



## Resíduos Sólidos e Efluentes na Metalurgia



# Divisões da Metalurgia

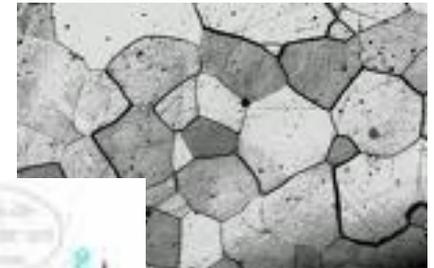
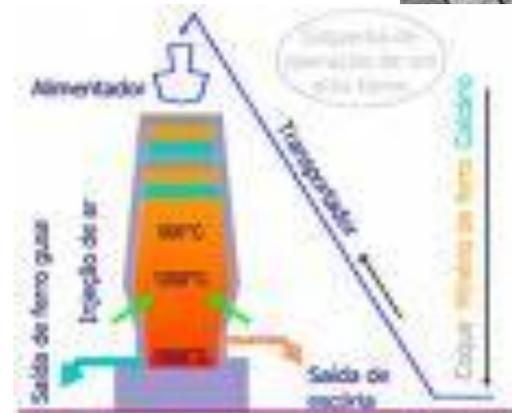
A metalurgia pode ser dividida nas seguintes áreas:

Eng. Metalúrgica

Metalurgia física (propriedades)

Metalurgia mecânica (conformação)

**Metalurgia extrativa (produção do metal)**



# Concentração

Nas operações de metalurgia extrativa o minério é recebido da mesma forma que ele é encontrado mina e, por isso, normalmente, esse deve ser submetido a alguma operação que permita separar os minerais de valor da ganga.

- redução de tamanho.
- flotação.



# Metalurgia Extrativa

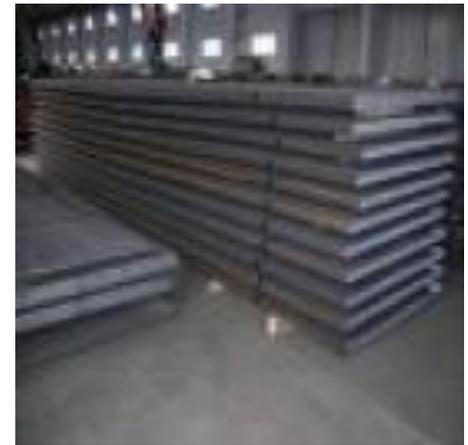
- Ustulação
- Calcinação
- Redução
- Lixiviação
- Eletrorefino
- Precipitação
- Fusão
- Refino ao fogo
- Eletroobtenção
- Extração por solvente



# Metalurgia Extrativa

Metalurgia extrativa é a ciência de extração de metais de seu minérios, concentrados ou rejeitos por métodos químicos. Ela é dividida em três ramos:

- *Hidrometalurgia*: Tecnologia de extração de metais por métodos aquosos. (baixas temperaturas)
- *Pirometalurgia*: Tecnologia de extração de metais por métodos térmicos a seco. (altas temperaturas)
- *Eletrometalurgia*: Tecnologia de extração de metais por métodos envolvendo eletricidade.



**Metalurgia extrativa**

ferrosos

pirometalurgia

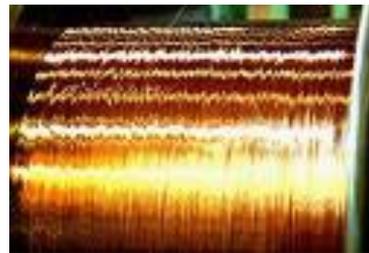
não ferrosos

pirometalurgia  
hidrometalurgia

Níquel



Latão

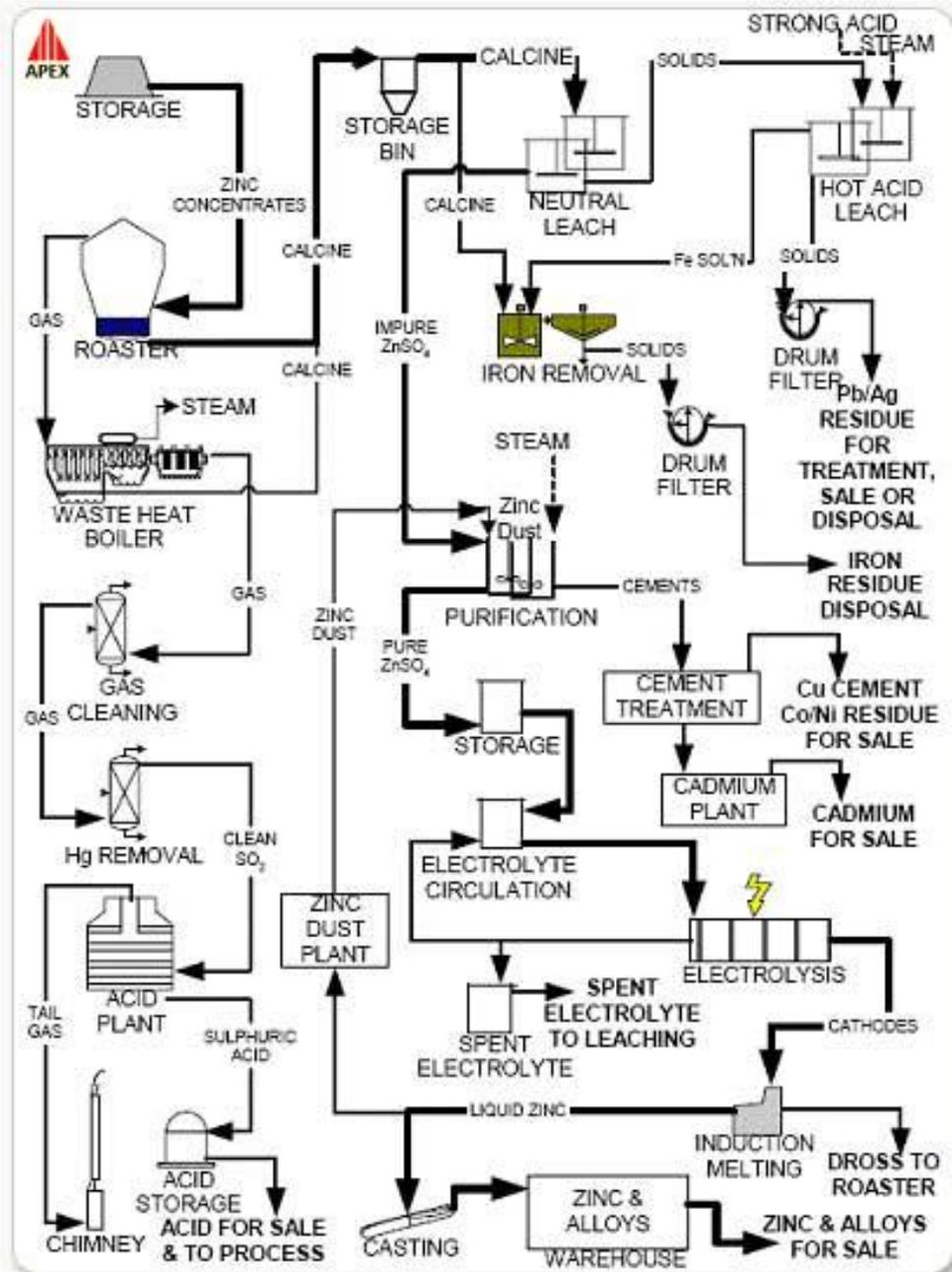


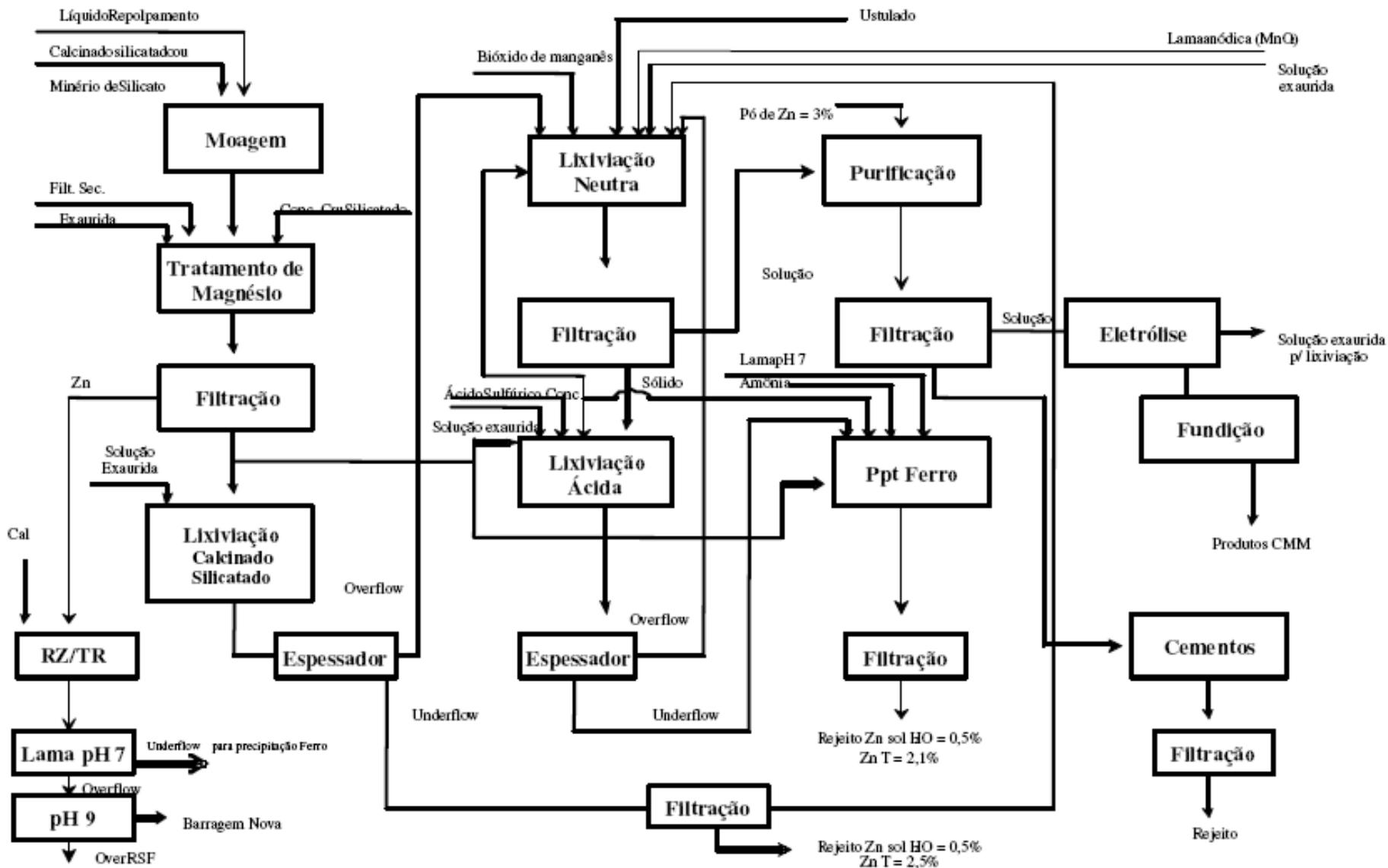
# Fluxogramas

Os processos ou combinações de processos que são utilizados em uma dada planta industrial são ilustrados, convenientemente, através de um fluxograma.

Para a produção de um mesmo metal um fluxograma pode variar devido à:

- minérios com diferentes composições.
- diferentes fornecimentos de energia.
- diferentes demandas para o produto final.
- plantas de diferentes tamanhos.





# Os principais tipos minérios são:



Franklinite  $(\text{Fe,Mn,Zn})(\text{Fe,Mn})_2\text{O}_4$

- óxidos

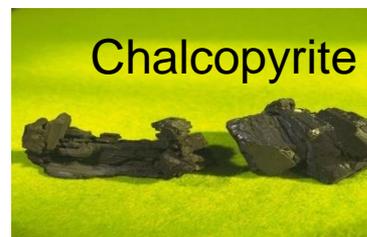
(hematita -  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ )

- sulfetos

(calcocita -  $\text{Cu}_2\text{S}$ )

- silicatos

(Willemite -  $\text{Zn}_2\text{SiO}_4$ )



- O tratamento proposto para um minério é feito de acordo com a natureza química da matéria prima.
- As tendências da metalurgia extrativa é sempre processar minérios que se tornam cada vez mais pobres e produzir metais com pureza elevada. (O que não era minério ontem pode ser hoje!!!)
- Para que a extração de um determinado metal seja feita, torna-se necessário conhecer a natureza do minério, isto é, se ele é óxido, sulfeto, fosfato, silicato, etc.
- A pureza exigida para o produto final é de extrema importância.

# Hidrometalurgia & Pirometalurgia



## Hidrometalurgia & Pirometalurgia

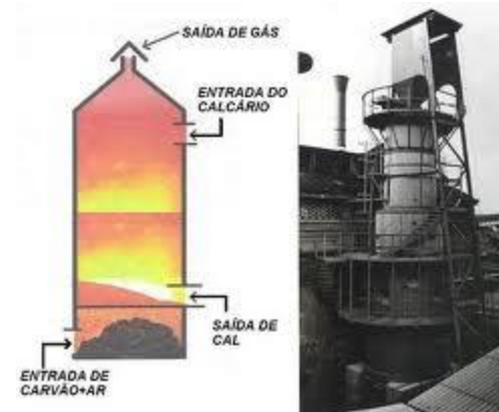
Processos pirometalúrgicos são mais viáveis quando trabalhamos com minérios com alto teor e baixo nível de impureza (As, Pb, Hg, F<sup>-</sup>). Devido ao iminente esgotamento das reservas tradicionais de alto teor, a atenção dos metalurgistas se voltou para o tratamento de minérios com baixo teor. Problemas gerados pela extensiva moagem e flotação, fontes complexas entre outros acabam por inviabilizar a pirometalurgia para o tratamento desses minérios.

# *Vantagens e desvantagens dos processos hidrometalúrgicos e pirometalúrgicos*

- Tratamento de minérios de baixo teor
- Tratamento de minérios complexos
- Disposição dos resíduos
- Disposição de efluentes
- Geração de SO<sub>2</sub>
- Custo operacional
- Plantas processuais
- Cinética



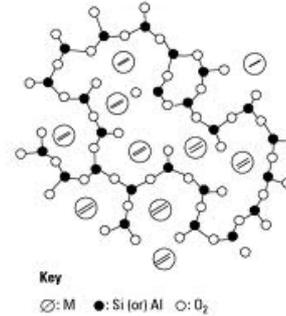
# Processos Pirometalúrgicos



Pode-se estudar os processos pirometalúrgicos sobre dois pontos de vista:

## 1- Aspectos Químicos

## 2- Aspectos de Engenharia



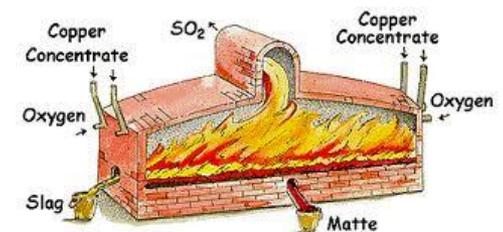
Antes de discutir esses aspectos, vamos primeiro discutir a importância da formação de fases imiscíveis nos processos pirometalúrgicos.

## Formação de fases imiscíveis

Durante a fusão de um determinado minério, os silicatos, os sulfetos, os arsenatos e os metais formam, cada um, uma fase fundida individual.

**Table 1-1.** Immiscible molten layers formed during the production of lead

Phase	Specific gravity	Common name	Metal present	
			major	minor
Silicate	3.6	Slag	Ca, Si, Al, Mg, Zn, Fe	Mn, Sn
Sulfide	5.2	Matte	Cu	Fe
Arsenide	6.0	Speiss	As, Sb	Co, Ni
Metal	10.0	Bullion	Pb	Au, Ag



Todas essas fases estão presentes quando se funde o óxido de chumbo (obtido pela oxidação do sulfeto de chumbo) na presença de carbono. Nem sempre todas as fases estão presentes no processo, os sistemas mais comuns são metal/escória e mate/escória.

## Fusão da carga

Para facilitar o processo de fusão, um “flux” é normalmente adicionado visando à combinação desse com os componentes com alto ponto de fusão e, dessa forma, dar origem a uma escória com baixo ponto de fusão.

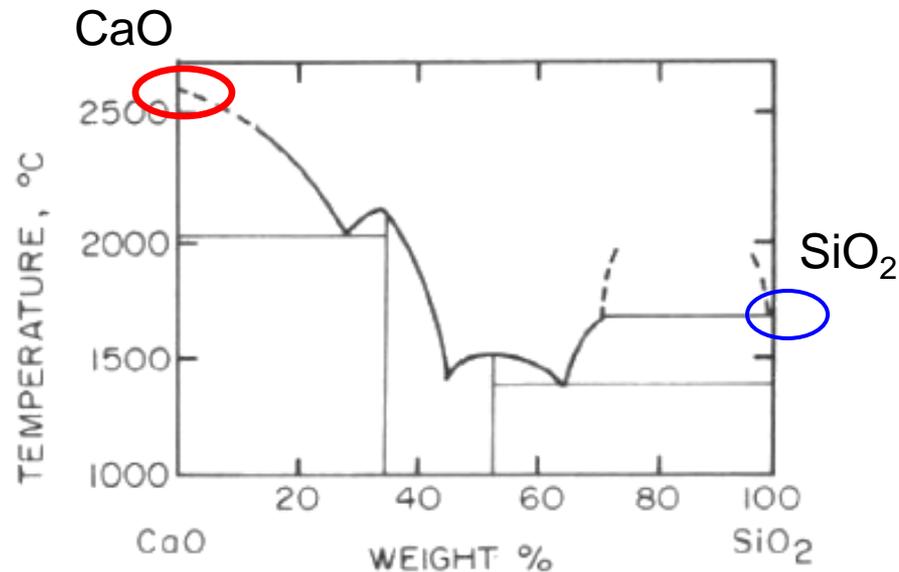


Fig. 1-1. Simplified phase diagram of SiO<sub>2</sub>-CaO system.

# Escória

São denominados óxidos básicos aqueles que fornecem íons oxigênio:



Um óxido ácido será aquele que absorve o oxigênio fornecido pelo óxido básico:



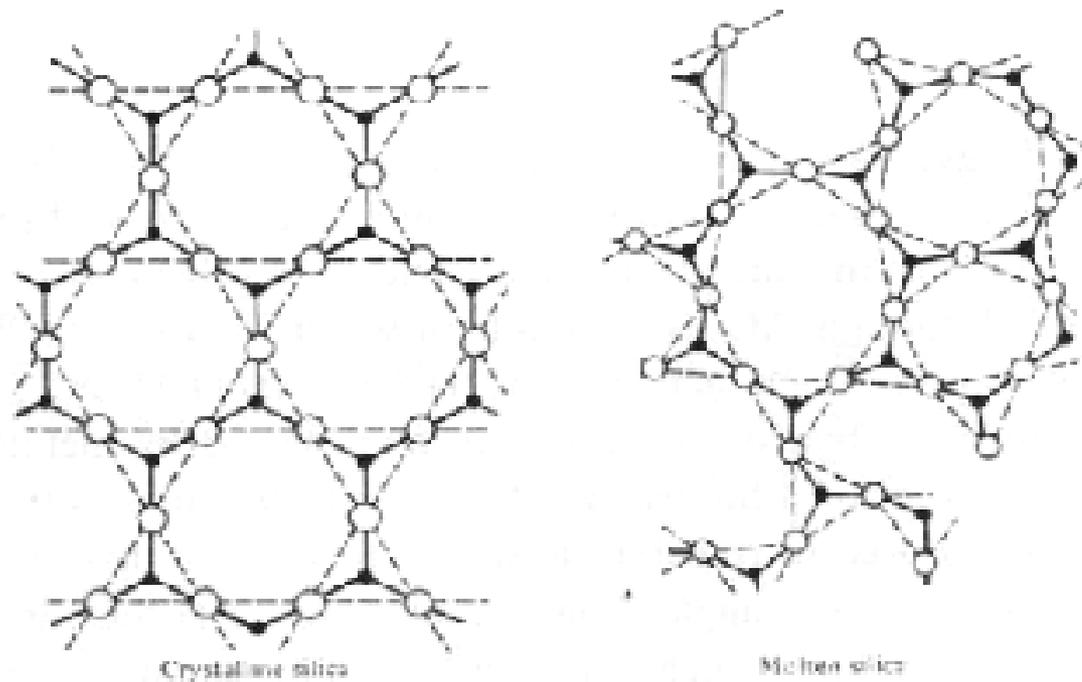


Fig. 1-3. Three dimensional representation of the structure of  $\text{SiO}_2$ .

Em processos pirometalurgicos, escórias são produzidas em grandes quantidades. Dessa forma, essa pode ser disposta em uma das seguintes formas:

- Coletada em panelas e transportadas até as pilhas.
- Granuladas e em seguida transportadas através de correias até as pilhas



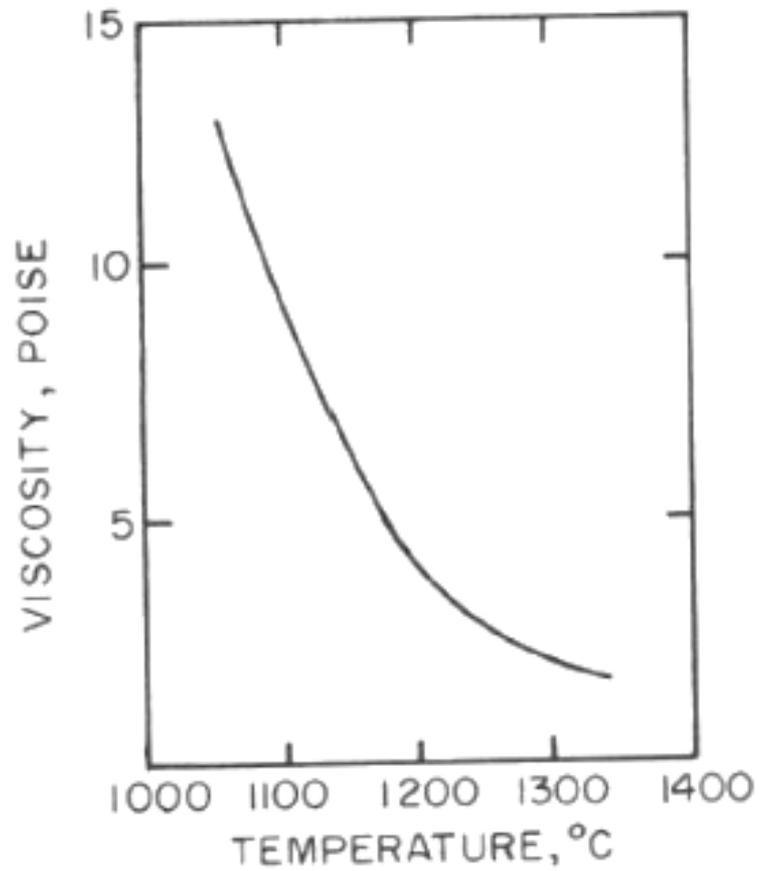
Escórias com altos teores de metal de valor são recirculadas ou tratadas.

Os seguintes fatores influenciam a fluidez de uma escória:

Temperatura: Quanto maior a temperatura maior a fluidez da escória.

Composição: Como mostrado anteriormente, a viscosidade da escória pode aumentar ou diminuir de acordo com o óxido presente.

Escórias possuem pequena condutividade elétrica. Essa propriedade é utilizada industrialmente para o aquecimento da carga, isto é quando eletrodos são imersos em uma escória fundida e uma corrente é passada pela mesma, a temperatura da escoria aumenta permitindo fundir a carga



**Fig. 1-8.** Effect of temperature on the viscosity of a typical copper reverberatory furnace slag.

[Clique aqui](#)

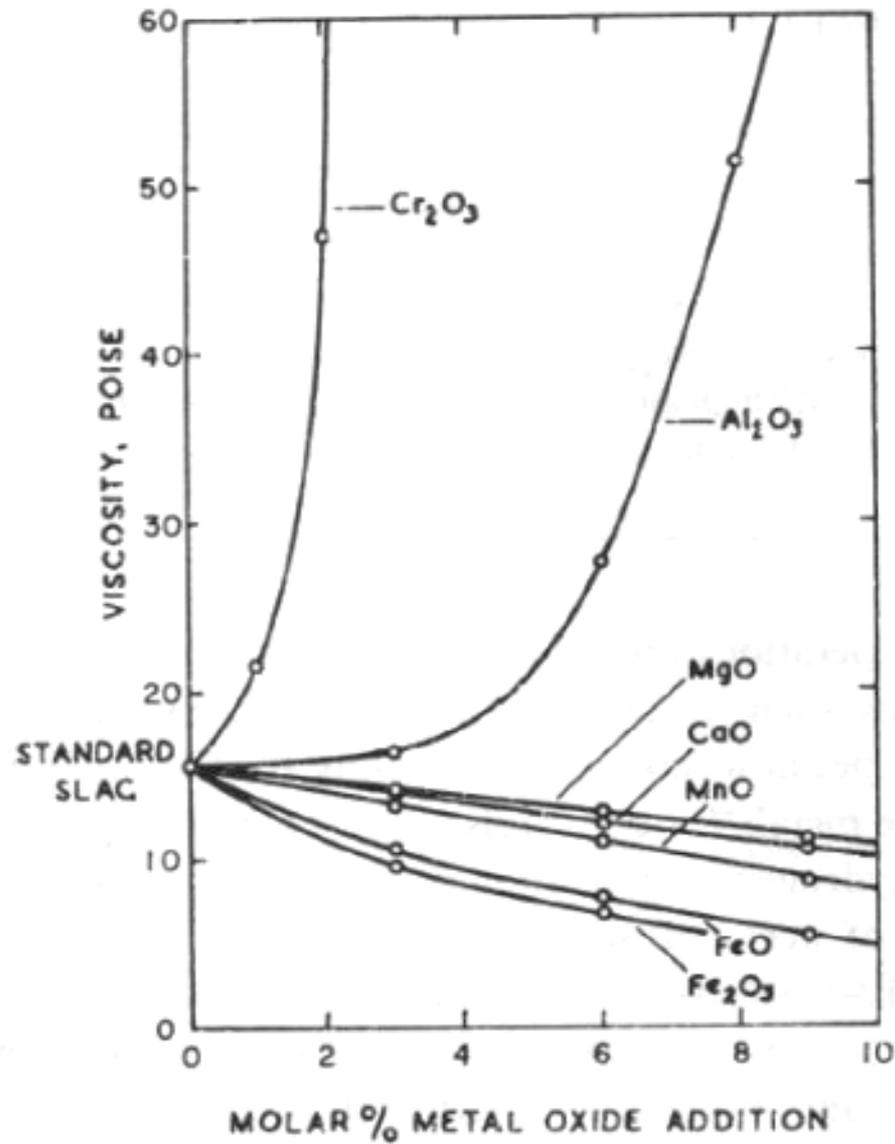


Fig. 1-9. Effect of composition on the viscosity at 1250°C of a slag containing FeO 26.6, SiO<sub>2</sub> 41.5, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 9.6, CaO 22.3%.

# Aspectos de Engenharia

1. Transferência de calor
2. Compactação de pó
3. Separação sólido gás
4. Oxidação em fase sólida
5. Oxidação em fase fundida

Operações normalmente utilizadas para a produção de metais “comuns” – Fe, Cu, Pb, Zn, Ni, Sn e Hg

## *Principles of extractive metallurgy*

**Table 1-2.** Engineering aspects of pyrometallurgical processes

Unit operation	Application
Heat transfer	All processes
Solid-gas separation	Accessory to all furnaces
Compaction of powders	Feed to shaft and fluidized bed furnaces
Oxidation of a solid phase	Sulfide ores
Oxidation in molten phase	Steelmaking, copper, and nickel industries
Metallothermic reactions	Preparation of reactive metals by reduction of their oxides and halides by other metals.

## Transferência de calor

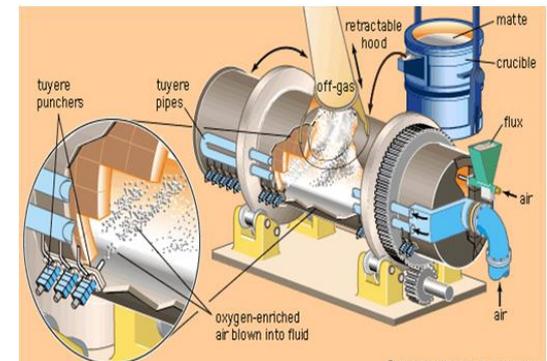
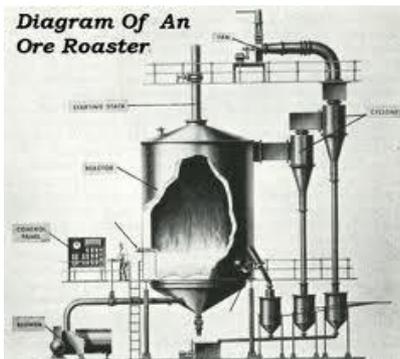
A utilização de minérios de baixo teor levam a necessidade de uma etapa de beneficiamento antes da introdução do material ao forno. Esse material não pode ser adicionado dessa forma no Alto-forno devido a dificuldade da fase gasosa atravessar um leito não poroso. Isso levou à:

- Introdução de novos tipos de fornos
- Compactação de pós para a utilização em Alto-forno



[Clique aqui](#)

- **Separação Sólido Gás:** Uma vez que se utiliza de material fino na alimentação dos fornos, a retirada de material particulado dos gases de saída é de fundamental importância nos processos pirometalúrgicos.
- **Oxidação de uma fase sólida:** Operação de extrema importância para o tratamento de minerais sulfetados.
- **Oxidação em fase fundida:** Operação de conversão da mate a cobre blister.



[Clique aqui](#)

## Aspectos Químicos

1. Tratamento preliminar
2. Separação do metal
3. Refino

- i) Não é necessária a presença de todas as etapas em um determinado processo (*Minérios com alto teor podem ser reduzidos diretamente*)
- ii) Algumas técnicas podem ser utilizadas nas três etapas (*cloração*).