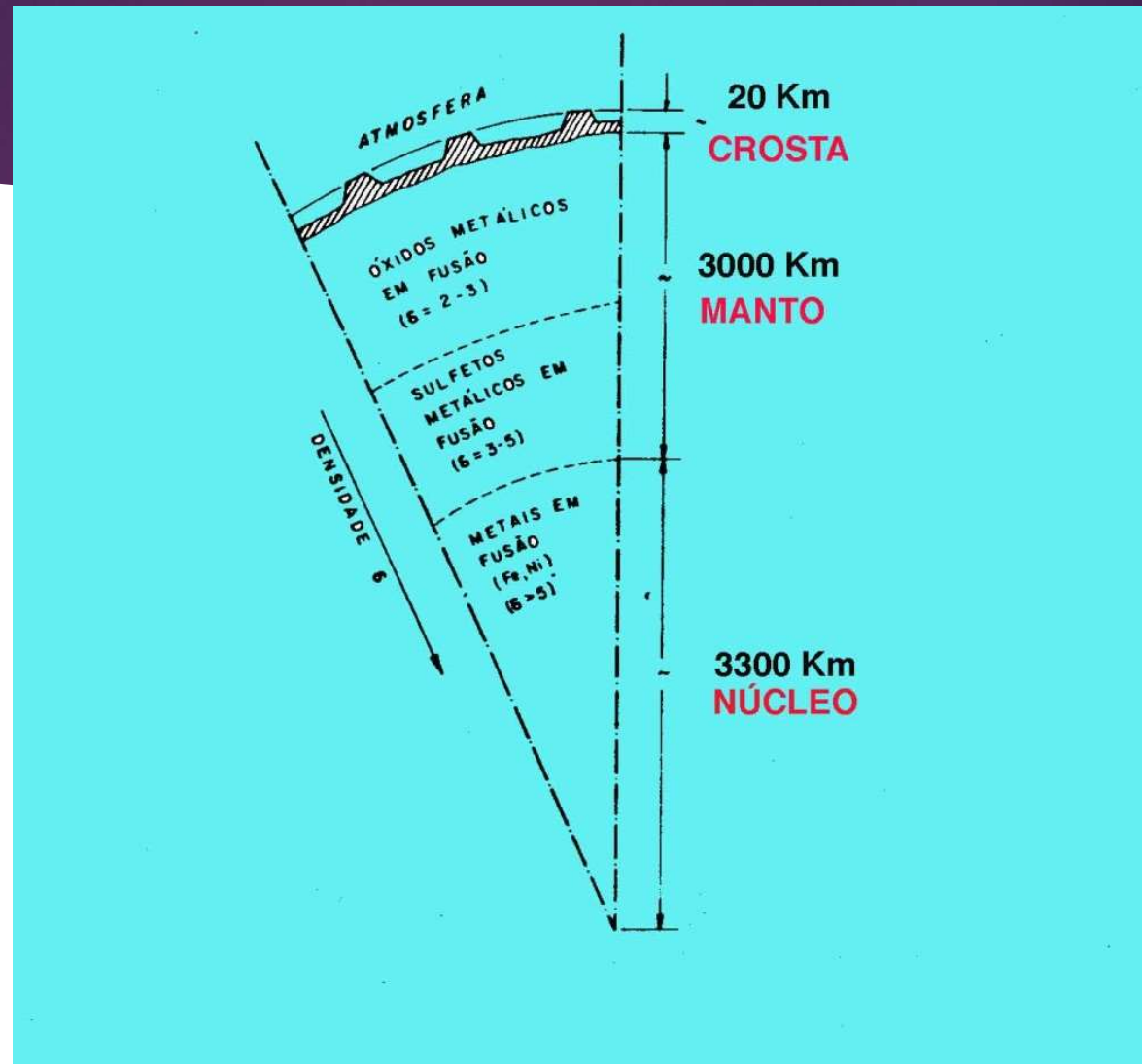




PROCESSOS DE PRODUÇÃO DE FERRO E AÇO

PROFA.DRA. LAURALICE CANALE

Introdução



Recursos - Minerais

<i>Abundância Relativa</i>	<i>Elemento</i>	<i>Símbolo</i>	<i>Ocorrência (% peso)</i>
1	Oxigênio	O	47
2	Silício	Si	27
3	ALUMÍNIO	Al	8
4	FERRO	Fe	5
5	Cálcio	Ca	4
6	Sódio	Na	3
7	Potássio	K	2,5
8	MAGNÉSIO	Mg	2,0
9	TITÂNIO	Ti	0,5
10	Hidrogênio	H	0,15
11	Fósforo	P	0,10
12	MANGANÊS	Mn	0,09
13	Fluor	F	0,06
14	Bário	Ba	0,04
15	Estrôncio	Sr	0,03
16	Enxofre	S	0,025
17	Carbono	C	0,020
18	ZIRCÔNIO	Zr	0,015
19	VANÁDIO	V	0,014
20	Cloro	Cl	0,013
21	CROMO	Cr	0,010
22	Rubídio	Rb	0,009
23	NÍQUEL	Ni	0,008
24	ZINCO	Zn	0,007
25	Cério	Ce	0,006
26	COBRE	Cu	0,005
27	Ítrio	Y	0,004
28	Lantânio	Lt	0,003
29	Neodímio	Ne	0,0028
30	COBALTO	Co	0,0025
31	Escândio	Sc	0,0023
32	Lítio	Li	0,0022
33	NÍOBIO	Nb	0,0021
34	Nitrogênio	Ne	0,0020
35	Gálio	Ga	0,0015
36	CHUMBO	Pb	0,0013
37	Rádio	Ra	0,0012
38	Boro	B	0,0010
39	Criptônio	Kp	0,0009
40	Praseodímio	Pr	0,0008

74%

99%

Recursos - Minerais

Metais normalmente extraídos de minérios à base de óxidos

Metal	Mineral	Composto
Berílio	Beril	$\text{BeO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$
Cromo	Cromita	$\text{Cr}_2\text{O}_3 \cdot \text{FeO}$
Estanho	Cassiterita	SnO_2
Ferro	Hematita (vermelha)	Fe_2O_3
	Limonita(marrom)	$\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$
	Magnetita (negra)	Fe_3O_4
Manganês	Pirosulita	MnO_2
Nióbio	Pirocloro	Nb_2O_5
Nióbio e Tântalo	Tantalita	$\text{Nb}_2\text{O}_5 \cdot \text{Ta}_2\text{O}_5$
Silício	Sílica/Quartzo	SiO_2
Titânio	Rutilio	TiO_2
	Ilmenita	$\text{TiO}_2 \cdot \text{FeO}$
Tungstênio	Volfranita	$\text{WO}_3 \cdot \text{FeO}$
	Xelita	$\text{WO}_3 \cdot \text{CaO}$
Urânio	Pichiblanda	U_3O_8
Zircônio	Badelita	ZrO_2
	Zirconita	$\text{ZrO}_2 \cdot \text{SiO}_2$

Recursos - Minerais

Metais normalmente extraídos de minérios à base de SULFETOS

Metal	Mineral	Composto
Antimônio	Estibina	Sb_2S_3
Bismuto	Bismutita	Bi_2S_3
Cádmio	Greenoquita	CdS
Cobre	Calcocita	Cu_2S
	Calcopirita	$CuS.FeS$
Chumbo	Galena	PbS
Mercúrio	Cinabar	HgS
Molibdênio	Molibdenita	MoS_2
Níquel	Pirrotita	$NiS.FeS$
Prata	Argentita	Ag_2S
Vanádio	Patronita	V_2S_3
Zinco	Esfalerita	ZnS

Metais normalmente extraídos de minérios à base de outros sais
(não sulfetos)

Metal	Mineral	Composto
Magnésio	Magnesita	$MgCO_3$
	Dolomita	$MgCO_3.CaCO_3$
Níquel	Garnierita	$NiSiO_3.MgSiO_3.H_2O$
Cobalto	Esmaltita	$CoAs_2$
	Cobalita	$CoAs_2.AsS$
Prata	Cerargita	$AgCl$

Recursos - Minerais

Principais minerais para extração de metais com metais associados

Metal	Principais Minérios	Metais Associados
	Bauxita: $Al_2O_3 \cdot 2H_2O$	Ti, Fe, Ga
	Cromita: $FeCr_2O_4$	
	Calcopirita: $(CuFe)S_2$	Ag, Au, Ni
	Calcocita: Cu_2S	Pt, Pd, Re
	Bornita: Cu_5FeS_4	As, Bi, Se

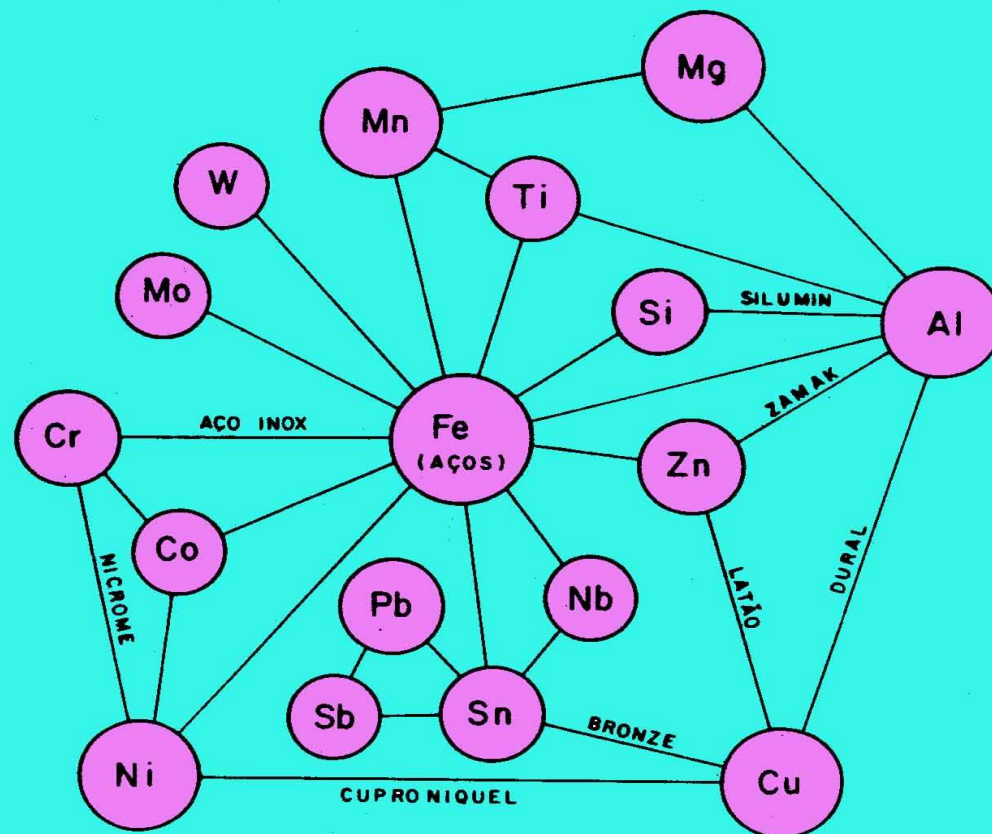
Recursos - Minerais

MINÉRIOS DE FERRO

Mineral	Fórmula química	Conteúdo teórico em ferro após calcinação
hematita	Fe ₂ O ₃	69,96
magnetita	Fe ₃ O ₄	72,4
magnesioferrita	MgO·Fe ₂ O ₃	56-65
goethita	Fe ₂ O ₃ ·H ₂ O	70
hidrogoethita	3Fe ₂ O ₃ ·4H ₂ O	70
limonita	2Fe ₂ O ₃ ·3H ₂ O	70
siderita	FeCO ₃	70
pirita	FeS ₂	70
pirrotita	Fe _{1-x} S	70
ilmenita	FeTiO ₃	36,8

Recursos
-
Minerais

Recursos - Minerais



Esquema simplificado das principais interdependências entre metais, para formação das ligas metálicas de maior interesse industrial.

Recursos - Minerais

<i>PRAZOS A PARTIR DE 1980 (ANOS)</i>				
<i>10 a 20</i>	<i>20 a 50</i>	<i>50 a 200</i>	<i>200 a 400</i>	<i>400 a 600</i>
Estanho Prata Mercúrio Ouro	Cobre Zinco Chumbo Platina	Tungstênio Molibdênio Vanádio Antimônio	Cromo Niquel Cobalto Alumínio	Ferro Manganês Titânio Nióbio

Para refletir:

- Estamos em 2020. Acabaram? Por que?
- Há solução para o problema de falta? Qual?

**DISTRIBUIÇÃO REGIONAL
DAS RESERVAS MEDIDAS E INDICADAS EM 1977**

Matéria-Prima	Parte dos três primeiros países (em %)	Parte dos cinco primeiros países (em %)	Parte de alguns países (em %)
Ferro	59,4	76,7	URSS (30,2), <u>Brasil (17,5)</u> , Canadá (11,7), Austrália (11,05), Índia (5,8)
Cobre	44,9	68,7	USA (18,5), Chile (18,5), URSS (7,9), Peru (7,0), Canadá (6,8), Zâmbia (6,4)
Chumbo	47,8	61,4	USA (20,8), Austrália (13,8), URSS (13,2), Canadá (9,5), <u>África do Sul (4,1)</u>
Estanho	50,2	68,1	Indonésia (23,6), China (14,8), Tailândia (11,8), Bolívia (9,7), Malásia (8,2), URSS (6,1), Brasil (5,9)
Zinco	45,8	58,6	Canadá (18,7), USA (14,5), Austrália (12,6), URSS (7,3), Irlanda (5,5)
Alumínio	62,8	74,8	Guiné (33,9), Austrália (18,6), <u>Brasil (10,3)</u> , Jamaica (6,2), Índia (5,8), Guiana (4,1), Cameron (4,1)
Titânio	59,0	74,1	<u>Brasil (26,3)</u> , Índia (17,5), Canadá (15,2), <u>África do Sul (8,6)</u> , Austrália (6,6), Noruega (6,4), USA (6,0)
Cromita	96,9	97,9	<u>África do Sul (74,1)</u> , Rodésia (22,2), URSS (0,6), Finlândia (0,6), Índia (0,4), <u>Brasil (0,3)</u> , Madagáscar (0,3)
Cobalto	63,0	83,5	Zaire (30,3), Nova Caledônia (18,8), URSS (13,9), Filipinas (12,8), Zâmbia (7,7), Cuba (7,3)
Nióbio	88,5	95,3	<u>Brasil (76,6)</u> , URSS (6,4), Canadá (5,5), Zaire (3,8), Uganda (3,0), Nigéria (3,0)
Manganês	90,5	97,7	<u>África do Sul (45,0)</u> , URSS (37,5), Austrália (8,0), Gabão (5,0), <u>Brasil (2,2)</u>
Molibdênio	74,3	86,9	USA (38,4), Chile (27,8), Canadá (8,1), URSS (6,6), China (6,0)
Níquel	54,5	76,8	Nova Caledônia (25,0), Canadá (16,0), URSS (13,5), Indonésia (13,0), Austrália (9,3), Filipinas (9,0)
Tântalo	72,7	84,8	Zaire (55,0), Nigéria (11,0), URSS (2,9), Coreia do Norte (6,4), USA (6,1)
Tungstênio	69,6	80,6	China (46,9), Canadá (12,1), URSS (10,6), Coreia do Norte (5,6), USA (5,4), Austrália (2,7)
Vanádium	94,9	97,2	URSS (74,8), <u>África do Sul (18,7)</u> , Chile (1,4), Austrália (1,4), Venezuela (0,9), Índia (0,9)
Bismuto	47,9	60,9	Austrália (20,7), Bolívia (16,3), USA (10,9), Canadá (6,5), México (6,5), Peru (5,4)
Mercúrio	65,2	78,3	Espanha (38,4), URSS (18,2), Iugoslávia (8,6), USA (8,6), China (4,5), México (4,5), Turquia (4,5), Itália (4,1)
Prata	64,9	76,5	URSS (26,2), USA (24,8), México (13,9), Canadá (11,6), Peru (10,0)
Platina	99,5	99,9	<u>África do Sul (82,3)</u> , URSS (15,6), Canadá (1,6), Colômbia (0,3), USA (0,1)
Amianto	81,3	91,8	Canadá (42,7), URSS (32,3), <u>África do Sul (6,3)</u> , Rodésia (6,3), USA (4,2)

Recursos - Minerais

Energia Especifica Requerida para a Extração do Metal e para a Recuperação de sua Sucata

<i>Metal</i>	<i>Energia Requerida (10³ kWh/ton)</i>		<i>Relação Energia Energia Extr./Recup.</i>
	<i>Para Extração</i>	<i>Para Recuperação</i>	
Titânio	126,0	52,4	2,4
Ferro	4,3	1,7	2,5
Cobre	14,0	1,8	7,8
Alumínio	52,0	2,0	26,0
Magnésio	91,0	1,9	47,9

Recursos - Coque

Tabela 1 – Comparativo entre os tipos de carvões minerais

MATERIAL	TURFA	LINHITO	HULHAS	ANTRACITO
Período de formação	Quaternário	Terciário (cretáceo; 135 a 2 milhões de anos)	Primário (350 a 225 milhões de anos)	Primário (350 a 225 milhões de anos)
Cor	amarela a parda	Parda a negra	negra	Negra
Aspecto	terroso	lenhoso	rochoso	rochoso
Estrutura	Musgosa e fibrosa			
Umidade (natural) [%]	90	20 a 40	10 a 20	2,0 a 3,5
Umidade (seco ao ar) [%]	20 a 25	15 a 25	1,0 a 2,0	2,0 a 3,5
% C ¹	55 a 65	65 a 73	73 a 92	92 a 96
% H	5,5	4,5	5,3	2,5
%O	32	21	8 a 16	4
Teor de cinzas [%]	8 a 15	6 a 7,5	3,5 a 9,1	2 a 3
Poder calorífico [Kcal/ kg]	3000 a 3500	3800 a 4600	5000 a 8200	7200 a 8000

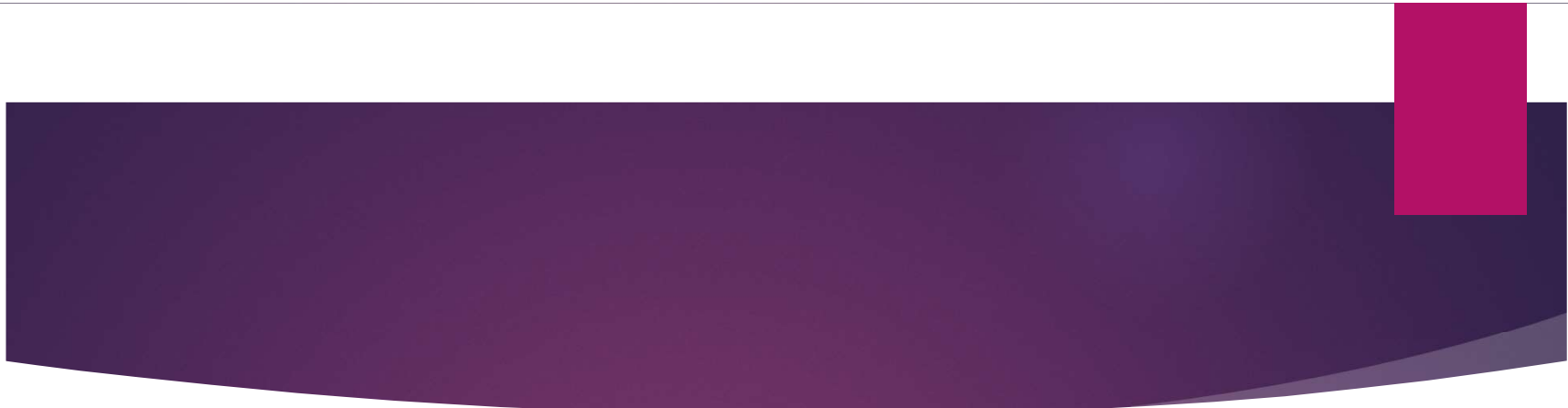
¹ Teores calculados com base seca e sem cinzas

Processos - Coqueificação

O coque é um tipo de combustível derivado da hulha. Começou a ser utilizado na Inglaterra do século XVIII. O coque obtém-se do aquecimento da hulha, sem combustão, num recipiente fechado. Pode ser utilizado na produção de ferro-gusa, sendo adicionado junto com a carga metálica.

Bateria de Coqueificação





O coque é obtido pelo processo de "coqueificação", que consiste, em princípio, no aquecimento do carvão mineral a altas temperaturas, em câmaras hermeticamente fechadas (exceto para saída de gases). No aquecimento às temperaturas de coqueificação e na ausência de ar, as moléculas orgânicas complexas que constituem o carvão mineral se dividem, produzindo gases, compostos orgânicos sólidos e líquidos de baixo peso molecular e um resíduo carbonáceo relativamente não volátil. Este resíduo resultante é o "coque", que se apresenta como uma substância porosa, celular, heterogênea sob os pontos de vista químico e físico. A qualidade do coque depende muito do carvão mineral do qual se origina, principalmente do seu teor de impurezas.^[4]

Processos – Fundentes ou fluxantes

Fundente em metalurgia é uma substância usada para promover fluidez ao metal e remover impurezas na forma de escória. Calcário é comumente usado como fundente na fundição de minério de ferro

Processos – Fundentes ou fluxantes

Fundentes {
Básicos (portadores de CaO e/ou MgO)
Ácidos (portadores de SiO₂ e/ou Al₂O₃)

Os principais fundentes são:

- Calcário (portador de CaO);
- Cal (portador de CaO);
- Dunito (portador de MgO e SiO₂);
- Serpentinito (portador de MgO e SiO₂);
- Dolomita (portador de MgO e SiO₂);
- Quartzo (portador de SiO₂).

Processos – Redução dos minérios de ferro

Processo de redução direta

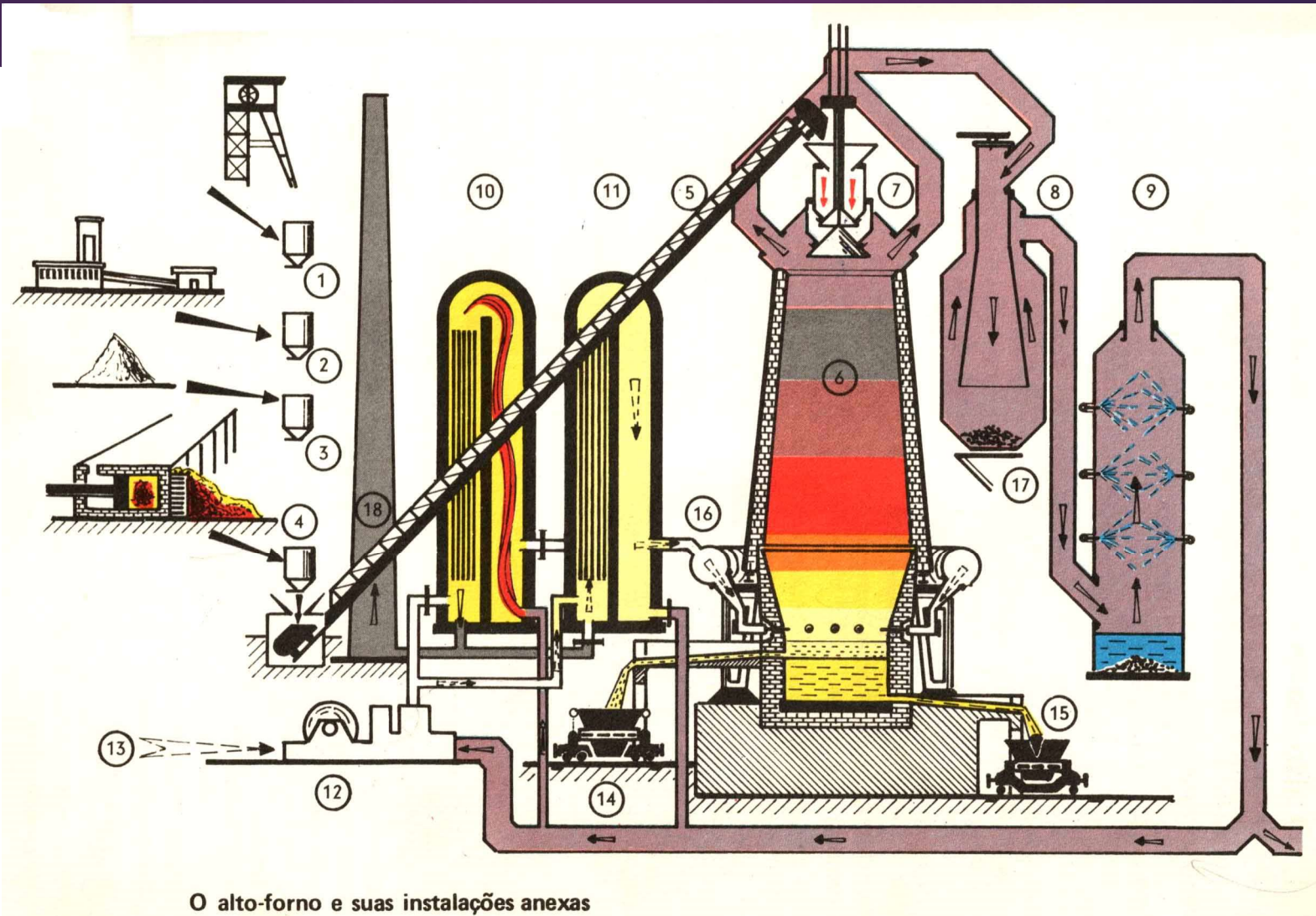
Processos de redução direta são aqueles nos quais a redução do minério de ferro a ferro metálico é efetuada sem que ocorra, em nenhuma etapa do processo, a fusão da carga no reator.

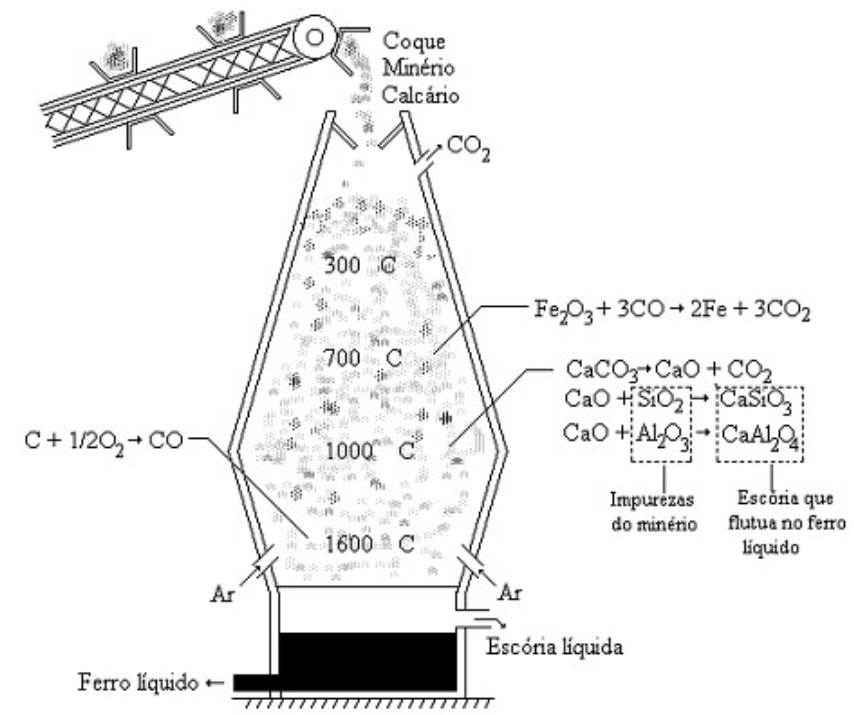
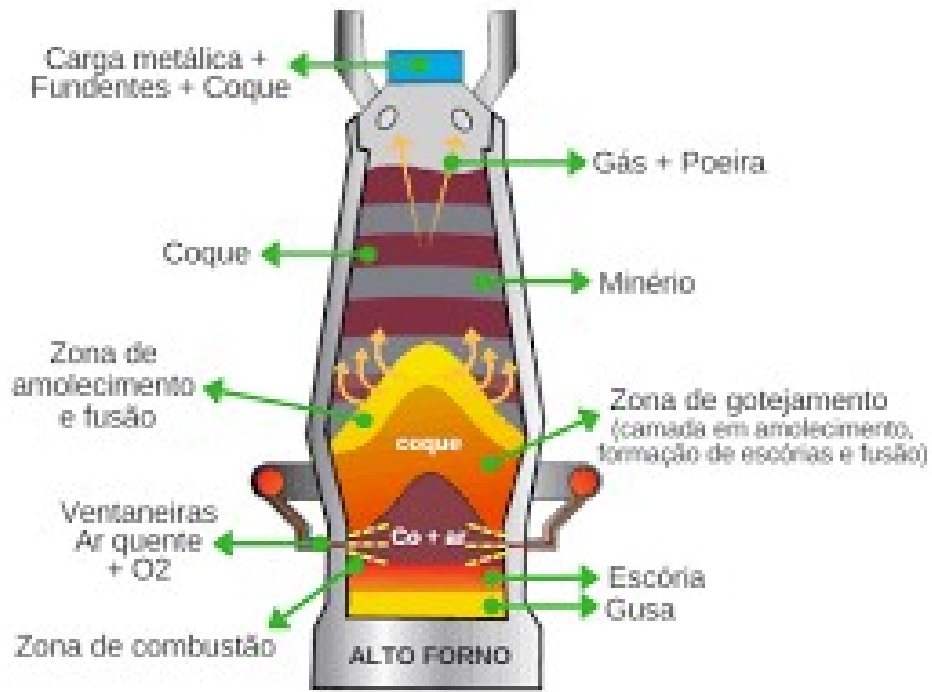
A redução no estado sólido de minério de ferro por carvão é praticada desde a antiguidade, tendo sido o principal processo de obtenção de ferro até o desenvolvimento dos altos fornos. Assim, o produto metálico é obtido na fase sólida, sendo chamado de “ferro esponja”.

O ferro esponja é um produto metálico com 85 a 95% de ferro e de 0,1 a 1,0% de C, podendo chegar a 2,0% de C. Tem aspecto esponjoso e é obtido no estado sólido à temperatura em torno de 1100°C, a preços relativamente reduzidos se comparado a grandes siderúrgicas.

Processos – Redução dos minérios de ferro

Processo de redução indireta – ALTO FORNO





Processos – Redução dos minérios de ferro

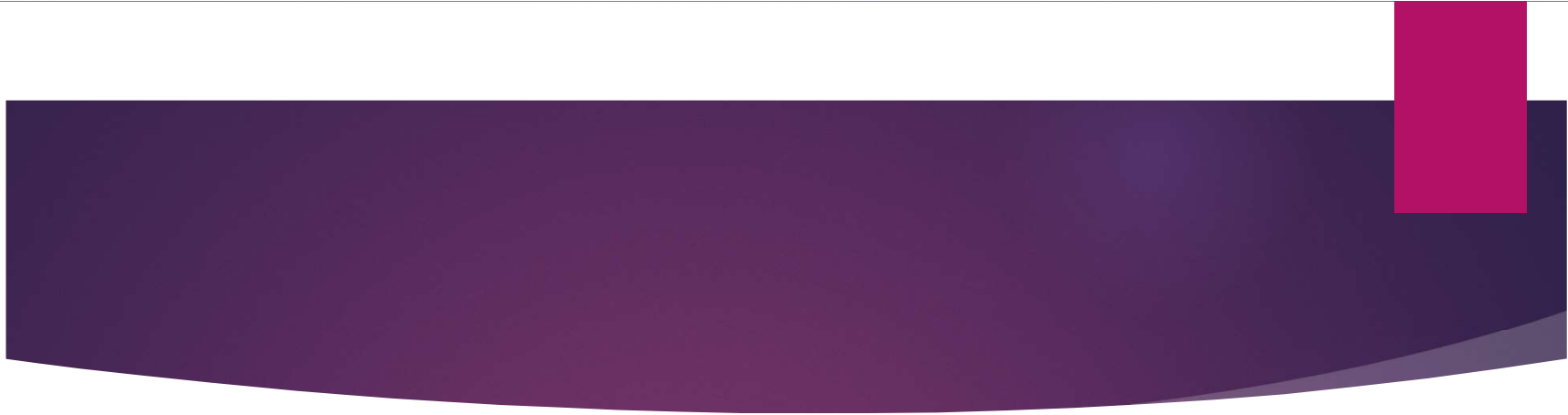
PROCESSO DE REDUÇÃO INDIRETA – ALTO FORNO

Processos – Redução dos minérios de ferro

Processo de redução indireta – ALTO FORNO

Ferro-gusa	
Elemento	Faixa de composição [%]
Si	0,5 - 3,0
S	0,035 - 0,050
P	0,040 - 0,40
Mn	1,0 - 2,0
C	3,0 - 4,5
Fe	Balanço

Escória do alto-forno	
Componente	Faixa de composição [%]
SiO ₂	23 a 55
CaO	27 a 55
Al ₂ O ₃	5 a 25
MgO	1 a 12
FeO	0,5 a 2
S	0,4 a 1,2



As escórias se formam pela fusão das impurezas do minério de ferro, juntamente com a adição de fundentes (calcário e dolomita) e as cinzas do coque (carvão mineral).

A escória fundida é uma massa que, por sua insolubilidade, e menor densidade, sobrenada no ferro gusa e é conduzida por canais, até o lugar de resfriamento.

A escória de Alto Forno é produzida no Alto Forno que produz Ferro Gusa , na proporção de 200 a 300 Kg de escória por tonelada de ferro gusa.





UTILIZAÇÃO DE ESCÓRIA PRODUZIDA EM ALTO-FORNO A CARVÃO VEGETAL COMO AGREGADO GRAÚDO E MIÚDO PARA CONCRETO

O resfriamento em água se dá em tanques com água, conhecidos como tanques de granulação e geralmente necessita-se de 5 m³ a 10 m³ d'água por tonelada de escória. Não há tempo suficiente para formação de cristais, essa escória se granula “vitrificando”, obtendo-se uma areia grossa, porosa, de fratura vítrea observada com lupa, com um tamanho máximo do grão, de 5 mm, cor branca amarelada e marrom.

O resfriamento lento ocorre quando a escória é despejada em fossos ao ar livre originando um produto maciço e cristalizado que depois de britado e processado pode ser utilizado como agregado graúdo para concreto.



Escória de alto forno

Esta sobra é originada na produção do ferro gusa nos altos fornos. Essa sobra está sendo muito utilizada na indústria cimenteira substituindo o clínquer. Isso possibilita reduzir a emissão de CO₂ e o recurso natural pelas jazidas de calcário.

A principal matéria-prima para fabricar o clínquer é a rocha calcária e, além dela, também são utilizados, em menor proporção, argila, e óxidos de ferro e alumínio.



Processos – Ferro gusa comercial

Processos – Dessulfuração

O ferro gusa gerado nos altos fornos possuem elevados teores de enxofre, elemento indesejável na maioria dos aços e de difícil eliminação nos convertedores.

Por essa razão, o ferro gusa deve ser dessulfurado, ainda nos carros torpedos, antes de seguir para a aciaria, numa estação de dessulfuração onde se cria as condições ideais.

Processos – Dessulfuração

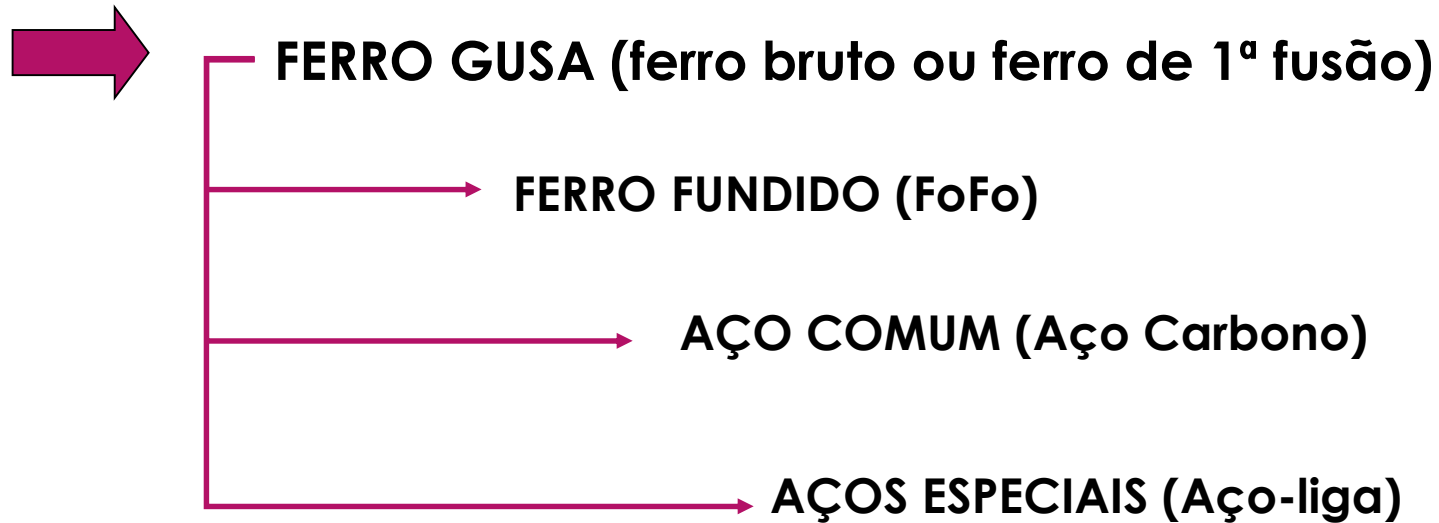
Decomposição do calcário:



Escorificação do enxofre:



Processos – Fabricação de FoFo e Aço



Processos – Fabricação de FoFo e Aço

Processo LD

- ▶ O **Conversor a Oxigênio** ou **Processo Linz-Donawitz** é o processo mais comum para a produção de aço atualmente.
- ▶ Nos conversores a oxigênio são fabricados mais de 50% da produção mundial de aço. No Brasil eles também são amplamente utilizados.
- ▶ A carga desse conversor é constituída de ferro gusa líquido, sucata de ferro, minério de ferro e aditivos (fundentes). Com uma lança refrigerada com água, injeta-se oxigênio puro a uma pressão de 4 a 12 bar no conversor.

Processos – Fabricação de FoFo e Aço

Refino do Aço - Aciaria

Conversor LD - Operação



Processos – Fabricação de FoFo e Aço

Processo LD

- ▶ A oxidação do carbono e dos acompanhantes do ferro libera grande quantidade de calor. Para neutralizar essa elevada temperatura que prejudicaria o refratário, adiciona-se sucata ou minério de ferro.
- ▶ Pela adição de fundentes como a cal, os acompanhantes do ferro como o manganês, silício, fósforo e enxofre unem-se formando a escória.
- ▶ Para aumentar a qualidade do aço, adicionam-se os elementos de liga no final do processo ou quando o aço está sendo vertido na panela, já pronto.
- ▶ Os aços produzidos no LD não contém nitrogênio pois não se injeta ar, daí a alta qualidade obtida.

Refino do Aço - Aciaria

Conversor LD - Operação



Processos – Fabricação de FoFo e Aço

Processo LD



Convertor da aciaria nº 2
Foto: Cosipa, cerca de 1990

Comparativo entre os processos

Tipo de forno	Combustível	Tipo de carga	Capacidade de carga	Vantagens	Desvantagens
Conversor Bessemer	Injeção de ar comprimido.	Gusa líquido.	10 a 40 ton.	Ciclo curto de processamento (10 a 20 minutos).	Impossibilidade de controle do teor de carbono. Elevado teor de óxido de ferro e nitrogênio no aço. Gera poeira composta de óxido de ferro, gases e escória.
Conversor Thomas	Injeção de ar comprimido.	Gusa líquido, cal.	Em torno de 50 ton.	Alta capacidade de produção. Permite usar gusa com alto teor de fósforo.	O gusa deve ter baixo teor de silício e enxofre. Elevado teor de óxido de ferro e nitrogênio no aço. Gera poeira composta de óxido de ferro, gases e escória.
Conversor LD	Injeção de oxigênio puro sob alta pressão.	Gusa líquido, cal.	100 ton.	Minima contaminação por nitrogênio.	Gera poeira composta de óxido de ferro, gases e escória.
Forno a arco elétrico.	Calor gerado por arco elétrico.	Sucata de aço + gusa, minério de ferro, cal.	40 a 70 ton.	Temperaturas mais altas. Rigoroso controle da composição química. Bom aproveitamento térmico.	Pequena capacidade dos fornos. Custo operacional.
Forno de indução	Calor gerado por corrente induzida dentro da própria carga.	Sucata de aço.	Em torno de 8 ton.	Fusão rápida. Exclusão de gases. Alta eficiência.	Pequena capacidade dos fornos. Custo operacional.



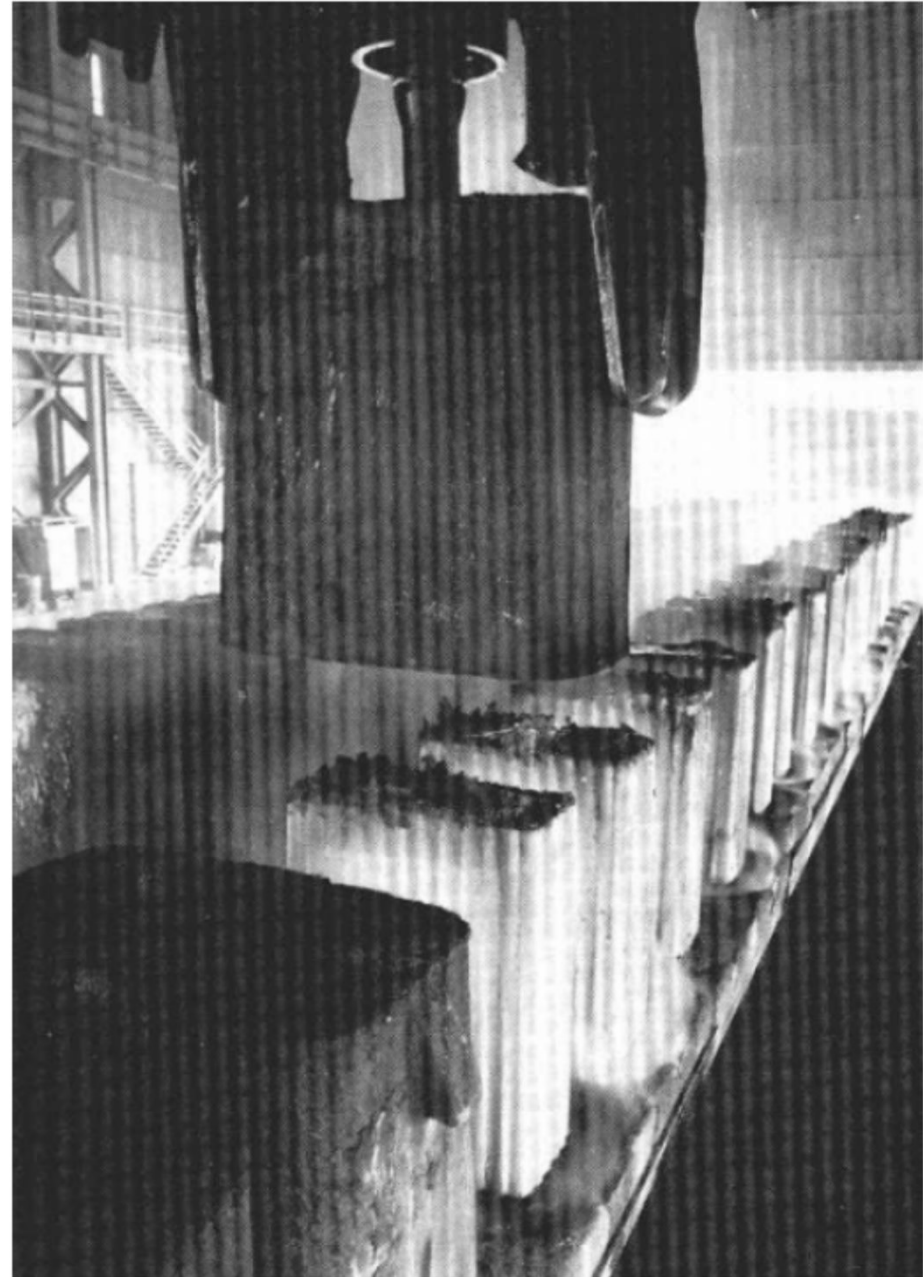
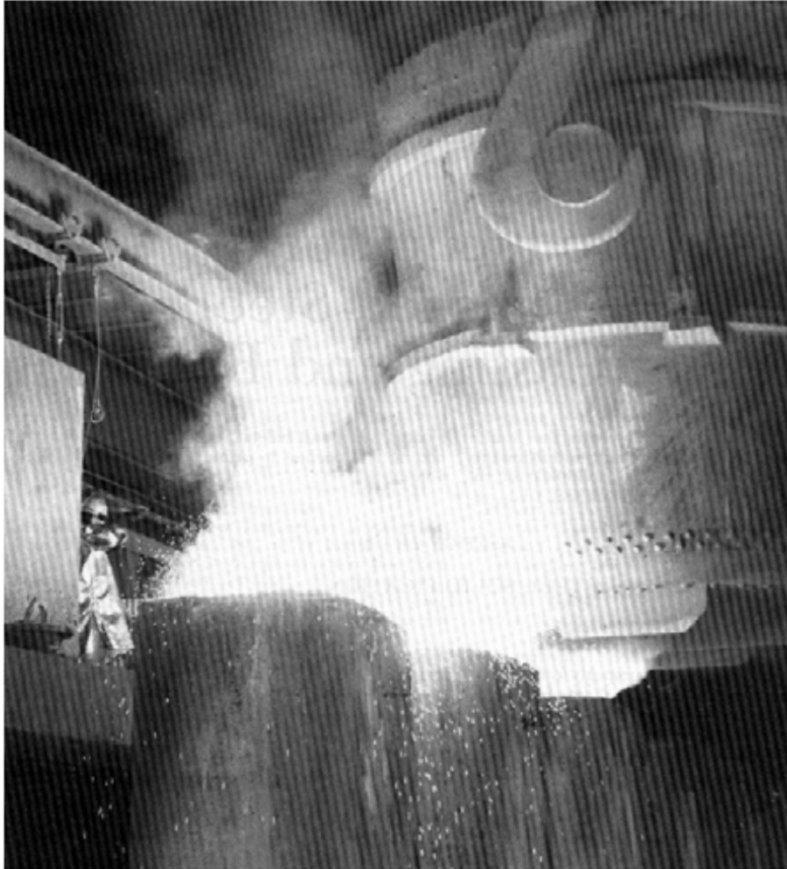
Escória de aciaria

Derivada do processo de refino do aço com geração aproximada de 100 a 150kg/t de aço líquido. A escória de aciaria esta sendo reaproveitada principalmente em capas asfálticas de pavimento rodoviário, nivelamento de terreno e contenção de encosta, corretivos e fertilizantes fosfatados para solos e produção de cimento e concreto.

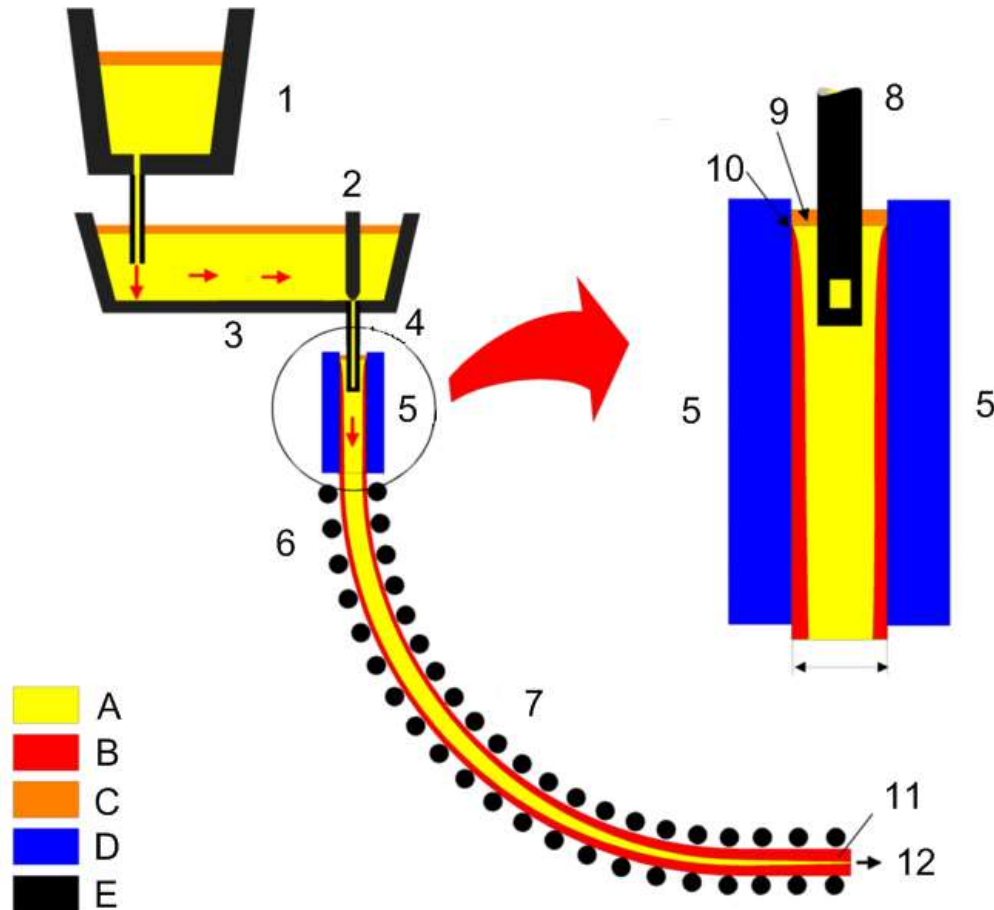
Processos – Lingotamento

- O lingotamento contínuo é um processo pelo qual o aço fundido é solidificado em um produto semi-acabado, tarugo, perfis ou placas para subsequente laminação.
- Antes da introdução do lingotamento contínuo, nos anos 50, o aço era vazado em moldes estacionário (lingoteiras).

Processos – Lingotamento Convencional



Processos – Lingotamento Contínuo



1. Panela
2. Tampão
3. Distribuidor
4. Válvula Submersa
5. Molde
6. Seguimento
7. Desempeno
8. Válvula Submersa
9. Nível do Molde
10. Menisco
11. Extração
12. Material Lingotado

- A. Aço Líquido
- B. Aço Solidificado
- C. Escória
- D. Água de refrigeração
- E. Material Refratário



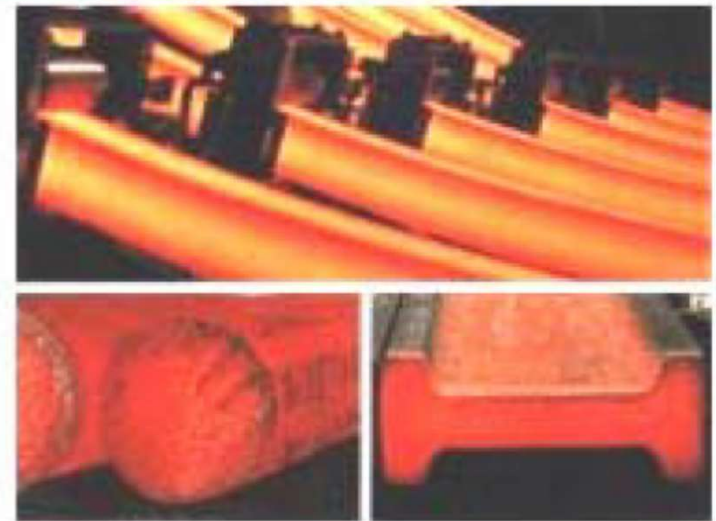
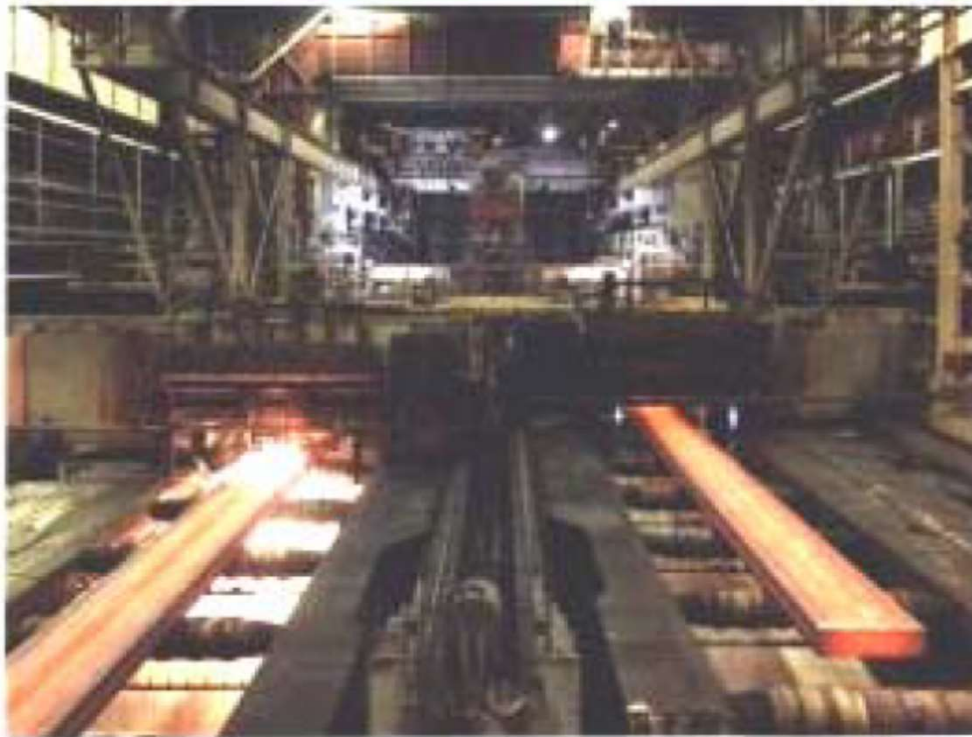
Patrocinado por



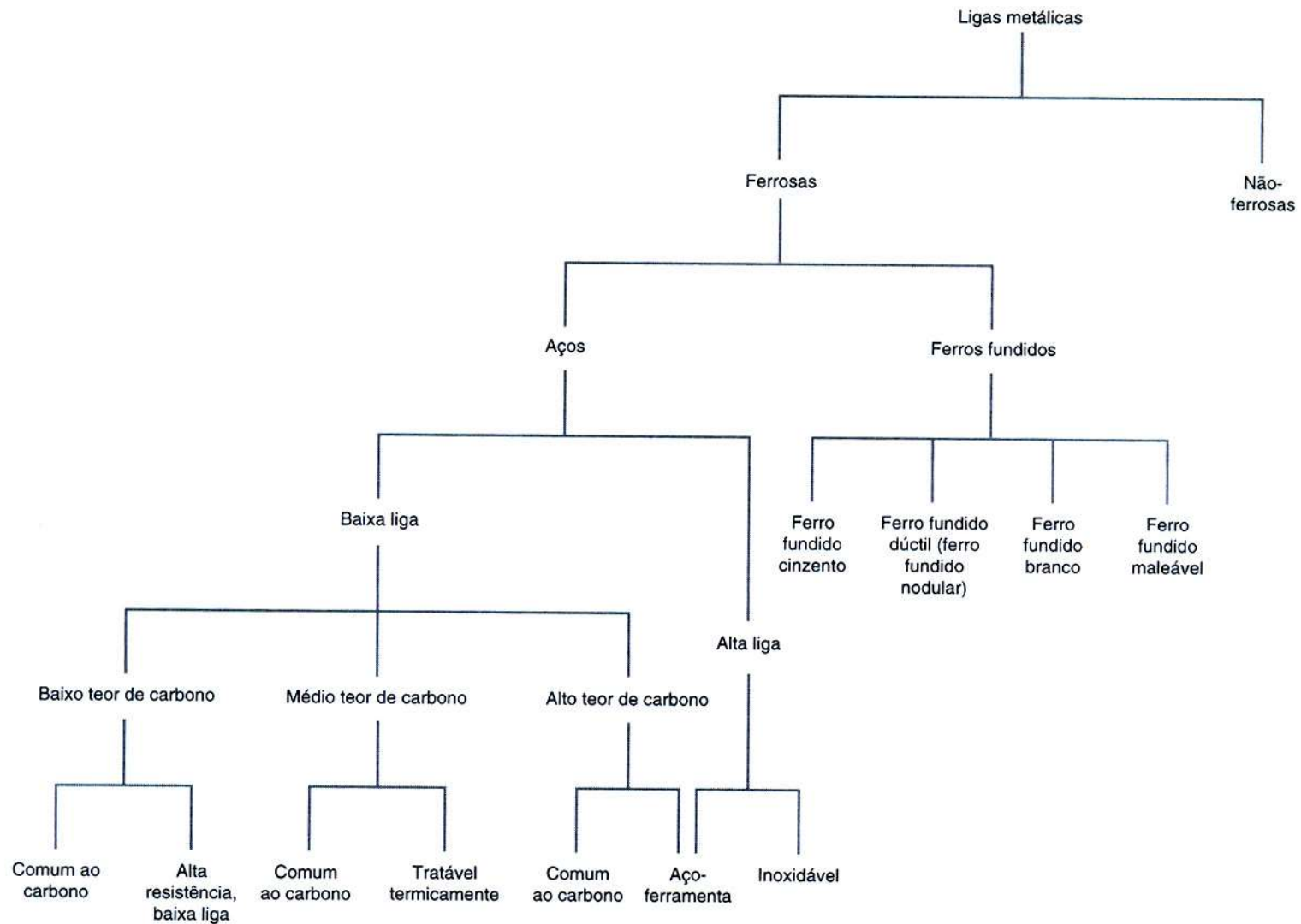
Projetado para uso não comercial

Para remover a marca do Freemake, utilize Mega Pack

Processos – Lingotamento Contínuo



Classificação de FoFo e Aços – visão geral



Esquema de classificação para as várias ligas ferrosas.