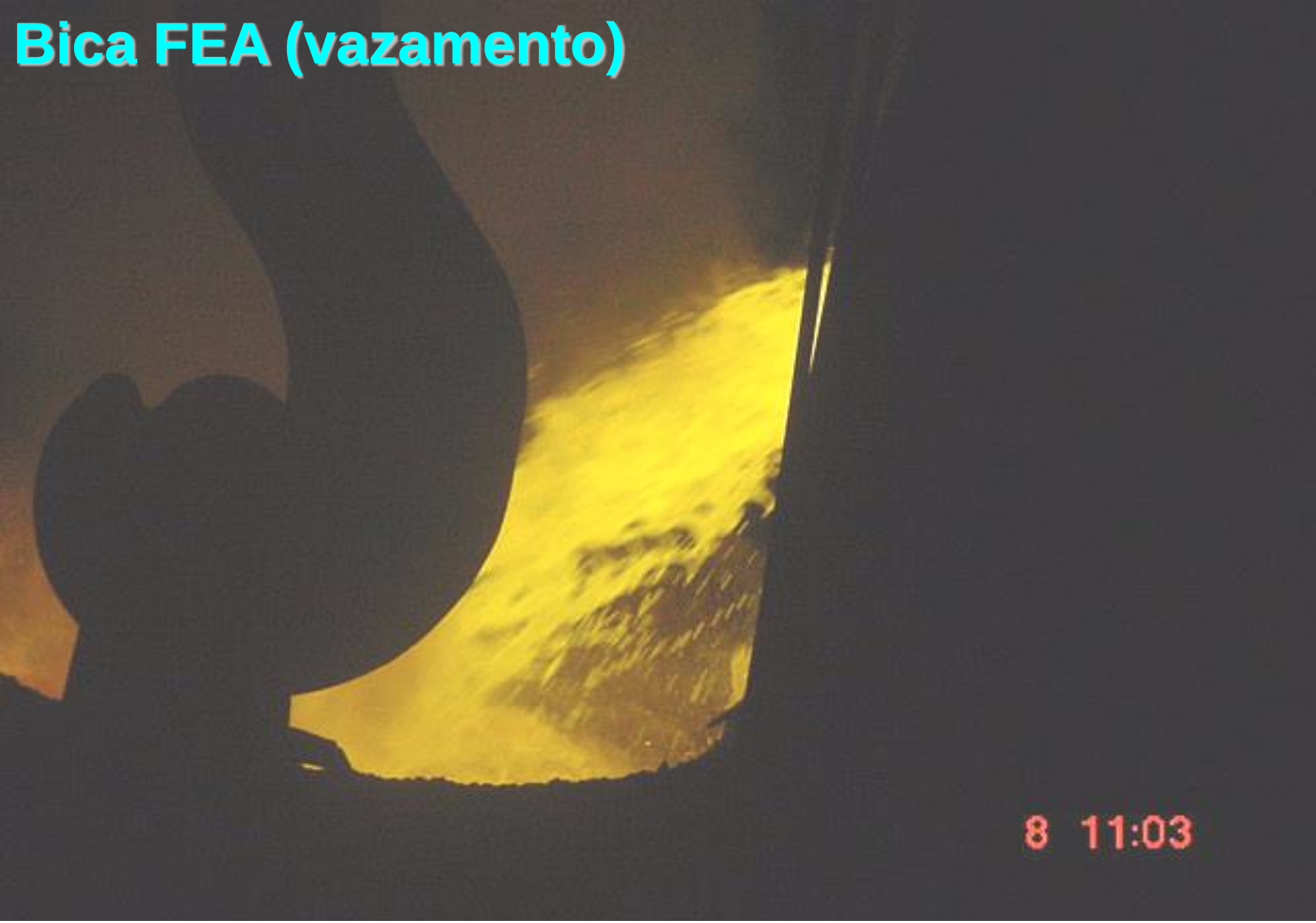
Custos FEA

	Custo Relativo (%)	Faixa
Carga do forno	71	60 – 80
Eletricidade	14,2	09 – 19
Eletrodos	11,3	07 – 16
Mão de Obra	2,1	
Refratários	1,4	

Forno Elétrico (fusão)

Bica FEA (vazamento)

Bica FEA (vazamento)



Refino Secundário dos Aços

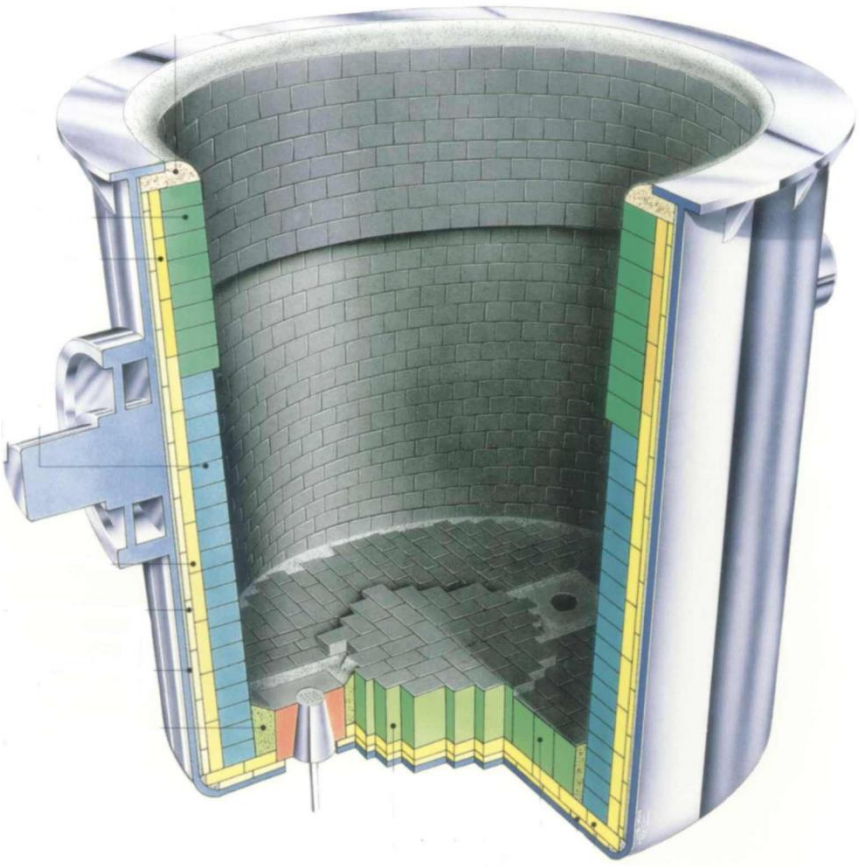
- Refino Secundário: realizado fora do equipamento de fusão
  - desoxidação (remoção do oxigênio)
  - dessulfuração (remoção do enxofre)
  - desgaseificação (remoção de hidrogênio e nitrogênio)
  - desfosforação (remoção de fósforo - melhor no equipamento de fusão)

Refino secundário

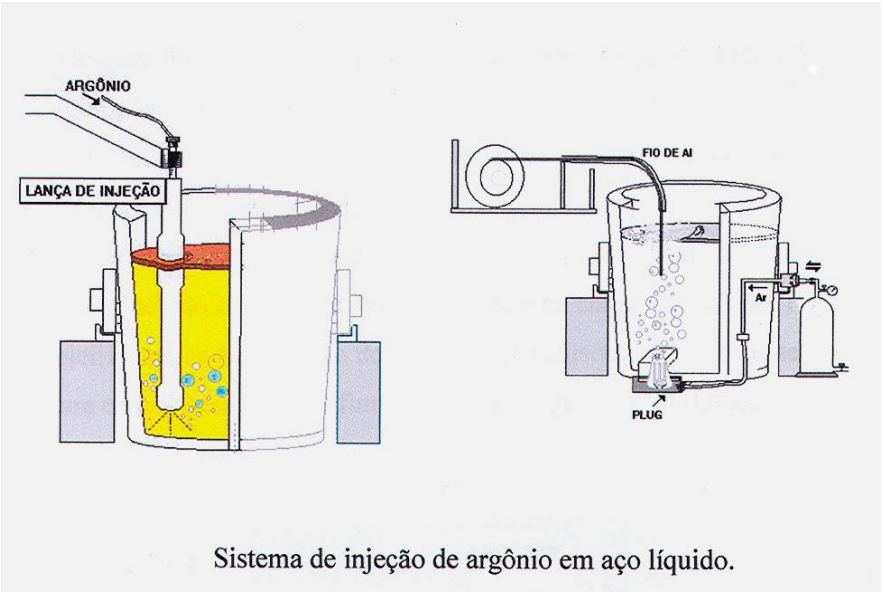
- O tratamento secundário do aço líquido é feito em panelas de manutenção e transporte.

- 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.

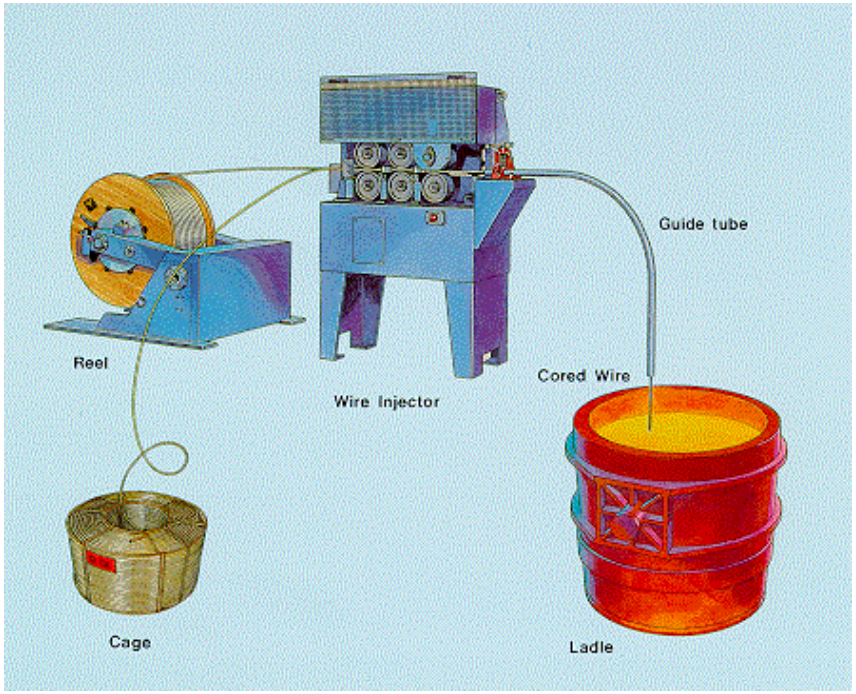
- A maneira mais simples de tratar os aços na panela consiste em adicionar desoxidantes, dessulfurantes, formadores de escória e pequenas quantidades de elementos de liga no jato de vazamento,



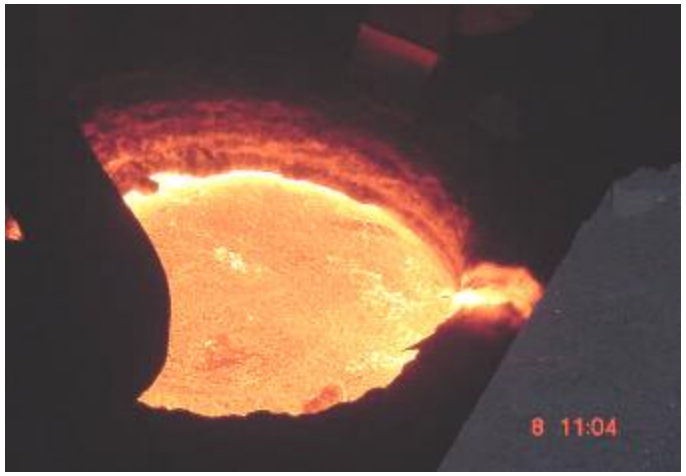
➢Adição de alumínio na panela para aumentar a temperatura (reação exotérmica) e promover desoxidação do banho.

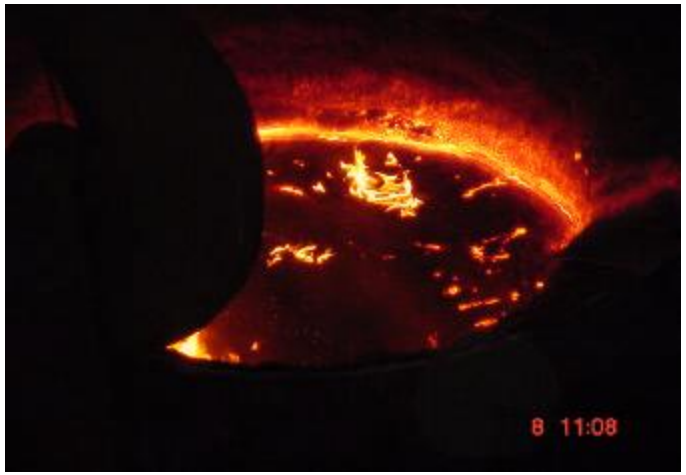


Sistema de injeção de argônio em aço líquido.



Agitação por borbulhamento de argônio ou por meio eletromagnético para melhorar a transferência de calor no interior da panela, elimina as inclusões de alumina e os gases hidrogênio e nitrogênio.

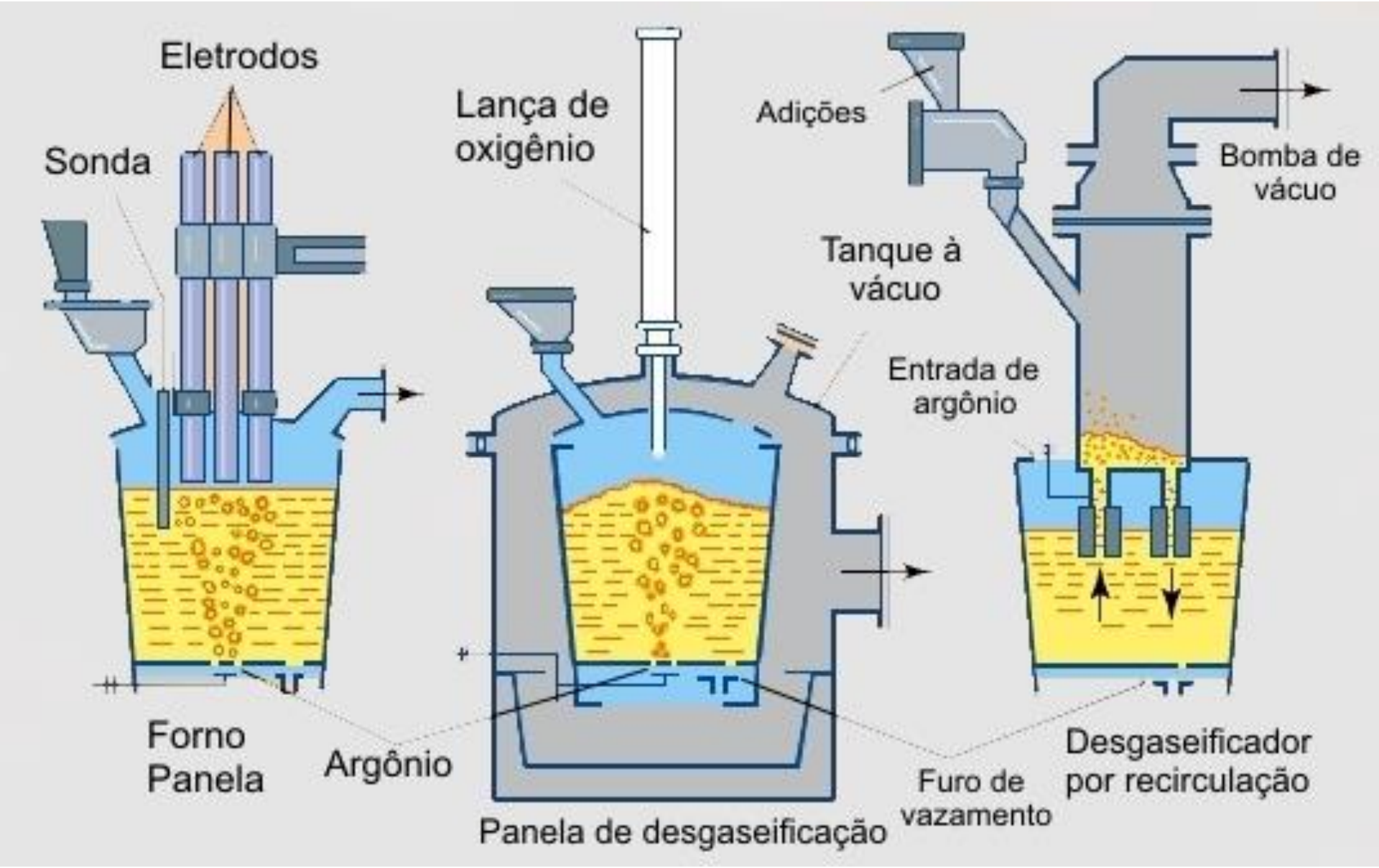

8 11:04


8 11:08

Metalurgia secundária do aço

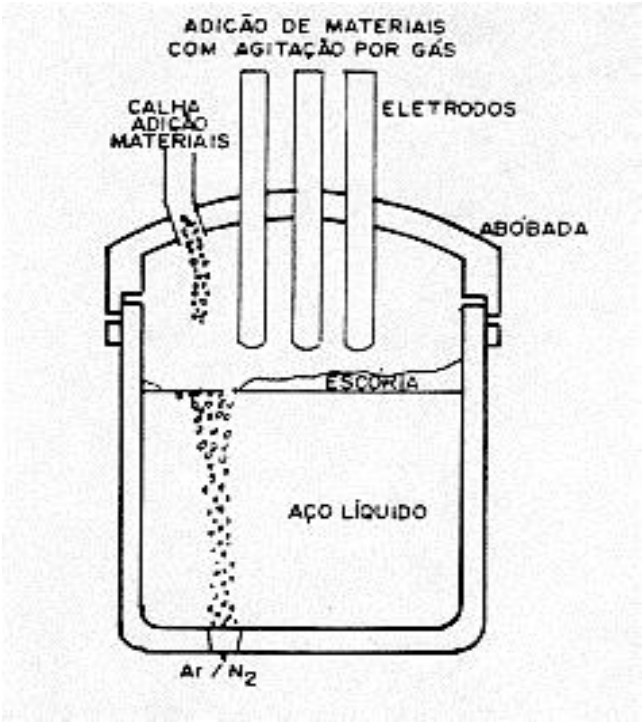
- O tratamento do aço na panela é uma prática comum nas aciarias.
- O ajuste final de composição química e de temperatura feito na panela.
- Algumas reações metalúrgicas ocorrem de maneira mais eficiente na panela.

- Principais equipamentos de metalurgia secundária:
  - Forno panela
  - Desgaseificadores


Eletrodos
Sonda
Lança de oxigênio
Adições
Bomba de vácuo
Tanque à vácuo
Entrada de argônio
Forno Panela
Argônio
Furo de vazamento
Desgaseificador por recirculação
Panela de desgaseificação

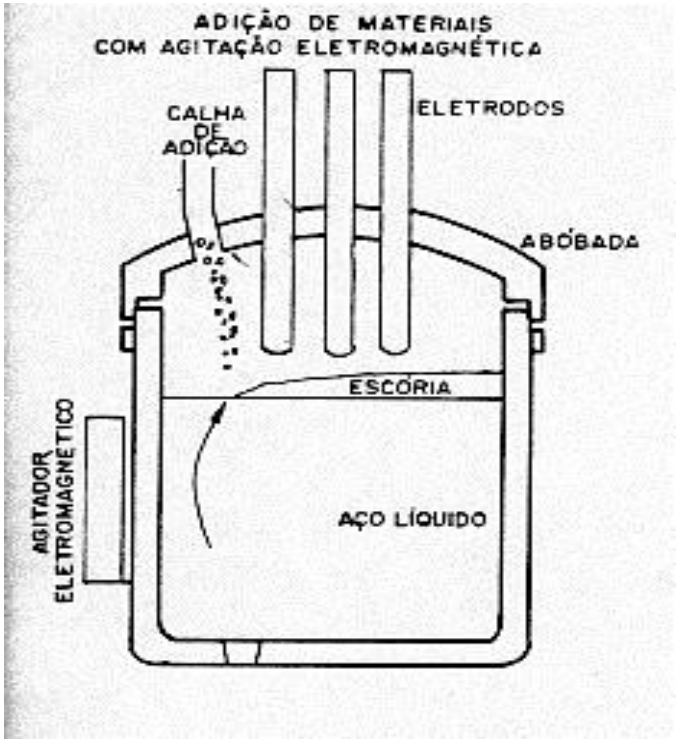
Panela

- Agitação do aço na Panela:
  - borbulhamento de gás inerte (argônio ou nitrogênio)



Panela

- Agitação do aço na Panela:
  - criação de campo magnético induzido por bobinas localizadas fora da Panela



Escória

- Fase normalmente líquida
- Composta principalmente de óxidos
- Resultado da oxidação do aço e seus elementos de liga (SiO_2, FeO, MnO, Cr_3O_4) durante a fusão
- CaO como óxido adicionado
- A escória de fusão não deve ser mantida no Refino Secundário
- Após a remoção da escória de fusão: nova escória com CaO, MgO e Al_2O_3

Equilíbrio Químico:
Escória x Aço Líquido

- Elementos químicos presentes no aço líquido estão em equilíbrio com os compostos presentes na escória ou nas inclusões (simplificação didática)

Equilíbrio Químico:
Escória x Aço Líquido

– óxidos não estáveis:

- O + Fe = FeO (principal equilíbrio)
- O + Mn = MnO
- 2O + Si = SiO2
- 4O + 3Cr = Cr3O4

– óxidos estáveis:

- O + Ca = CaO
- O + Mg = MgO
- 3O + 2Al = Al2O3

Desoxidação

- Adição de Al, Si e Mn
  - Presença de escória com baixas quantidades de FeO, MnO e SiO2
  - Uso combinado de Si e Mn é mais eficiente do que o uso isolado de cada um devido à formação de silicato de manganês líquido
- Uso de Ca e Mg metálicos traz a dificuldade do alto custo e manuseio difícil
- Também utilizado: $\underline{O} + \underline{C} = CO$ (gás)

Descarburação

- $\underline{O} + \underline{C} = CO$ (gás)
  - associado a :
- $\underline{O} + \underline{Fe} = FeO$

- Não é comum em operações de refino, exemplo na fabricação de aços inoxidáveis
  - FeCr AC possui C por volta de 7,5% e é mais barato - necessita-se remover o C em excesso

Desfosforação

- $2\underline{P} + 5\ FeO = P_2O_5 + 5\underline{Fe}$
  - escória 35 a 40% de CaO para fixação do P_2O_5 + forte agitação
  - FeO na escória (30 a 40% de preferência)

Dessulfuração

- $3\ CaO + 2\ \underline{Al} + 3\underline{S} = 3\ CaS + Al_2O_3$
  - enxofre é fixado na escória como CaS

- $CaO + \underline{C} + \underline{S} = CaS + CO$ (gás)
  - variante do equilíbrio químico na dessulfuração

Desgaseificação

- $2\underline{H} = H_2$ (gás)

- $2\underline{N} = N_2$ (gás)

  - 70% do hidrogênio pode ser removido
  - 25% do nitrogênio pode ser removido

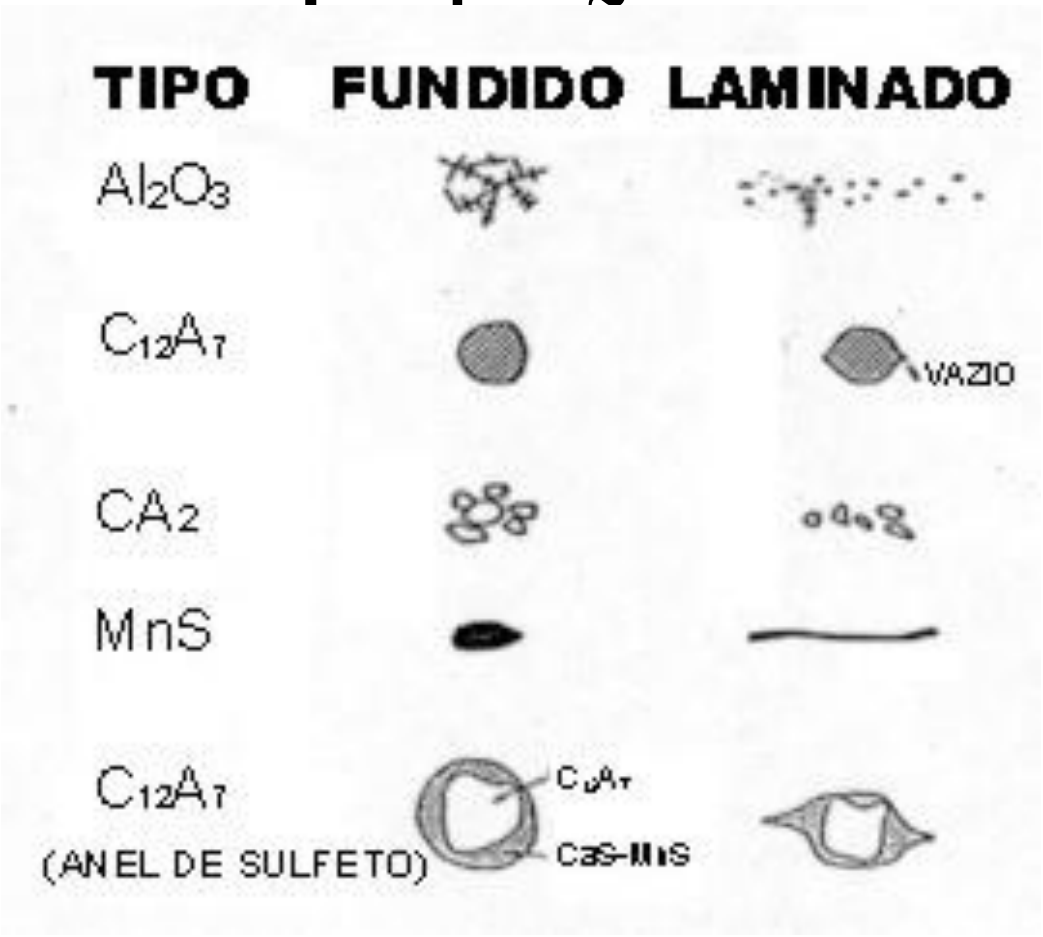
Desgaseificação

- $2\underline{H} = H_2$ (gás)

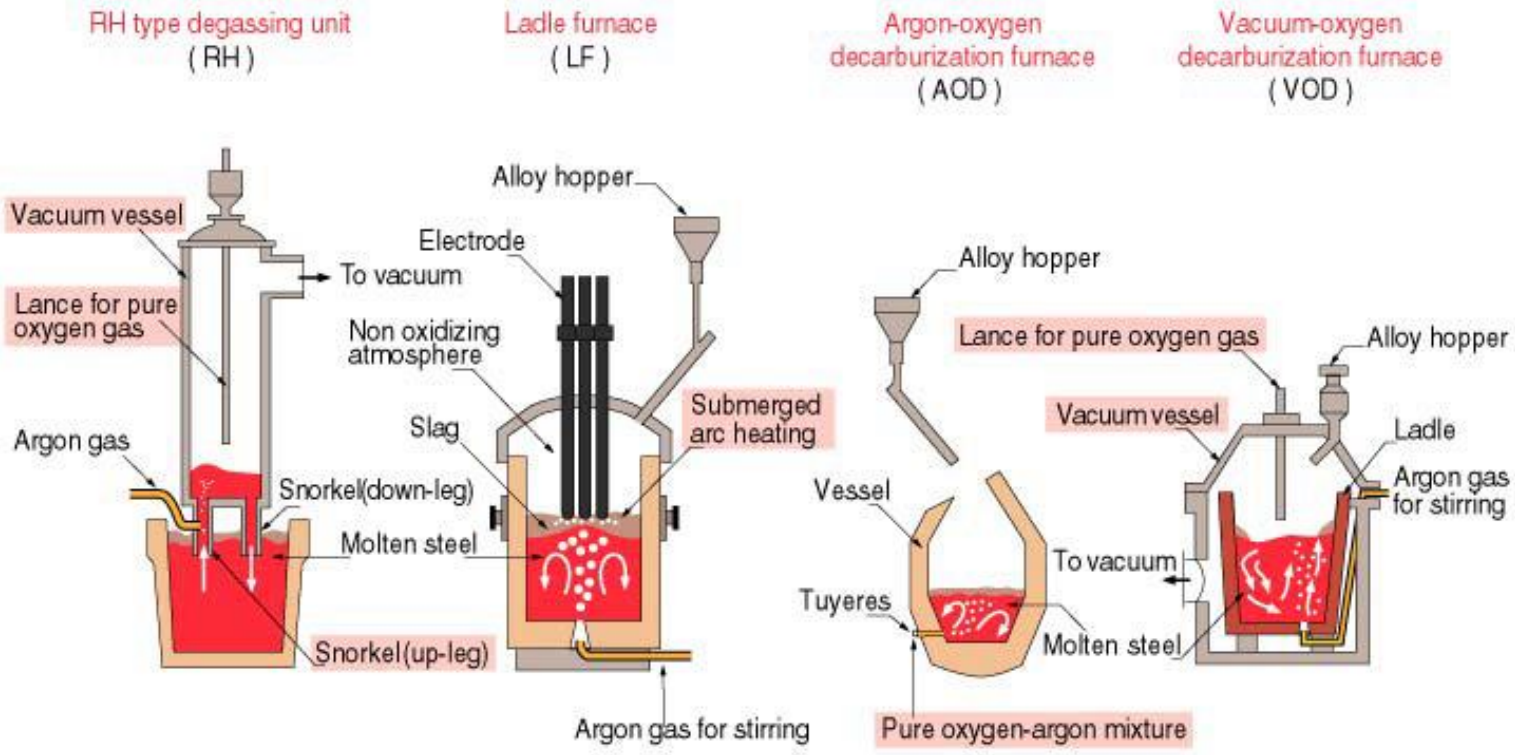
- $2\underline{N} = N_2$ (gás)

  - 70% do hidrogênio pode ser removido
  - 25% do nitrogênio pode ser removido

Controle de Morfologia de



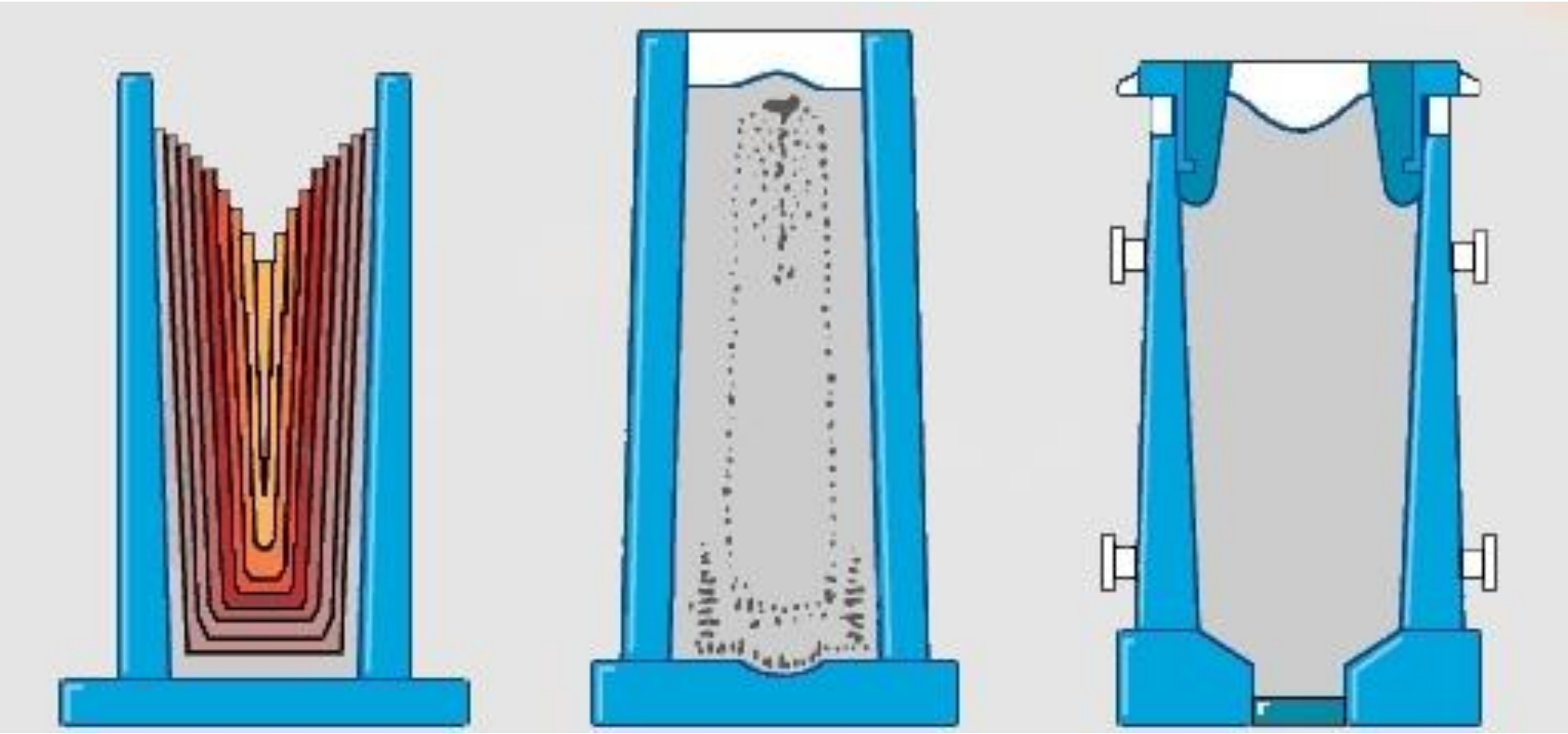
Typical Facilities for Secondary Refining



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 convencional

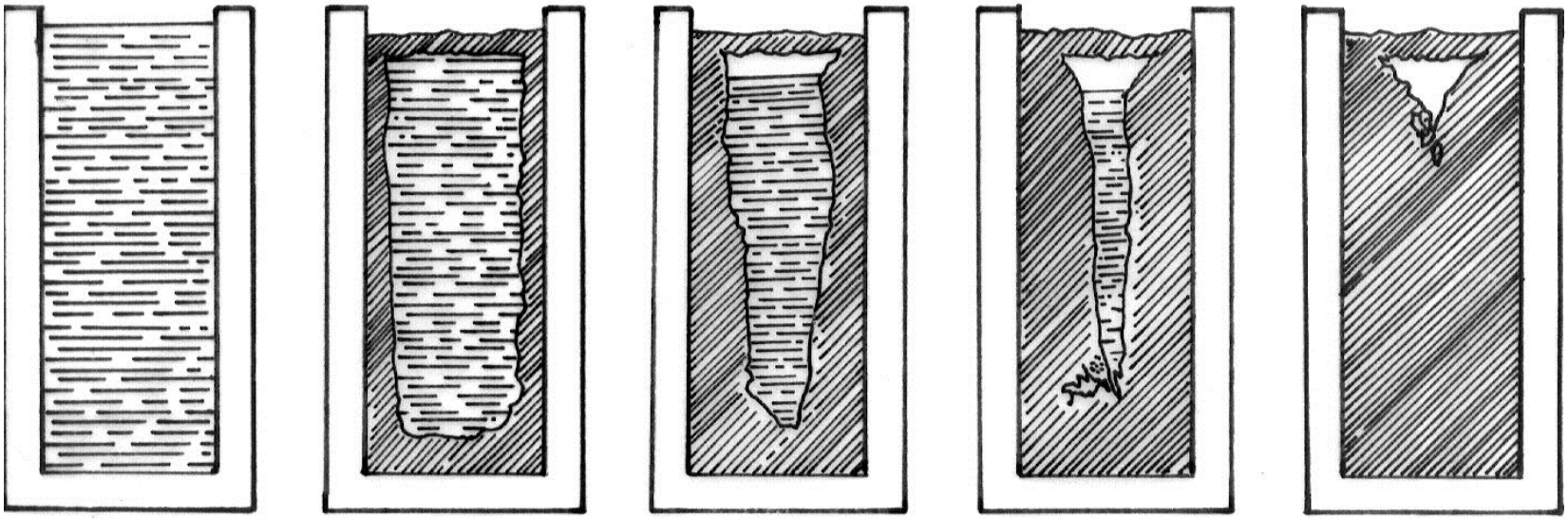


Formação de rechupes – Contração de soldificação

Lingotamento convencional

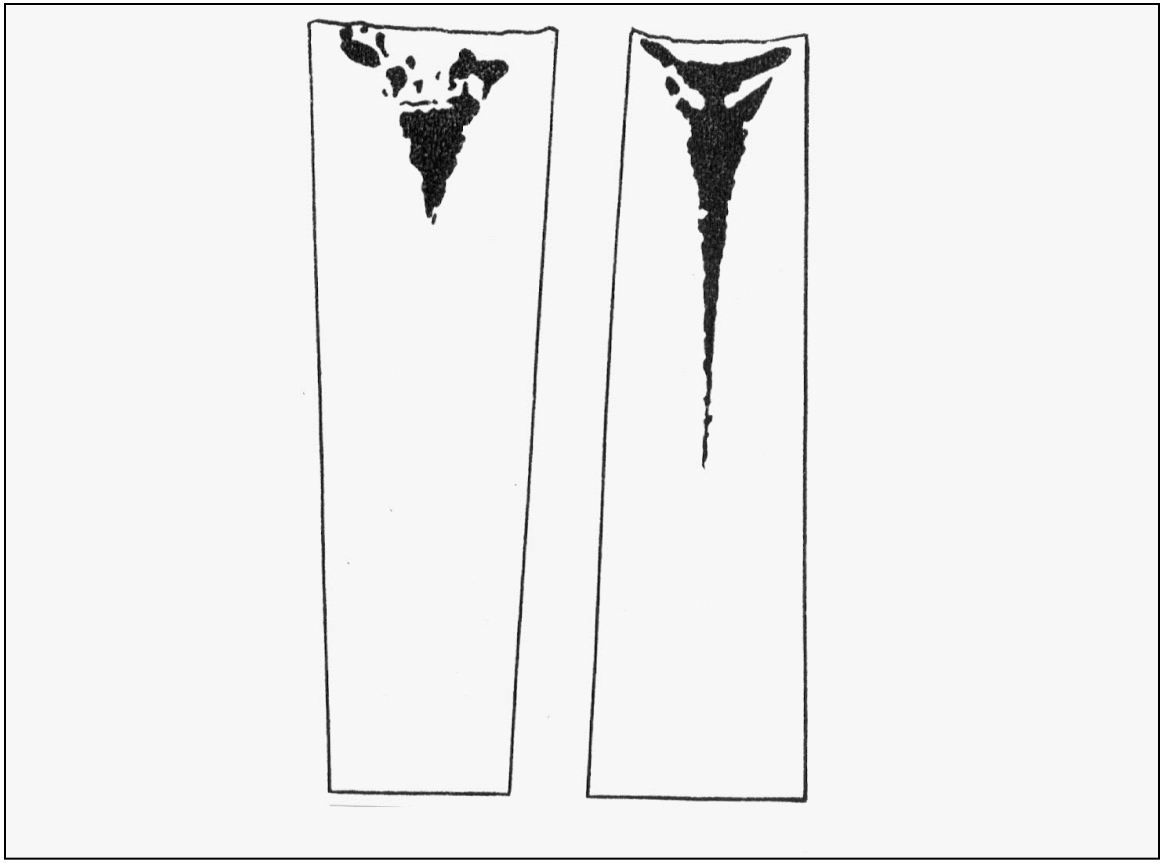
Formação de rechupes ou contração de solidificação

Durante a solidificação, a transformação **L** $\Rightarrow$ **S** ocorre com variação volumétrica, gerando uma contração de solidificação.

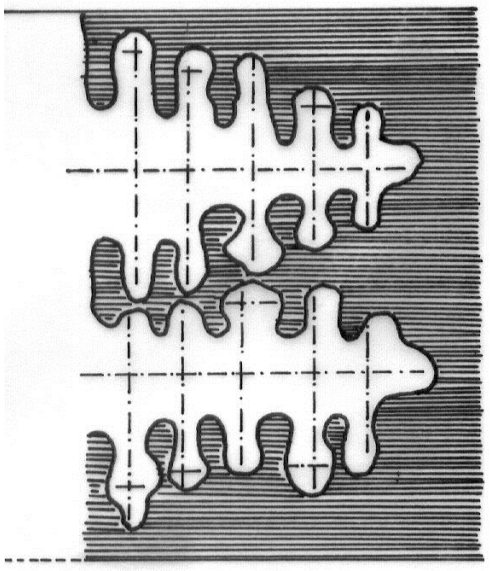


Contração de solidificação

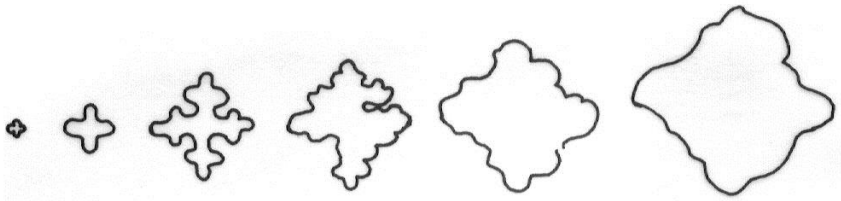
A geometria da chupagem ou contração de solidificação e sua distribuição depende da geometria da peça fundida.



Formação de cristais



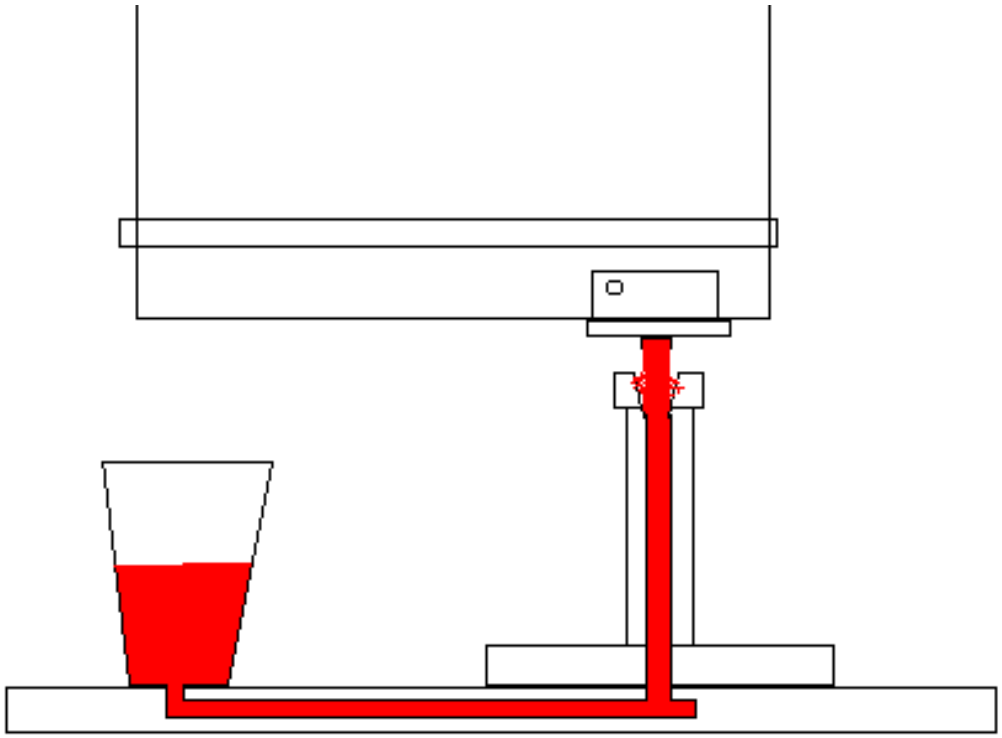
A reação **L** ⇒ **S** é heterogênea: ocorre por nucleação e crescimento



Pequenos cristais nucleiam no meio do líquido e crescem segundo direções cristalográficas preferenciais [100], dando origem aos cristais dendríticos (ramificados).

Figura 1.11 - a) Crescimento dendrítico na zona colunar; b) Crescimento dendrítico na zona equiaxial.(1)

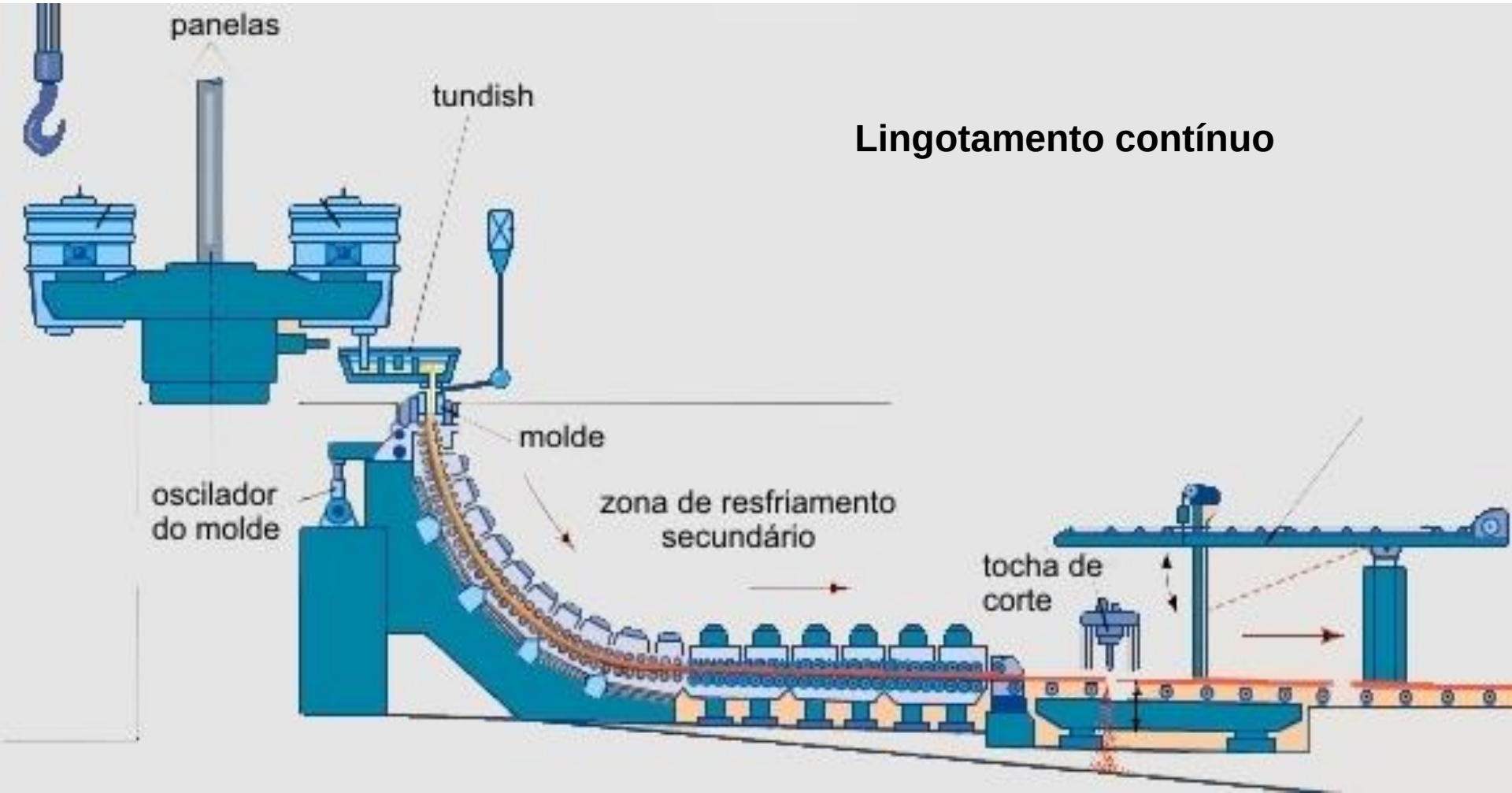
Lingotamento convencional - Indireto



JR5
180

- 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



Lingotamento contínuo

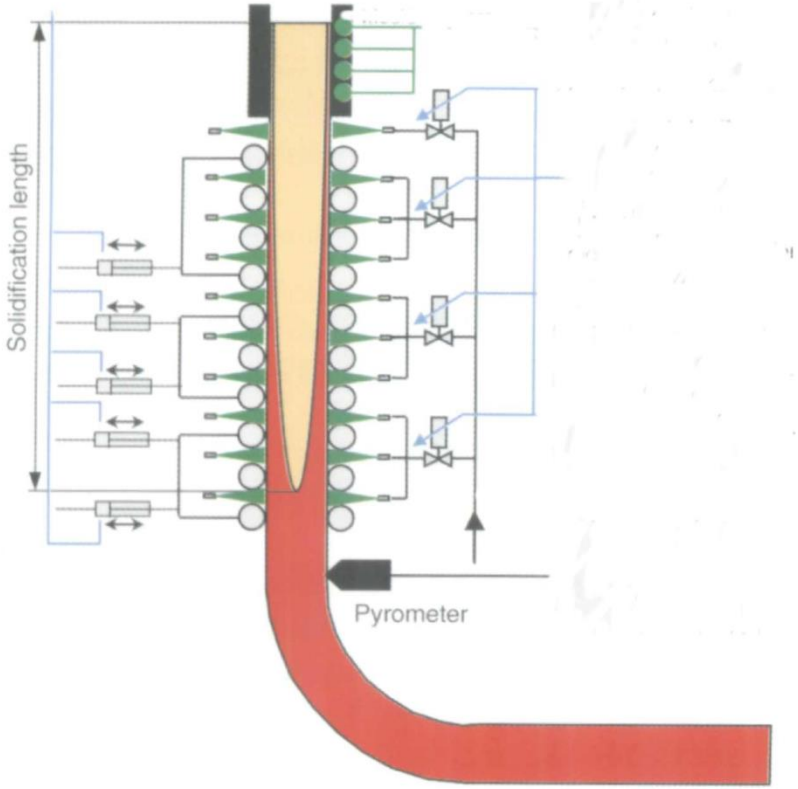
- O molde é feito de cobre - metal de alta condutividade térmica – refrigerado com água e oscila verticalmente para evitar adesão da casca solidificada ao molde.

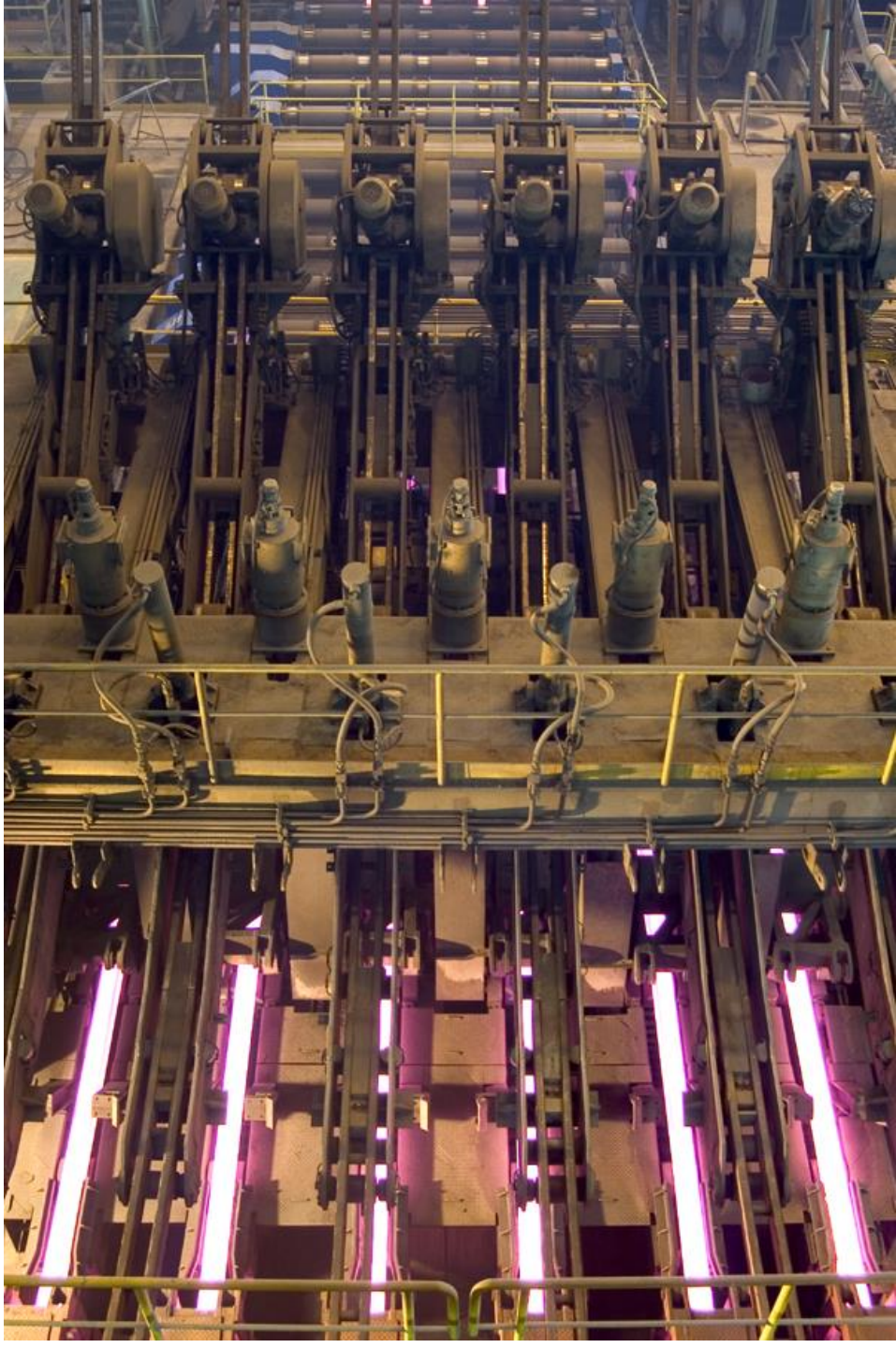
- O tarugo é suportado por vários rolos guia em seu movimento de descida para evitar que a pressão ferrostática do líquido dobre a casca.

- 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.

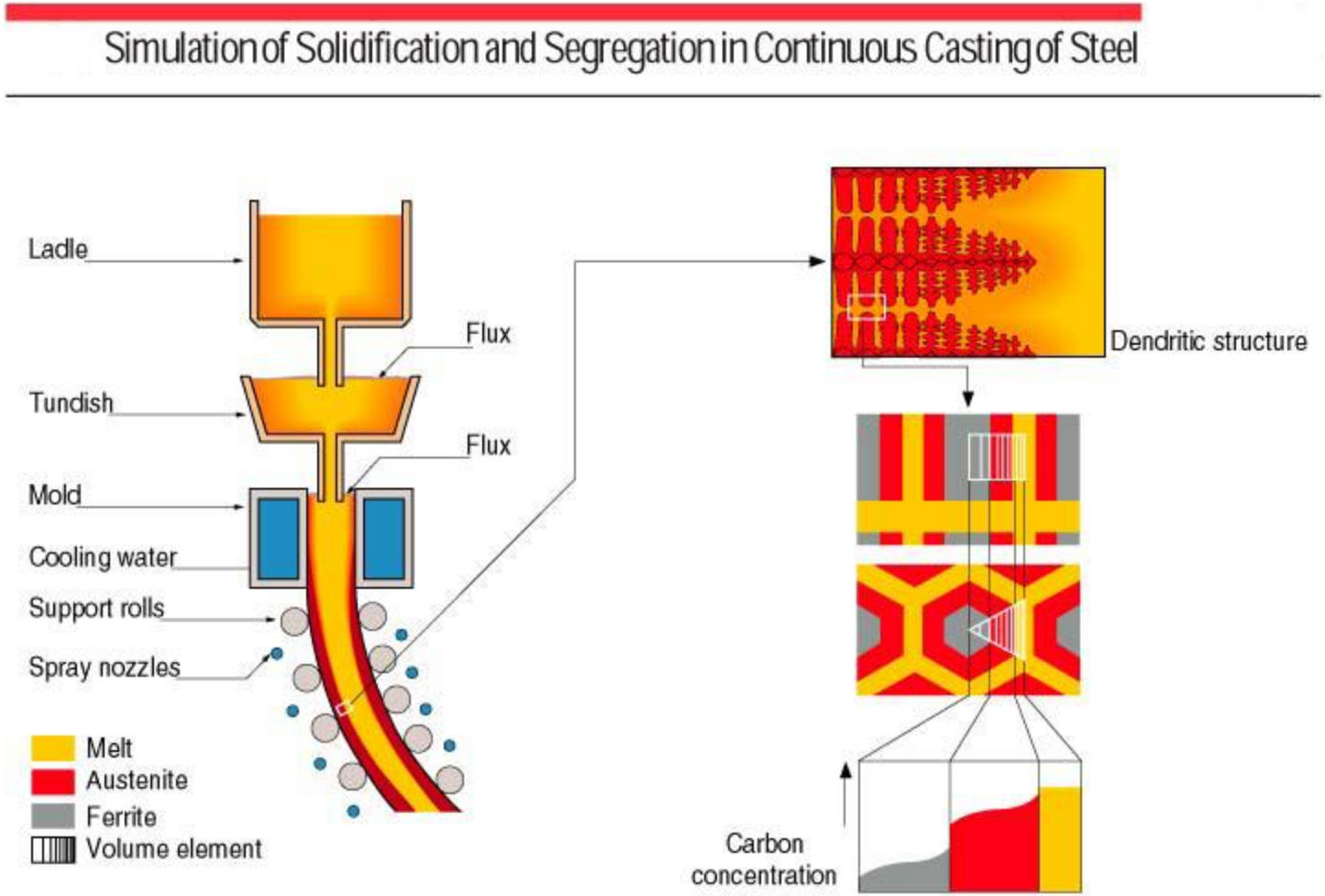
- Ao passar pelo último rolo de sustentação o tarugo entra em uma mesa de saída e é cortada, ainda em movimento, por tochas oxi-acetilênicas.





7 5 2001

Estrutura de solidificação no lingotamento contínuo



Perfís obtidos por lingotamento contínuo