

ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE MINAS E DE PETRÓLEO

MATÉRIAS-PRIMAS MINERAIS

RECURSOS MINERAIS FERROSOS - FERRO



PROPRIEDADES DO FERRO (Fe)

- **Número atômico:** 26
- **Configuração eletrônica:** $1s^2, 2s^2, 2p^6, 3s^2, 3p^6, 4s^2, 3d^6$
(Metal de transição)
- **Massa atômica:** $55,85 \text{ g mol}^{-1}$
- É um metal maleável e tenaz (absorve muita energia antes de fraturar).
- Coloração branca prateada, quando quimicamente puro, porém apresenta uma coloração acinzentada, em virtude da presença de sulfeto de ferro (FeS_2) e siliceto de ferro (FeSi – terras raras), apresenta propriedades magnéticas acentuadas.

APLICAÇÕES E RELEVÂNCIA

- O ferro é o metal mais usado, com **95% em peso da produção mundial de metal**. É indispensável devido ao seu baixo preço e maleabilidade.
- Cerca de **99,0%** do minério de ferro produzido é utilizado na fabricação de **aço e ferro fundido**.
- Outras aplicações são as indústrias de ligas, cimento, automóveis, barcos e componentes estruturais de edifícios.
- **Magnetita**, é um mineral magnético formado pelos óxidos de ferro II e III ($\text{FeO} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$), cuja fórmula química é Fe_3O_4 . A magnetita é a pedra-ímã mais magnética de todos os minerais da Terra, e a existência desta propriedade foi utilizada para a fabricação de bússolas.

PRINCIPAIS MINERAIS DE FERRO

Hematita (Fe_2O_3 – 69,94% Fe)

Ocorrem em grandes quantidades em todo mundo

Coloração avermelhada



PRINCIPAIS MINERAIS DE FERRO

Magnetita (Fe_3O_4 – 72,36% Fe)

Mineral escuro e magnético

Há grandes depósitos de magnetita na Rússia, Suécia e Noruega



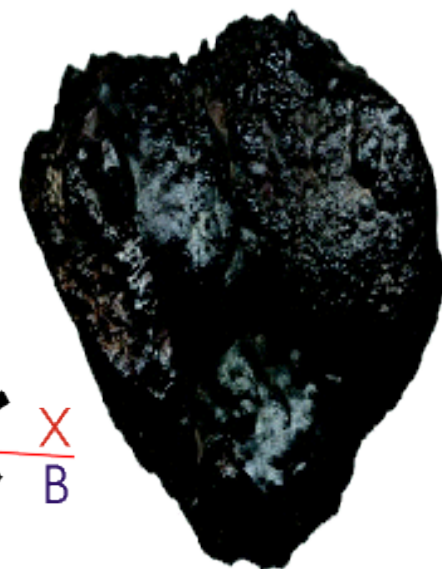
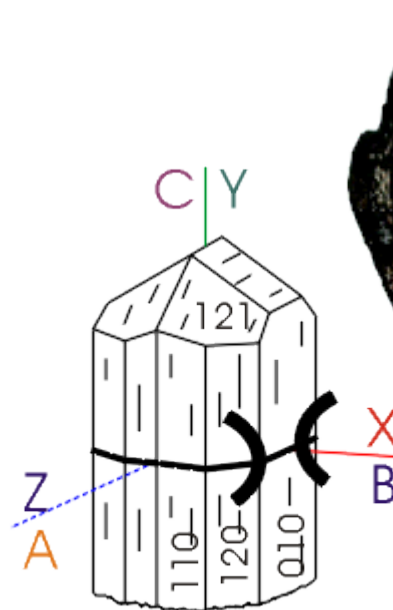
PRINCIPAIS MINERAIS DE FERRO

- **Goethita** (FeO/OH – 62,9% Fe)
- **Limonita** ($\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ - até 62% Fe)

óxidos de ferro hidratados, amorfos e de cor amarela ou acastanhada, formados a partir da oxidação de minerais que contêm ferro



Limonita



Goethita

Hábito - Prismático, fibroso, maciço, radial, estalactítico

PRINCIPAIS MINERAIS DE FERRO

- **Siderita** (FeCO_3 – 48,2% Fe) – mais raro
- **Pirita** (FeS_2 - 46,55% Fe): mineral sulfetado mais comum na crosta terrestre. Não tem uso comercial.



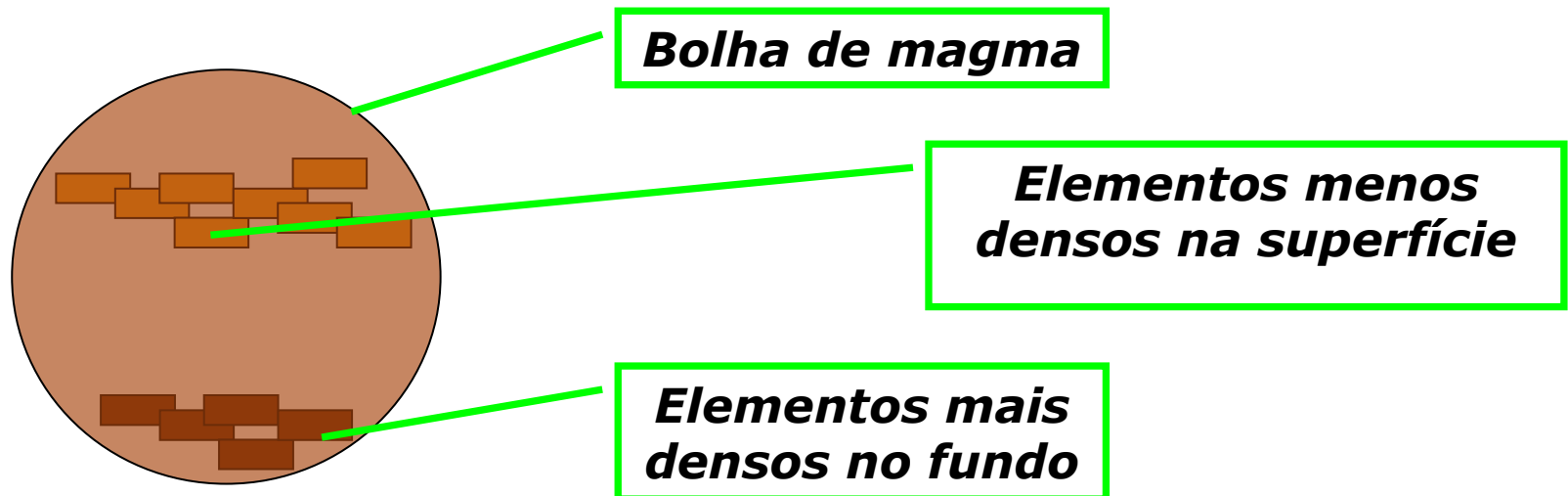
Siderita



Pirita

GÊNESE DO FERRO

- Em elevadas profundidades ocorre a separação de minerais contendo Fe e S (pirita) devido a diferença de densidade.
- Os minerais mais densos tendem a sedimentar no fundo da bolha.



Explicação sucinta: <https://www.youtube.com/watch?v=E8-4IZGgfvY>

Animação: <https://www.youtube.com/watch?v=9TSi0ixDKKA>

Aula longa: https://www.youtube.com/watch?v=b3_VRWnKQkQ

GÊNESE DO FERRO

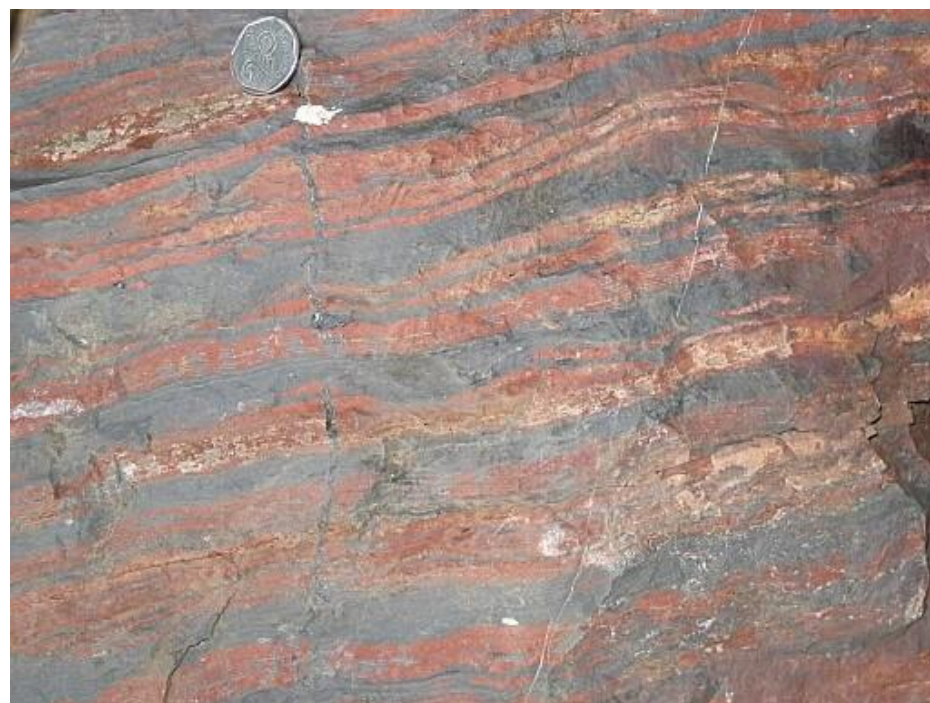
- Magma trazido à superfície através de vulcanismos pode sofrer oxidação e enriquecimento, formando os depósitos tipo BIF.
- 4 bilhões de anos atrás (antes do surgimento de vida no planeta).

BIF – *Banded Iron Formation*

Ocorre a deposição de camadas de Fe e sílica, de acordo com as estações seca e chuvosa (inverno e verão).

Itabiritos

rochas metamórficas – 50 a 55% Fe)
maiores depósitos de ferro



RESERVAS E PRODUÇÕES MUNDIAIS DE FERRO

As reservas mundiais de minério de ferro $\sim 170 \times 10^9$ toneladas

Discriminação	Reservas (10^6 t)	Produção(10^3 t)		
Países	2013	2012	2013	(%)
Austrália	35.000	521.000	530.000	18,0
Brasil	23.126	372.120	398.131	13.1
Rússia	25.000	105.000	102.000	3,5
China	23.000	1.310.000	1.320.000	44,7
Índia	8.100	144.000	150.000	5,1
Ucrânia	6.500	82.000	80.000	2,7
Outros países	49.274	367.373	381.730	12,9
TOTAL	170.000	2.930.000	2.950.000	100

A produção mundial de minério de ferro 2011: $2,95 \times 10^9$ ton (+6,8% do que 2010).

A produção brasileira representou **13,1%** da produção mundial

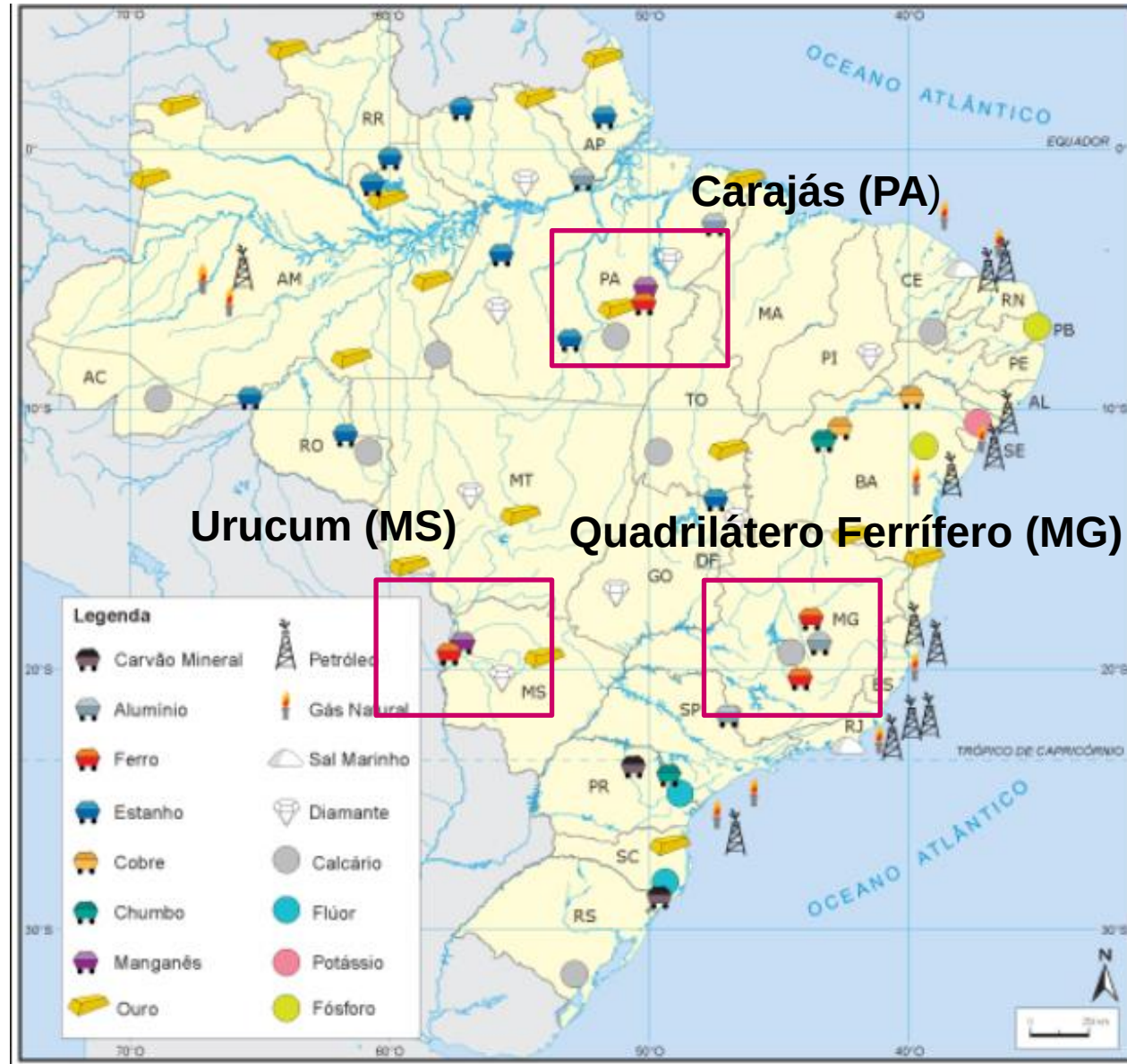
PRODUÇÃO DE FERRO NO BRASIL

- A produção de minério de ferro no Brasil → lavra a céu aberto
- Lavra em bancadas com desmonte por explosivos, escavadeiras, carregamento em pás carregadeiras, shovels e transporte em caminhões fora de estrada.
- Beneficiamento → britagem, peneiramento, classificação, concentração..... pelletização.



Exploração de minério de ferro, na serra dos Carajás, no Pará

MINAS E RESERVAS NO BRASIL



RESERVAS NO BRASIL

As reservas de minérios chegam a **23 bilhões de ton**:

- Quadrilátero Ferrífero (MG) - 72,5% - Teor médio de 46,3% de Fe
- Carajás - Serra dos Carajás (PA) - 10,7% - Teor médio de 64,8% de Fe
- Urucum (Mato Grosso do Sul) – 13,1% - Teor médio de 55,3% de Fe

Teor de ferro:

- ✓ Hematita: teor médio bruto de 60% Fe
- ✓ Itabirito: teor médio bruto de 50% Fe

PRINCIPAIS MINAS DE FERRO DO BRASIL

Quadrilátero Ferrífero (MG)

- importantes depósitos de minério de ferro itabirítico e hematítico de alto teor ($\text{Fe} > 60\%$)
- em geral, o teor de Fe encontrado é de 47%

Maciço de Urucum (MS)

- rico em minério de ferro de alto teor ($> 62\%$).
- reserva estimada em 1×10^9 ton de minério de ferro
- produção atual de 1×10^6 ton por ano.

Serra do Carajás (PA)

- reservas estimadas em 18×10^9 ton.
- em expansão dado potencial das reservas e minério com teor de ferro $> 66\%$

PRODUÇÃO DE FERRO NO BRASIL

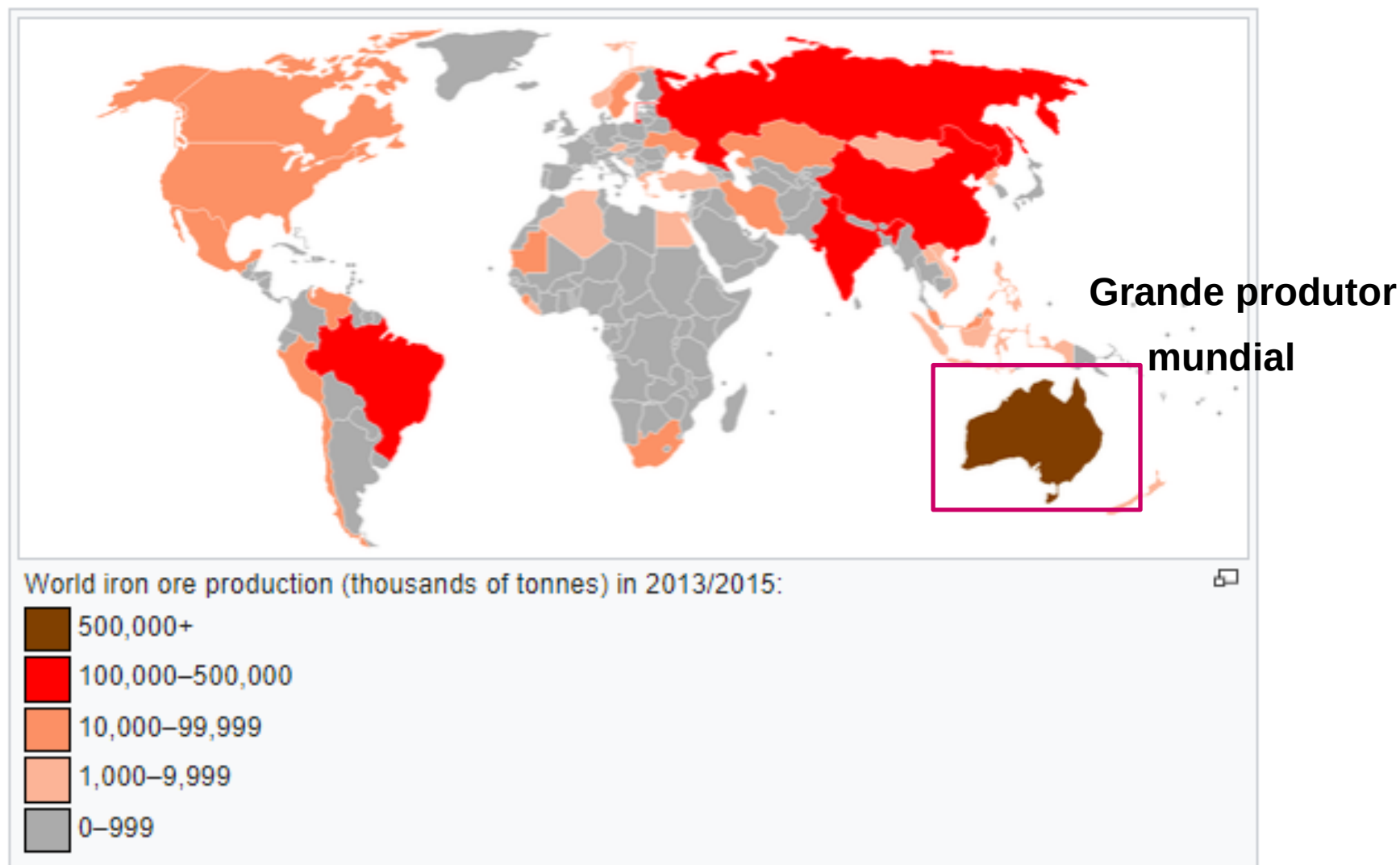
- As principais empresas produtoras de minério de ferro no Brasil são:
 - **VALE**
 - Samarco Mineração S/A (participação Vale)
 - Companhia Siderúrgica Nacional-CSN.
 - Usiminas
 - Anglo American

PRODUÇÃO DE FERRO NO BRASIL

VALE

- Incorporação
 - S/A Mineração da Trindade-SAMITRI
 - Ferteco Mineração S/A
 - Mineração Socoimex Ltda.
 - Participação acionária na Samarco Mineração S/A (50,0%) e na Minerações Brasileiras Reunidas S/A (100,0% do Grupo CAEMI)
- **VALE é a segunda maior produtora de minério de ferro em nível mundial, atrás somente da Austrália.**

PRODUÇÃO DE FERRO NO MUNDO



PRODUÇÃO DE FERRO NO BRASIL - VALE



Vale Brasil é um navio graneleiro brasileiro, utilizado para o transporte de minério de ferro, sendo o maior deste tipo no mundo (362 m)

PRODUÇÃO DE FERRO NO BRASIL - VALE



Navios **reduziram o custo do frete** e aumentaram o preço do minério. O resultado indireto foi um **aumento de US\$ 4 bilhões** na exportação brasileira (2011)

PRODUÇÃO DE FERRO NO BRASIL - VALE



PRODUÇÃO DE FERRO NO BRASIL

- Produção brasileira de minério de ferro 2016: 391 Mt (+1,5% em relação a 2015)
- Teor médio de 64,69% de ferro ➔ R\$ 64,7 bilhões
- A VALE S/A foi responsável por **79,9% da produção**
- O restante está distribuído entre **34 empresas**, com destaque para Companhia Siderúrgica Nacional (**CSN**), **USIMINAS**, Nacional de Minérios S/A-NAMISA e Companhia de Mineração Serra da Farofa no estado de Minas Gerais e **Anglo Ferrous** Amapá Mineração no estado do Amapá.

PRINCIPAIS PRODUTOS

Produtos:

- Lump/granulados ($>6\text{mm}$) $\rightarrow$ 12%
- Sinter feed ($0.1\text{-}6\text{ mm}$) $\rightarrow$ 61,4%
- Pellet feed ($<0,1\text{ mm}$) $\rightarrow$ 26,6% (63,5% para produção de pelotas)

Sinter feed é um produto constituído de partículas com granulometria entre 0,1mm e 6mm. É utilizado nas plantas de sinterização para produção de sinter, material esse aglomerado à quente na presença de combustível sólido (coque ou carvão) e ligantes (calcário e cal). O sinter, de tamanho aproximado entre 10 e 50mm, é utilizado para compor a carga metálica dos altos fornos para produção de gusa.

Pellet feed é uma fração do minério, depois de filtrado, que atinge uma umidade de aproximadamente 10% e pode também ser comercializado para uso em pelotização ou em sinterização - processo em que duas ou mais partículas sólidas se aglutinam pelo efeito do aquecimento a uma temperatura inferior à de fusão.

PELOTIZAÇÃO



PELOTIZAÇÃO

Pelota
(95% entre 18 e 8 mm)



PRODUÇÃO DE FERRO NO BRASIL

PRODUÇÃO MINERAL BRASILEIRA (2009)

Classe/substância	Bruta (R\$)	Beneficiada (R\$)	Total (R\$)	% total
Metálicos	222,7 Mi	35,2 Bi	35,4 Bi	67%
Alumínio	22,3 Mi	1,6 Bi	1,62 Bi	21%
Cobre	-	2,3 Bi	2,3 Bi	30%
Chumbo	-	16,1 Mi	16,1 Mi	0,2%
Zinco	-	377,3 Mi	377,3 Mi	4,9%
Níquel	-	565,6 Mi	565,6 Mi	7,3%
Estanho	1,77 Mi	277,0 Mi	278,8 Mi	3,6%
Ferro	173,0 Mi	25,4 Bi	25,6 Bi	49%
Ouro	1,7 Mi	3,6 Bi	3,6 Bi	6,9%
Mn+Nb+Cr	-	-	1,0 Bi	1,9%

R\$



PRODUÇÃO DE FERRO NO BRASIL

Investimentos no Setor Mineral 2010 a 2014

■ Novos investimentos no Setor Mineral 2010 a 2014: US\$ 62 bilhões
■ Investimentos no Setor Mineral 2009 a 2013: US\$ 47 bilhões



PRODUÇÃO DE FERRO NO BRASIL

INVESTIMENTOS NO SETOR

- **Brasil dobrará produção de ferro até 2015 (panorama 2012)**
- A produção saltará dos atuais **370 milhões** de toneladas para **787 milhões**.
- Investimentos anunciados, até o momento, para o período entre 2012 e 2016, que somam **US\$ 44,97 bilhões**
- Os recursos destinados à cadeia do minério de ferro representam **63% do montante previsto para todo o setor mineral**: US\$ 68,5 bilhões (R\$ 109,3 bilhões).

BALANÇA COMERCIAL DO FERRO

IMPORTAÇÃO

- Não foram registradas importações de minério de ferro em 2011.

EXPORTAÇÃO

- As exportações brasileiras de minério de ferro e pelotas em 2013 totalizaram **329,6Mt**, com um valor de **US\$-FOB 32,5 bilhões**, mostrando, em relação a 2012, um aumento de 1,0% na quantidade e 3,9% no valor.
- Foram exportadas **282,8Mt de minério** (+2,5%) com um valor de US\$-FOB 26 bilhões (+9,2%). As exportações de pelotas atingiram 47,5Mt (-7,1%) com um valor de US\$-FOB 6,5 bilhões (-9,5%).

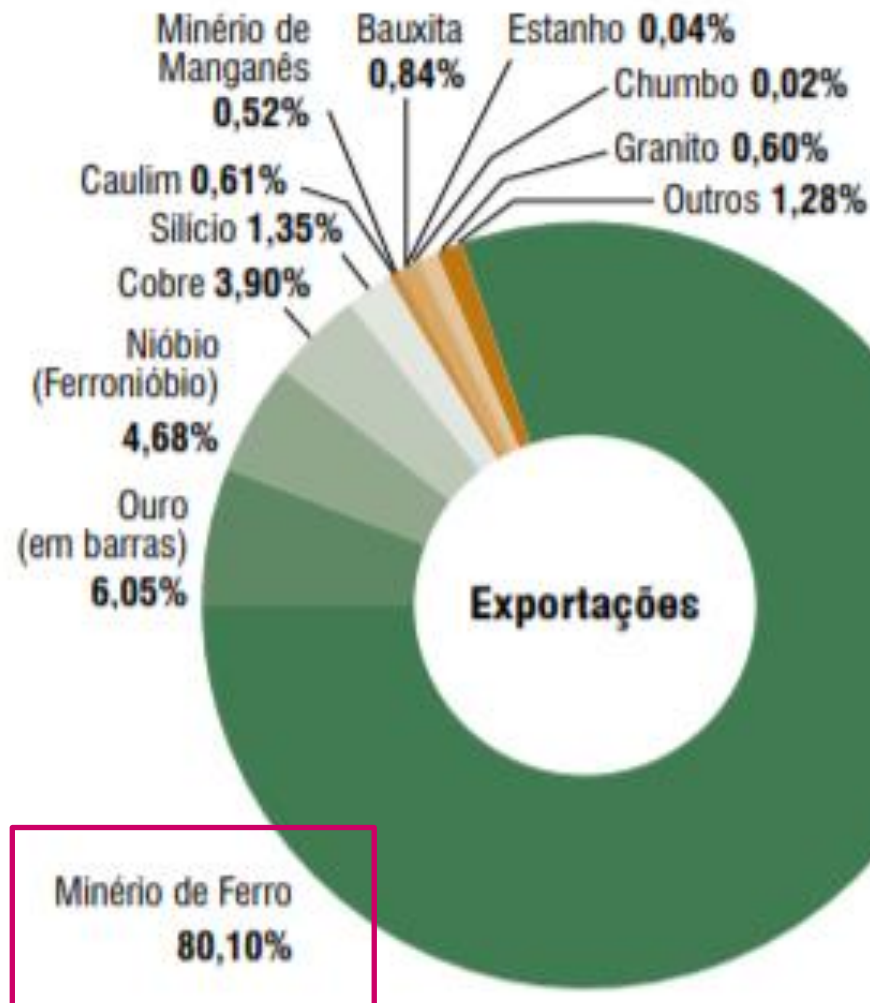
<http://www.dnpm.gov.br/dnpm/sumarios/ferro-sumario-mineral-2014>

Obs: Anotações no Power Point.

BALANÇA COMERCIAL DO FERRO

- Os principais países de destino foram: **China (51,0%)**, **Japão (10,0%)**, Coréia do Sul (5,0%), Países Baixos (5,0%) e Alemanha (3,0%).
- Os preços médios de exportação de minério (92,14US\$-FOB/t) e pelotas (136,78US\$-FOB/t) aumentaram 6,6% e -2,6%, respectivamente, em comparação a 2012.
- Apesar da desaceleração da economia chinesa as previsões são de que a demanda por minério de ferro no país continue aquecida nos próximos anos, principalmente pelo aumento da taxa de urbanização e investimentos em infraestrutura.

BALANÇA COMERCIAL DO FERRO



PRINCIPAIS PRODUTOS

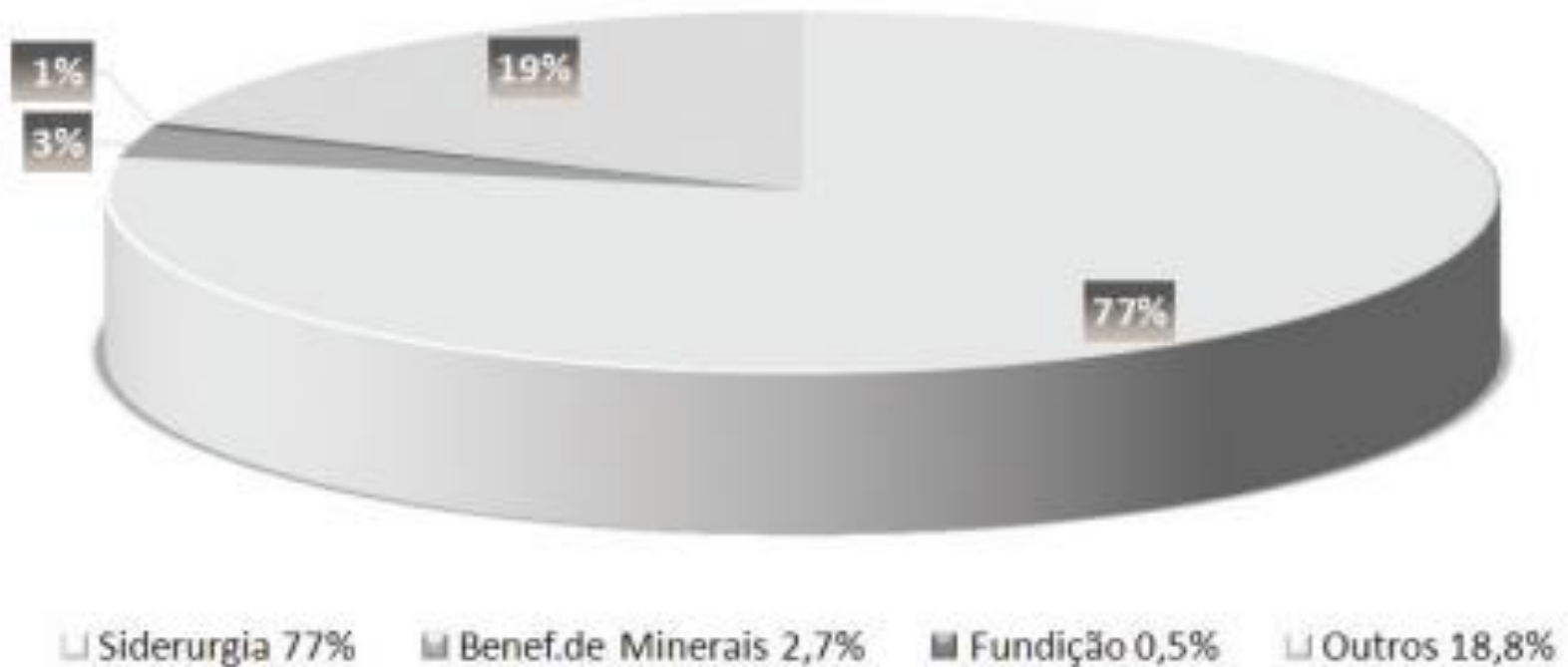
- É a matéria-prima do aço, usado na produção de:
 - Ferramentas.
 - Máquinas.
 - Veículos.
 - Linhas de transmissão de energia elétrica
 - Como elemento estrutural para a construção de edifícios e casas.

- Destinado a produção de ligas metálicas.

PRINCIPAIS PRODUTOS

CONSUMO

O mercado consumidor de Minério de Ferro é formado, principalmente, pelas indústrias siderúrgicas.



FABRICAÇÃO DE AÇO



Fabricação do Aço

**Alto
Forno**





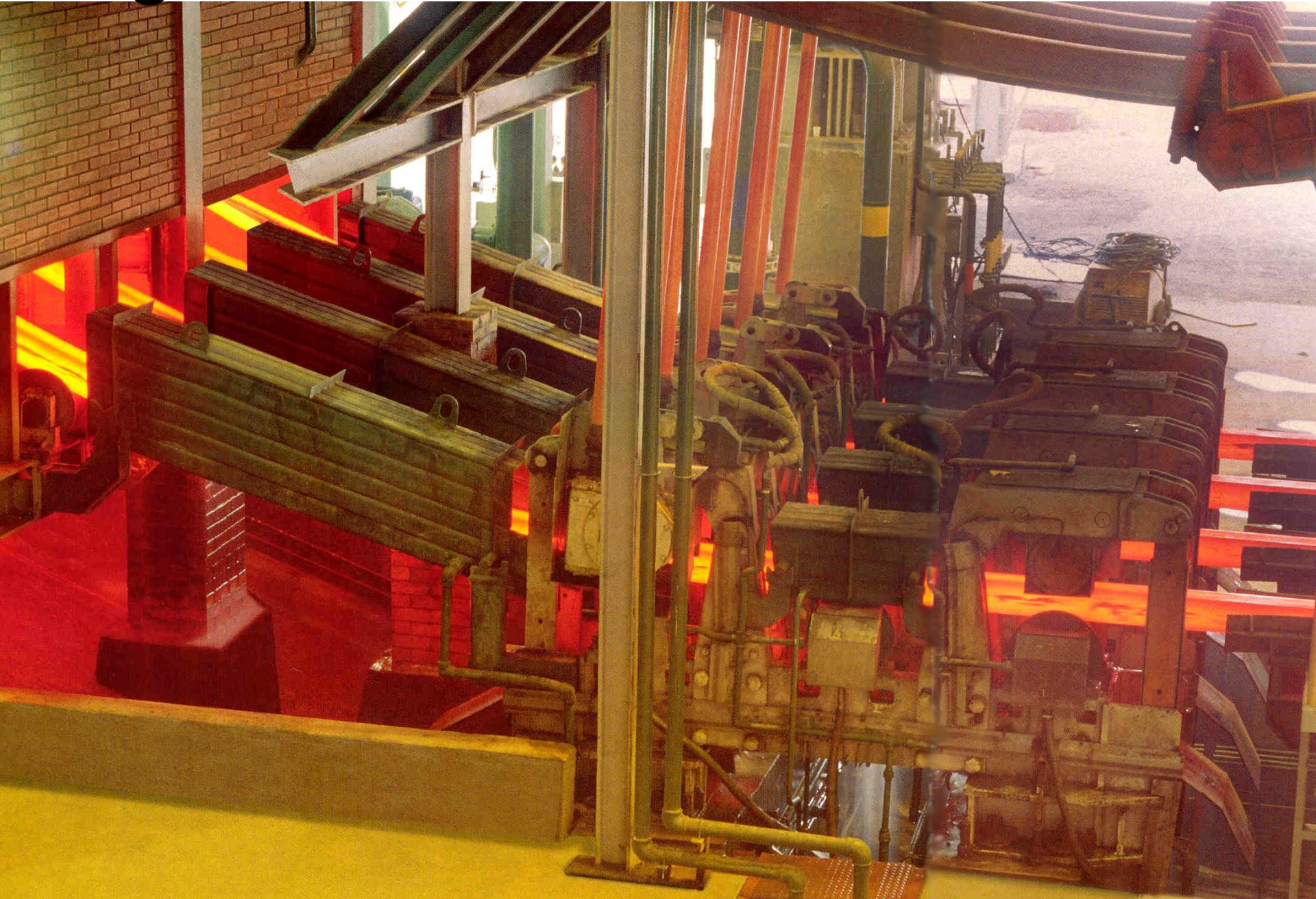




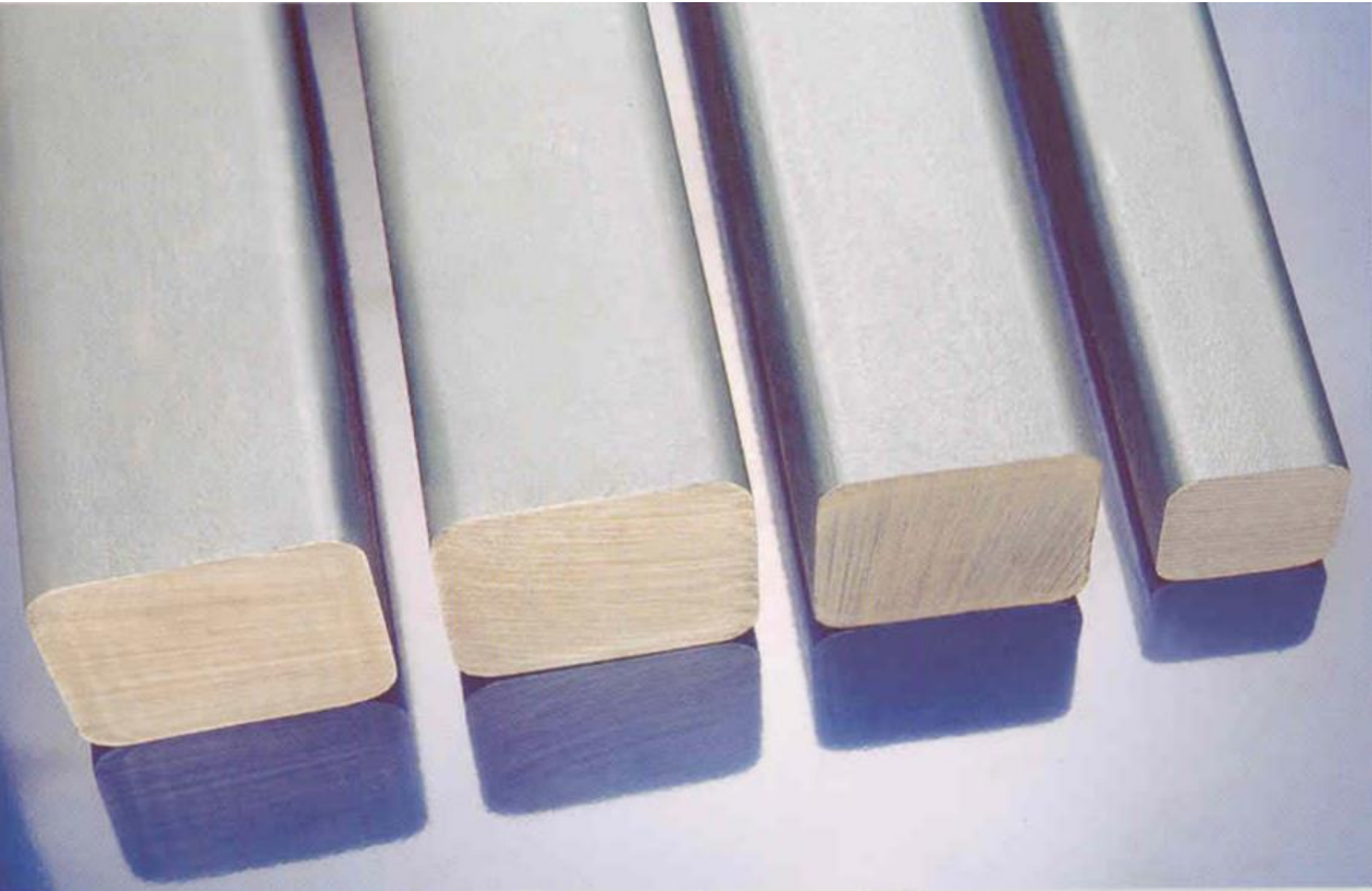




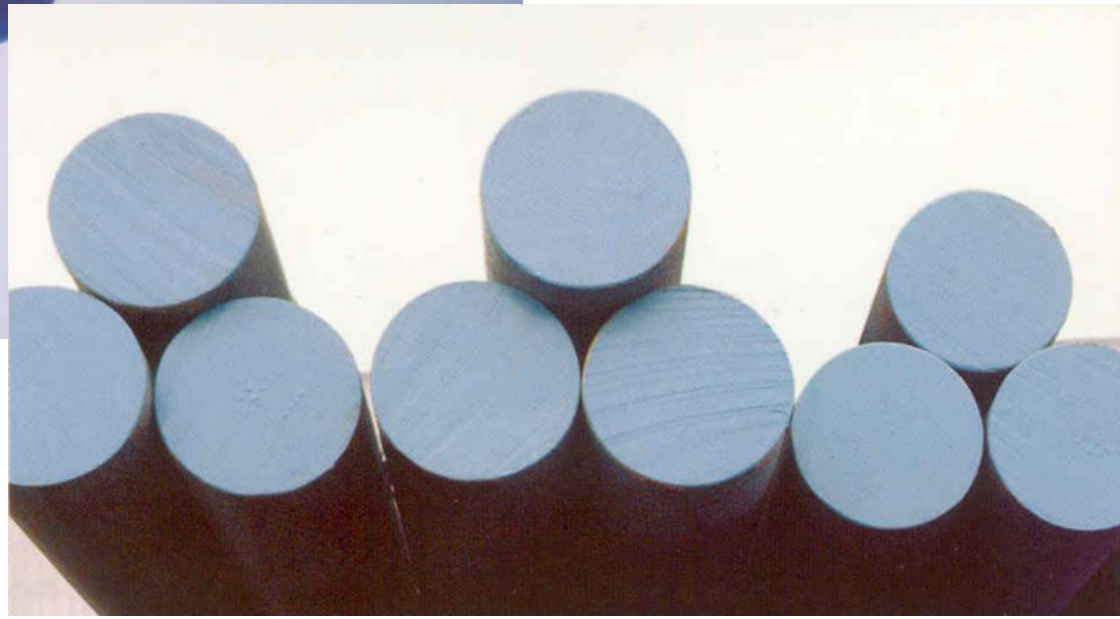
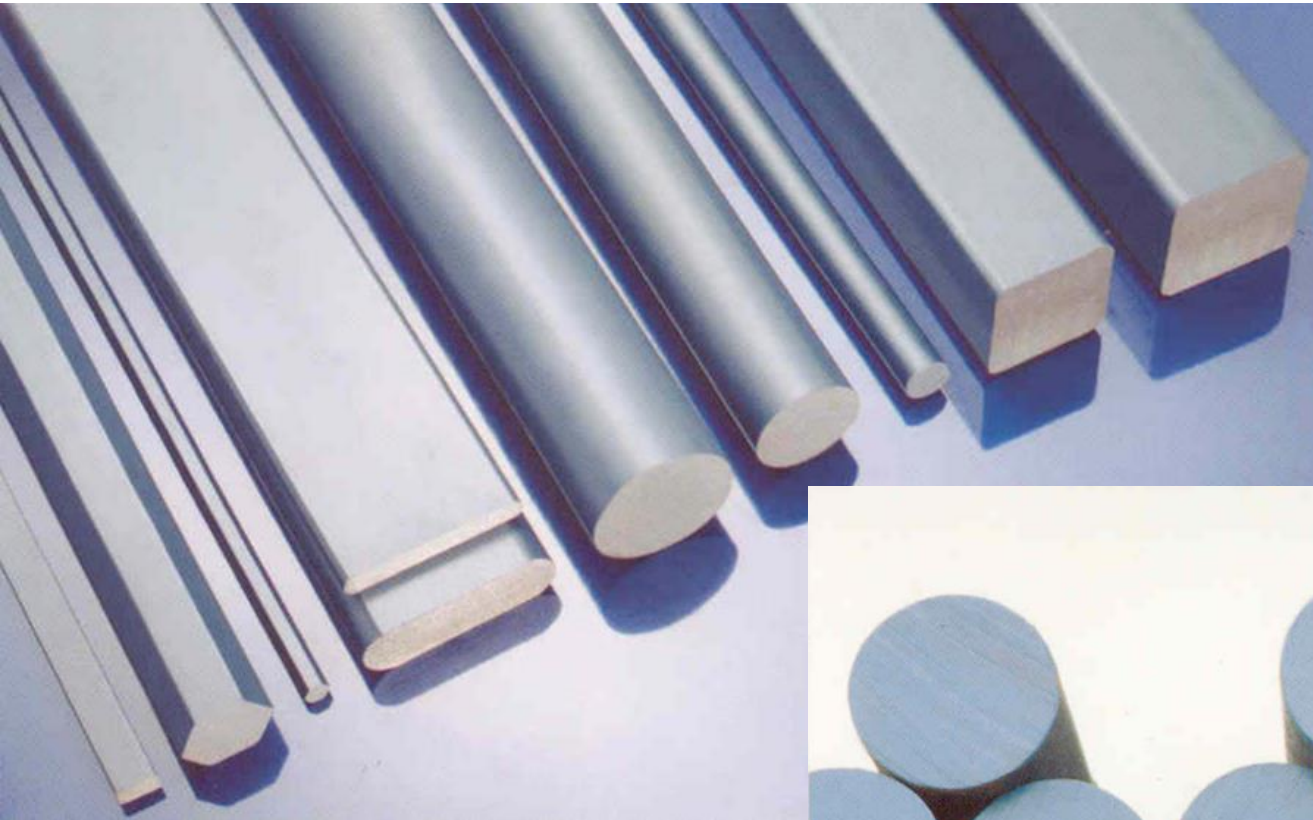
Lingotamento Contínuo



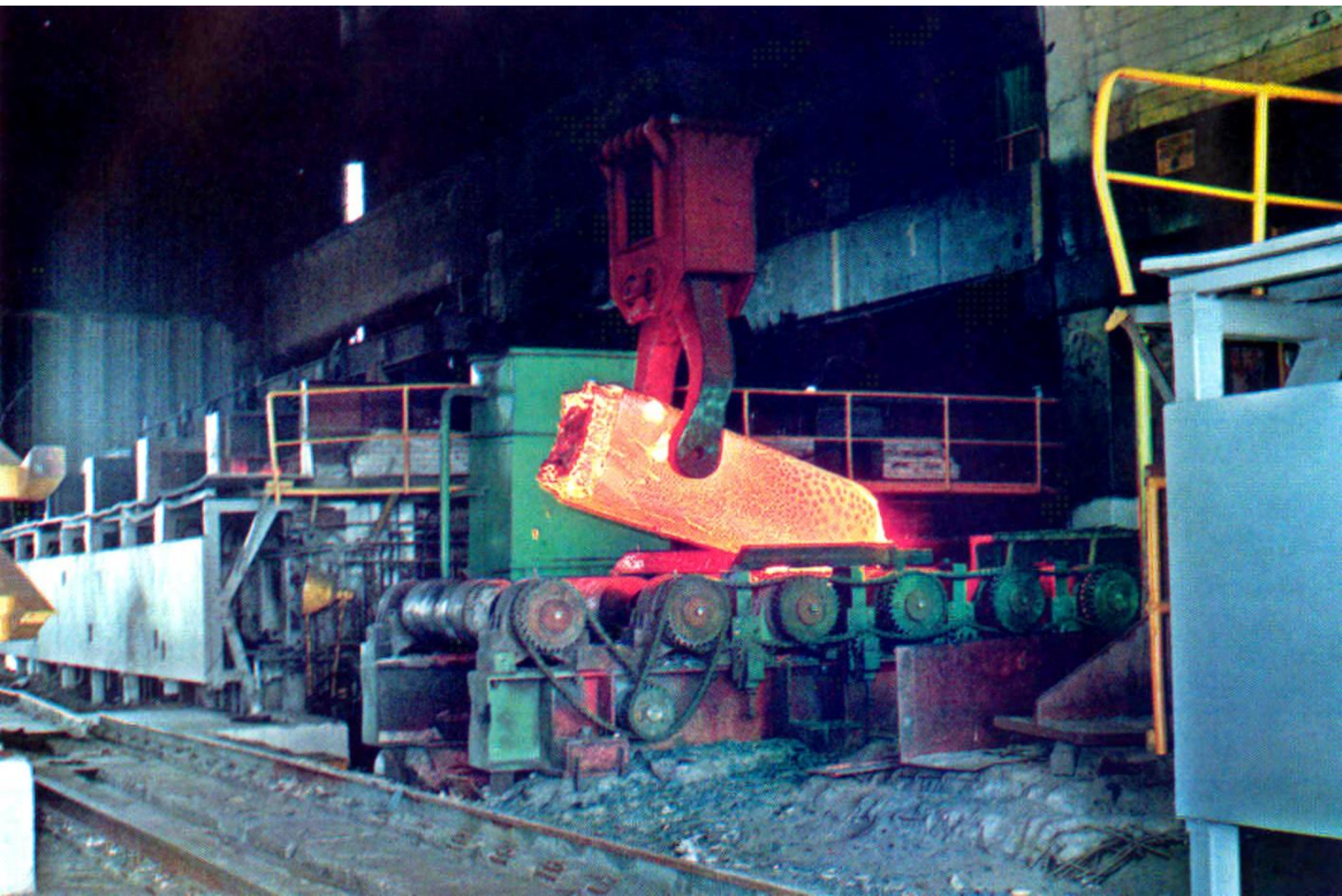
Lingotes



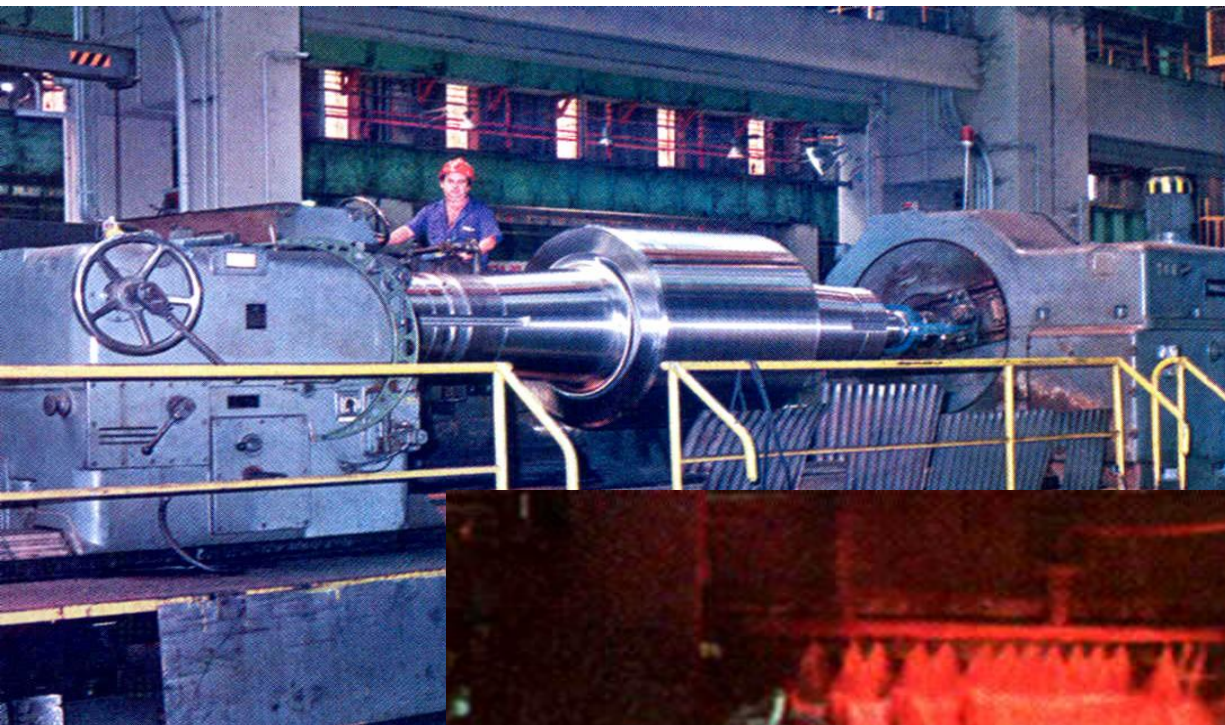
Diferentes perfis de lingotes



Laminação



Laminação



PRINCIPAIS PRODUTOS: ligas

- O ferro puro é fraco. Com pequenas quantidades de outros elementos se torna forte, tenaz e elástico.



PRINCIPAIS PRODUTOS: ligas

O aço.



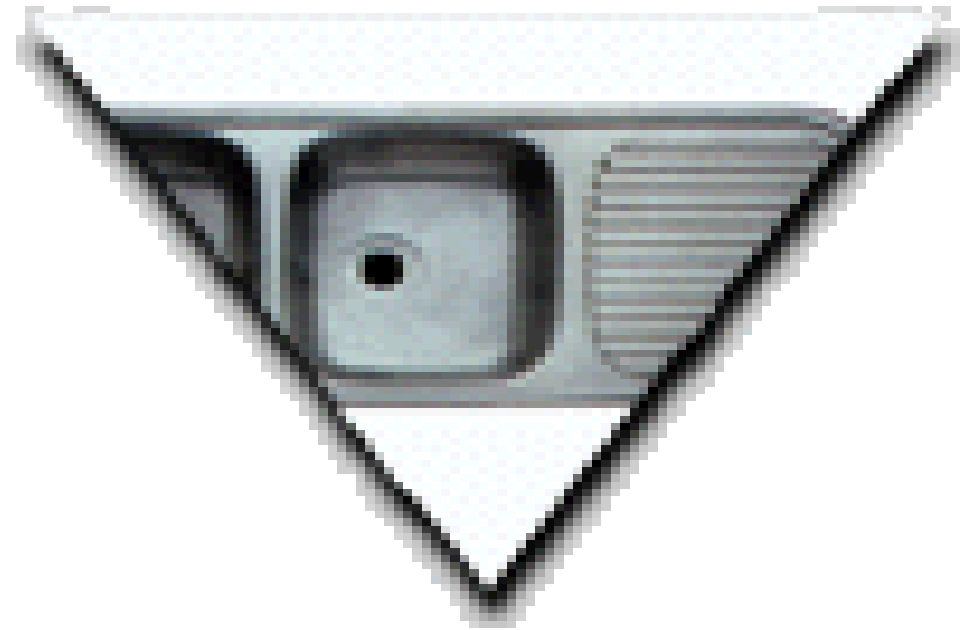
Fe e +/- 1% C
(enrijecedor).

Cerca de 98%
do ferro é
para o aço.



PRINCIPAIS PRODUTOS: ligas

- Aço inoxidável contém cromo como principal elemento de liga. É usado em motores ou equipamentos cirúrgicos, por exemplo.



PRINCIPAIS PRODUTOS: ligas

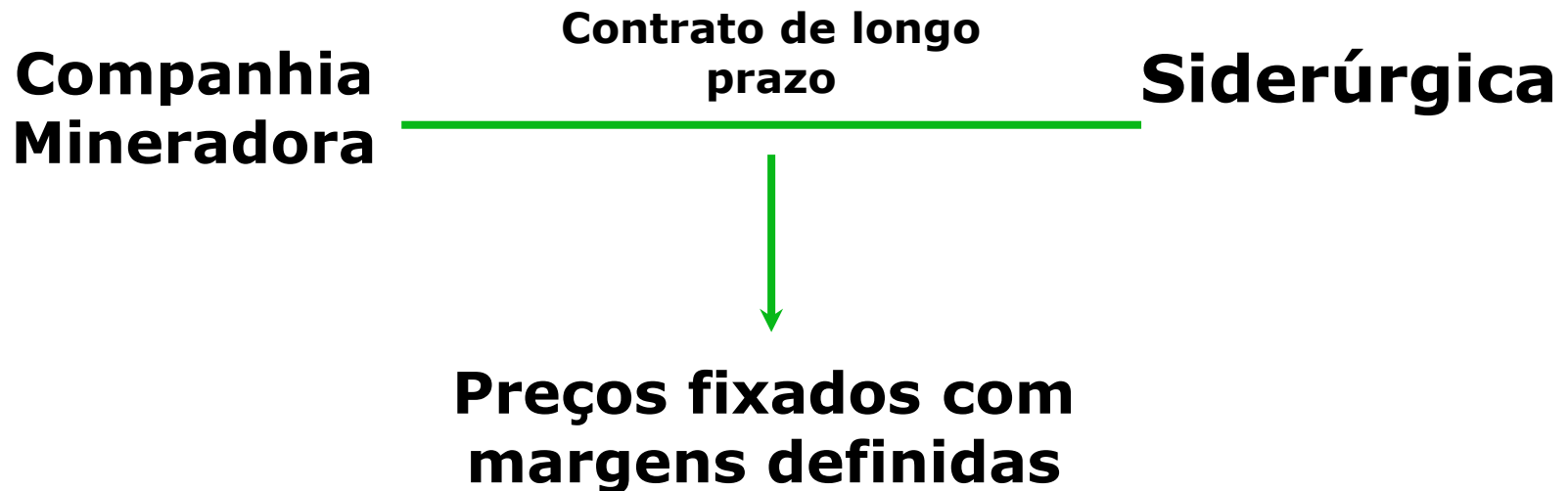
- Aço temperado é um aço extremamente rígido usado em ferramentas e utensílios de metal.



MECANISMOS DE FORMAÇÃO DOS PREÇOS

Preço: US\$/t

Preço: US\$/t x %Fe contido



Não há mercado spot

MECANISMOS DE FORMAÇÃO DOS PREÇOS

Concentrados de minério

- Os preços geralmente são estabelecidos através de contratos de longo prazo entre os produtores e as siderúrgicas

Minério

- Preços em USD/t para mercado interno como global
- Geralmente, estabelecidos em bases anuais, negociados entre compradores e fornecedores.