

METALURGIA EXTRATIVA DOS NÃO FERROSOS

PMT 2509

PMT 3409

COQUEIFICAÇÃO

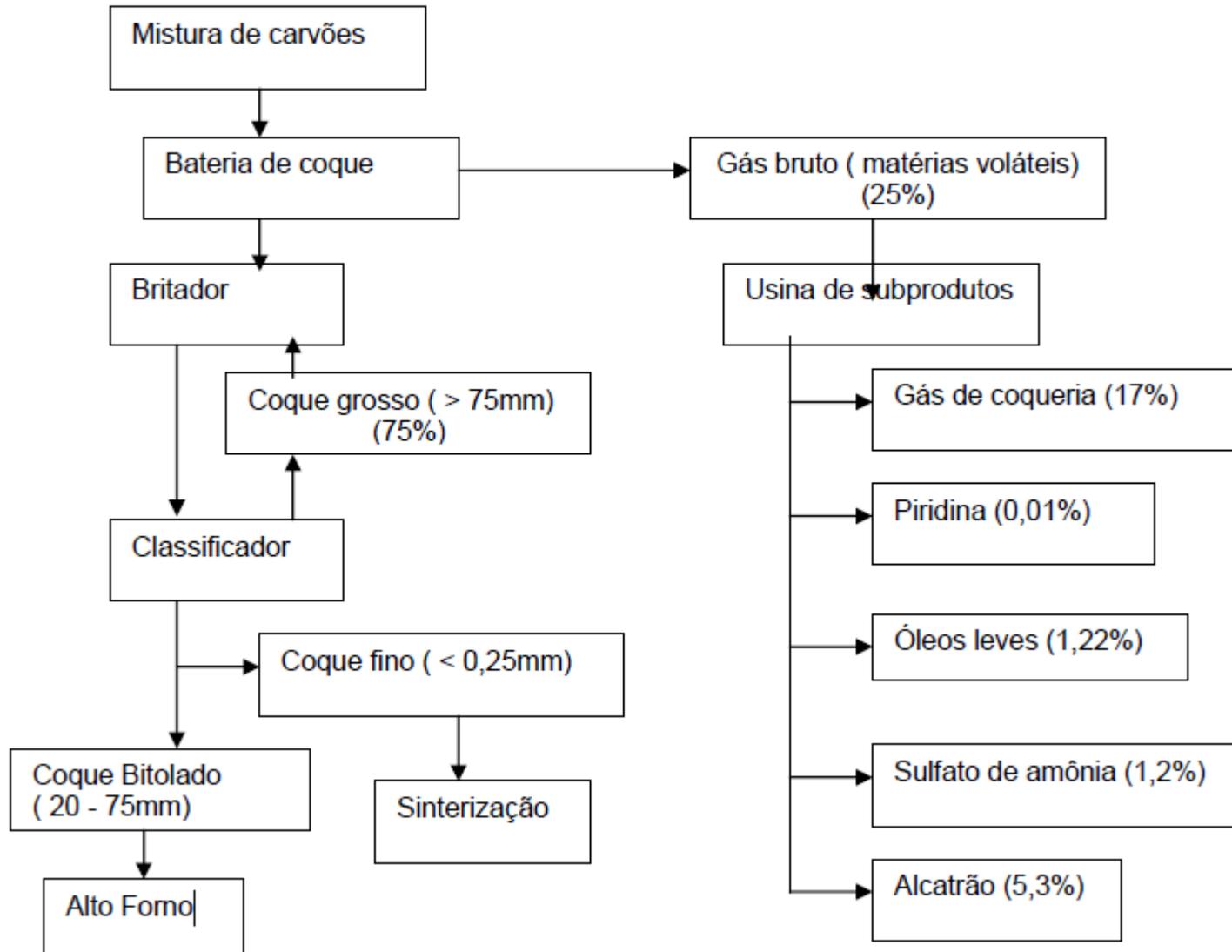
MATERIAL	TURFA	LINHITO	HULHAS	ANTRACITO
Período de formação	Quaternário	Terciário (cretácio; 135 a 2 milhões de anos)	Primário (350 a 225 milhões de anos)	Primário (350 a 225 milhões de anos)
Cor	amarela a parda	Parda a negra	negra	Negra
Aspecto	terroso	lenhoso	rochoso	rochoso
Estrutura	Musgosa e fibrosa			
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

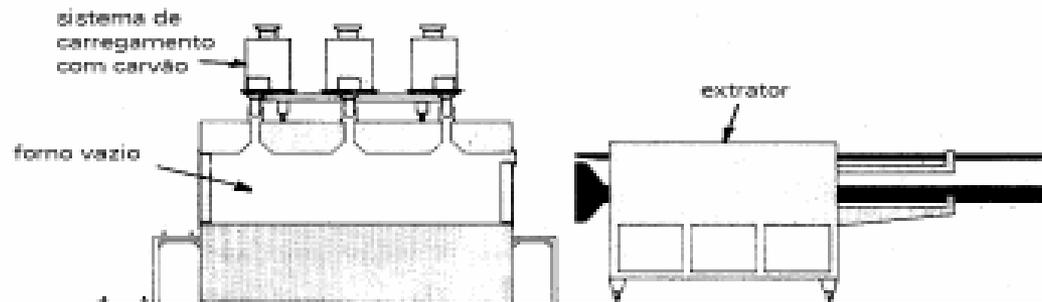
COQUEIFICAÇÃO

- Pirólise de carvão: aquecimento na ausência de ar
- O carvão coqueificável é o betuminoso
- O ciclo pode durar mais de 1 dia (12-36h)
- Etapas
 - 25-350°C: evaporação da umidade e início da desvolatilização
 - 350-500°C: fase plástica; decomposição em alcatrão e gases na forma de uma pasta que envolvem as partículas
 - 500-1000°C: perda de material volátil; endurecimento e trincamento do semi-coque e do coque

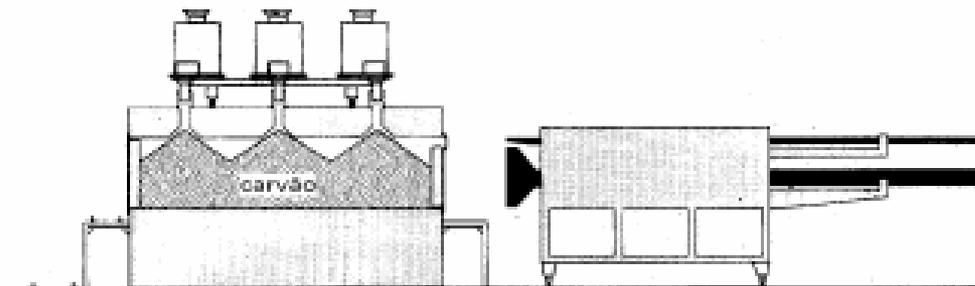
COQUEIFICAÇÃO



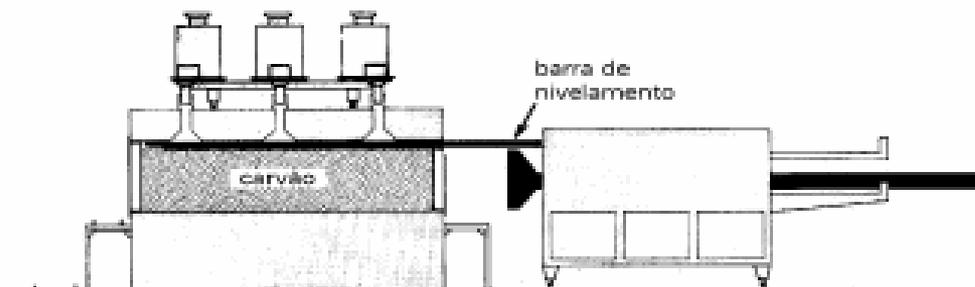
COQUEIFICAÇÃO



A - Início da operação. O forno está vazio e o sistema de carregamento adicionará uma quantidade determinada de carvão mineral.

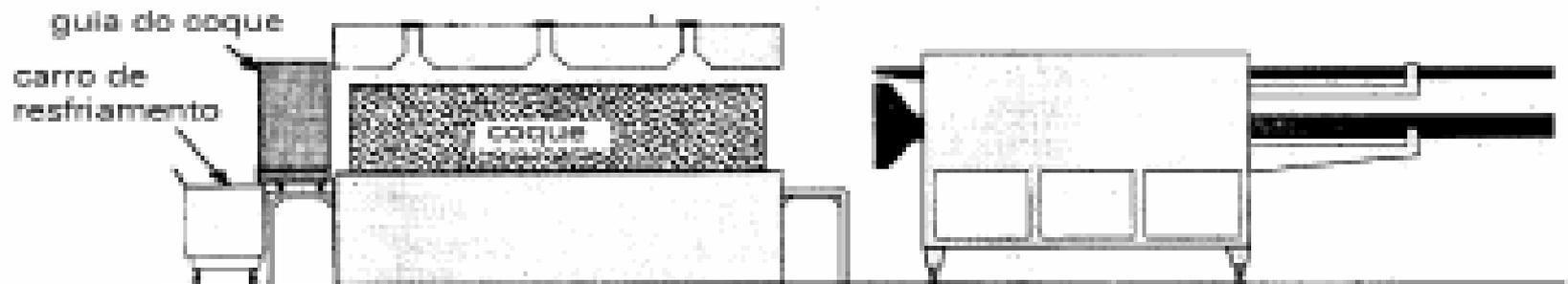


B- Fechamento da porta e carregamento do carvão mineral

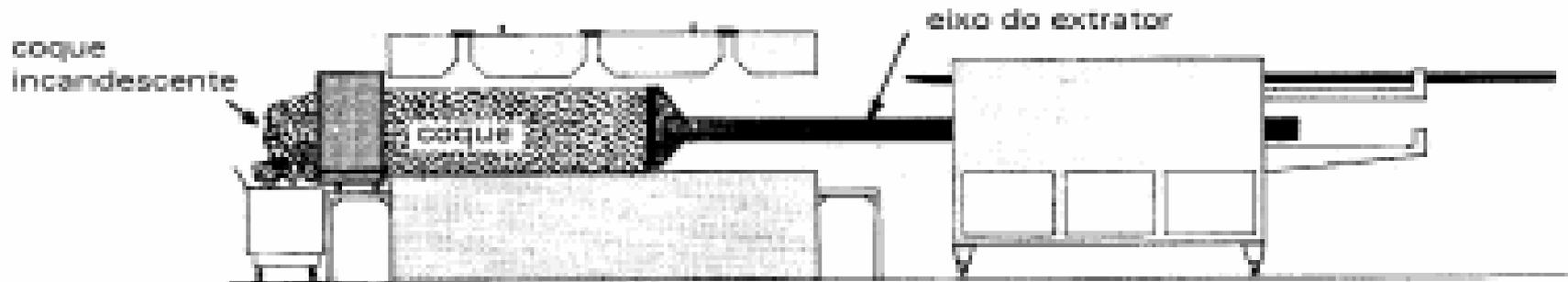


C - A porta de nivelamento, acima da porta do forno é aberta e a carga de carvão é nivelada, a barra de nivelamento é retirada, a porta é fechada e a operação de coqueificação é realizada.

COQUEIFICAÇÃO

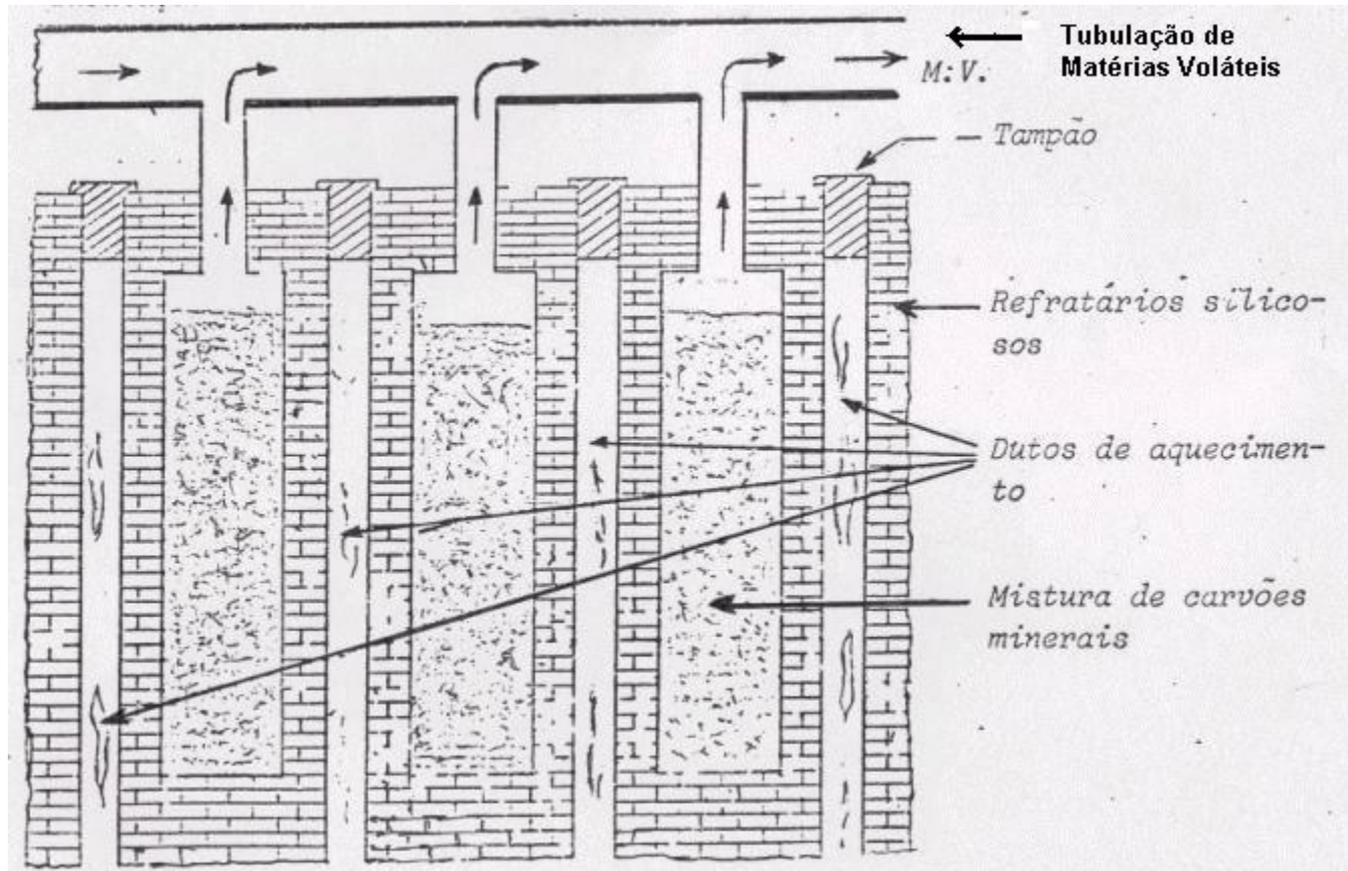


D- A coqueificação está completa após 18 h e o coque é empurrado do forno para o carro de resfriamento

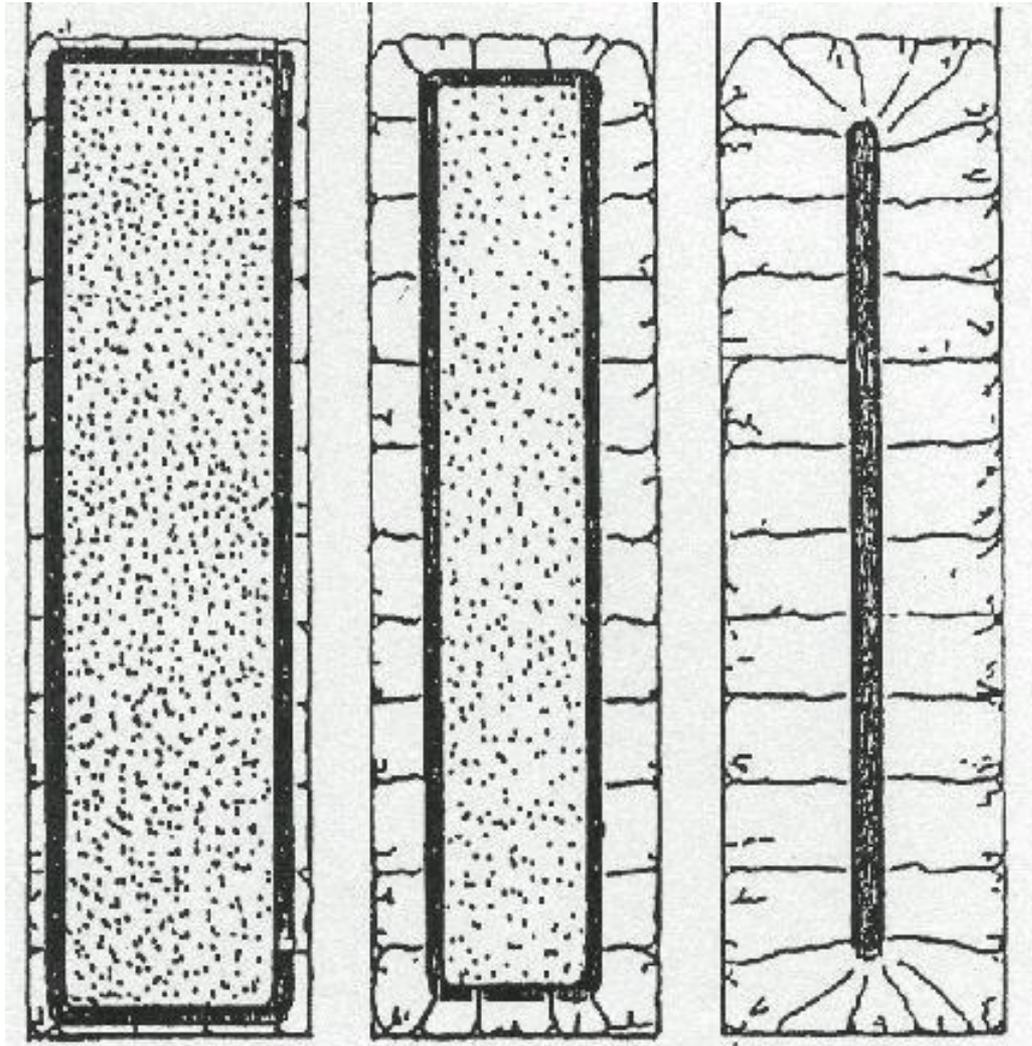


E- Extração do coque e início do carregamento.

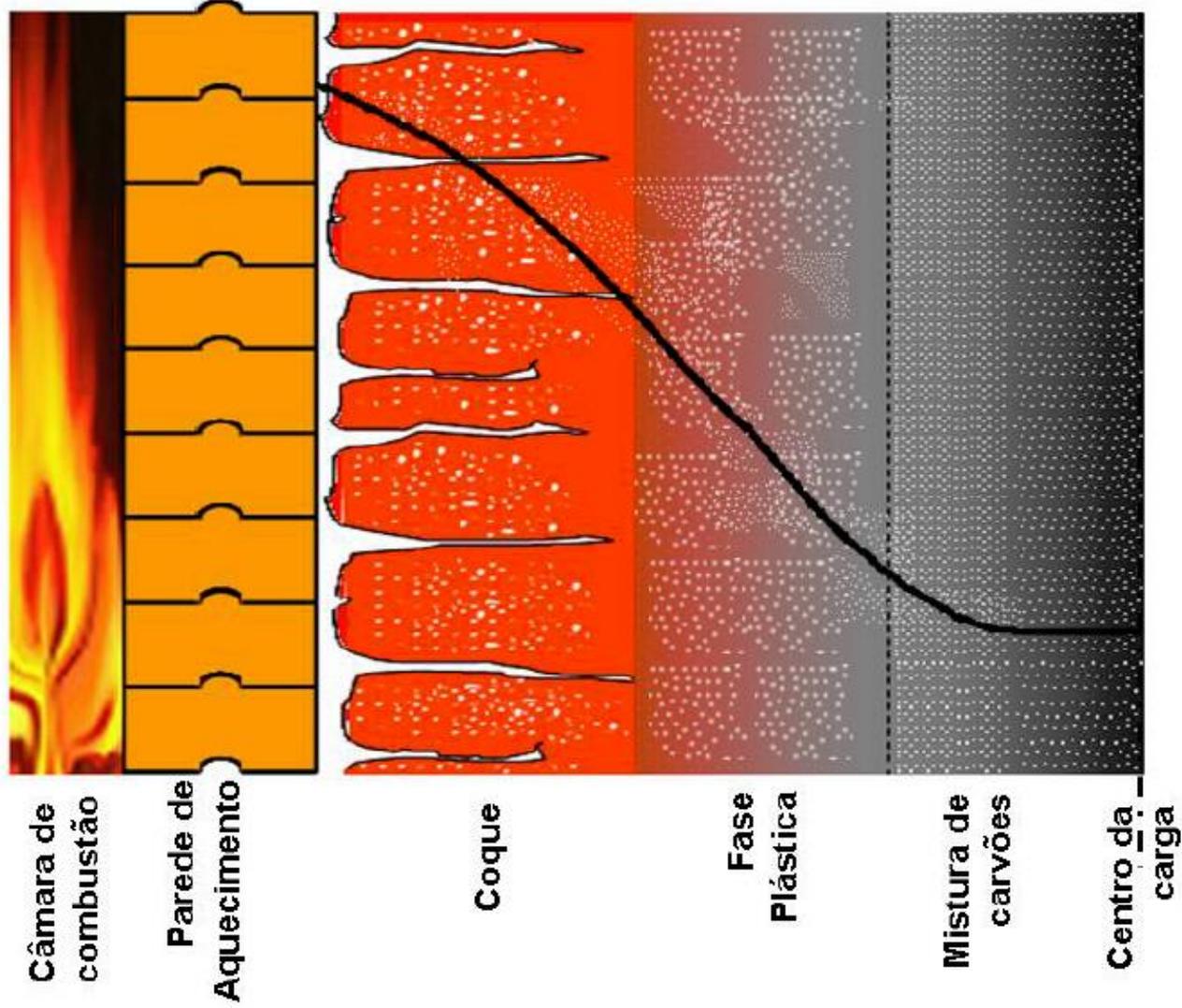
COQUEIFICAÇÃO



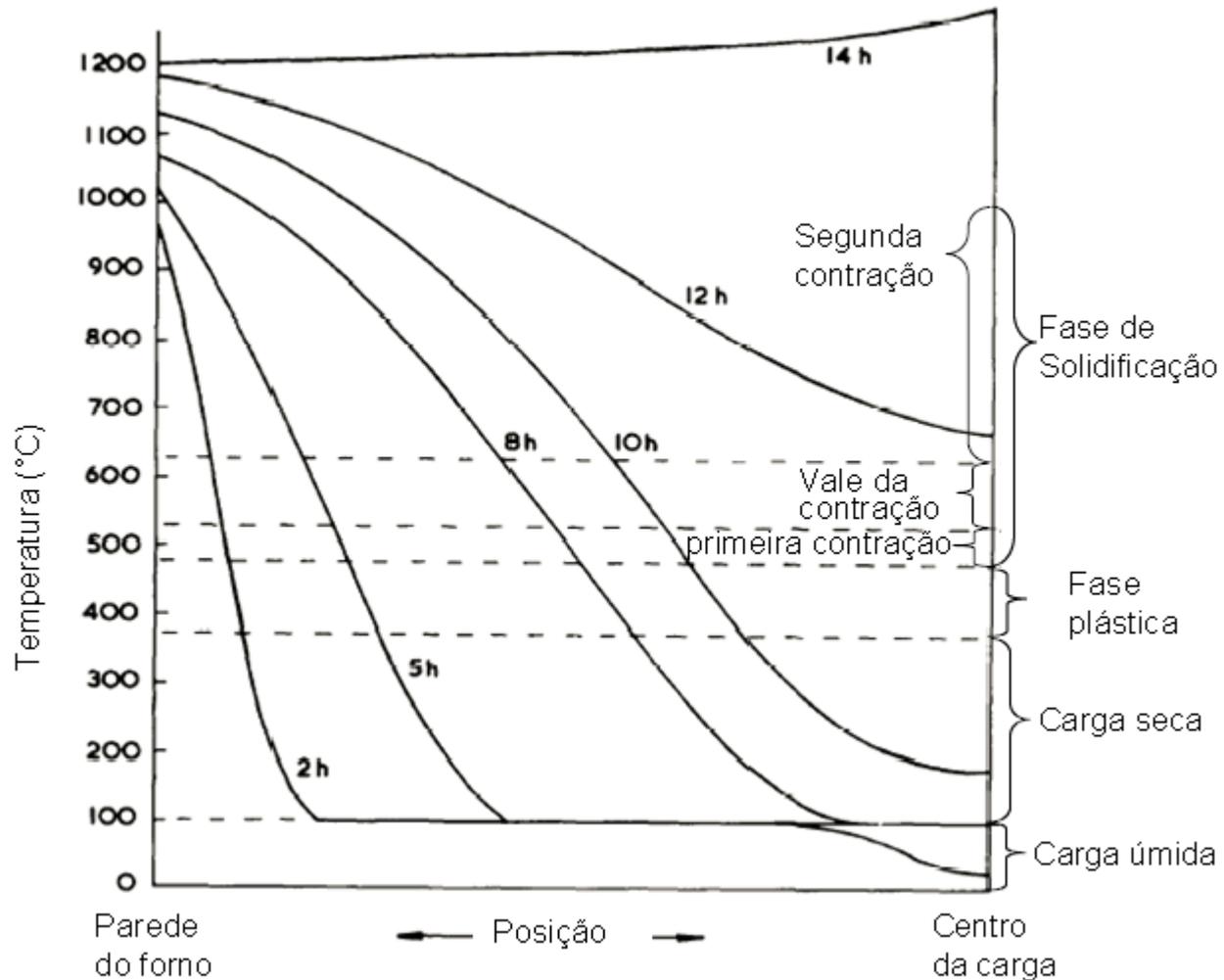
COQUEIFICAÇÃO



COQUEIFICAÇÃO



COQUEIFICAÇÃO

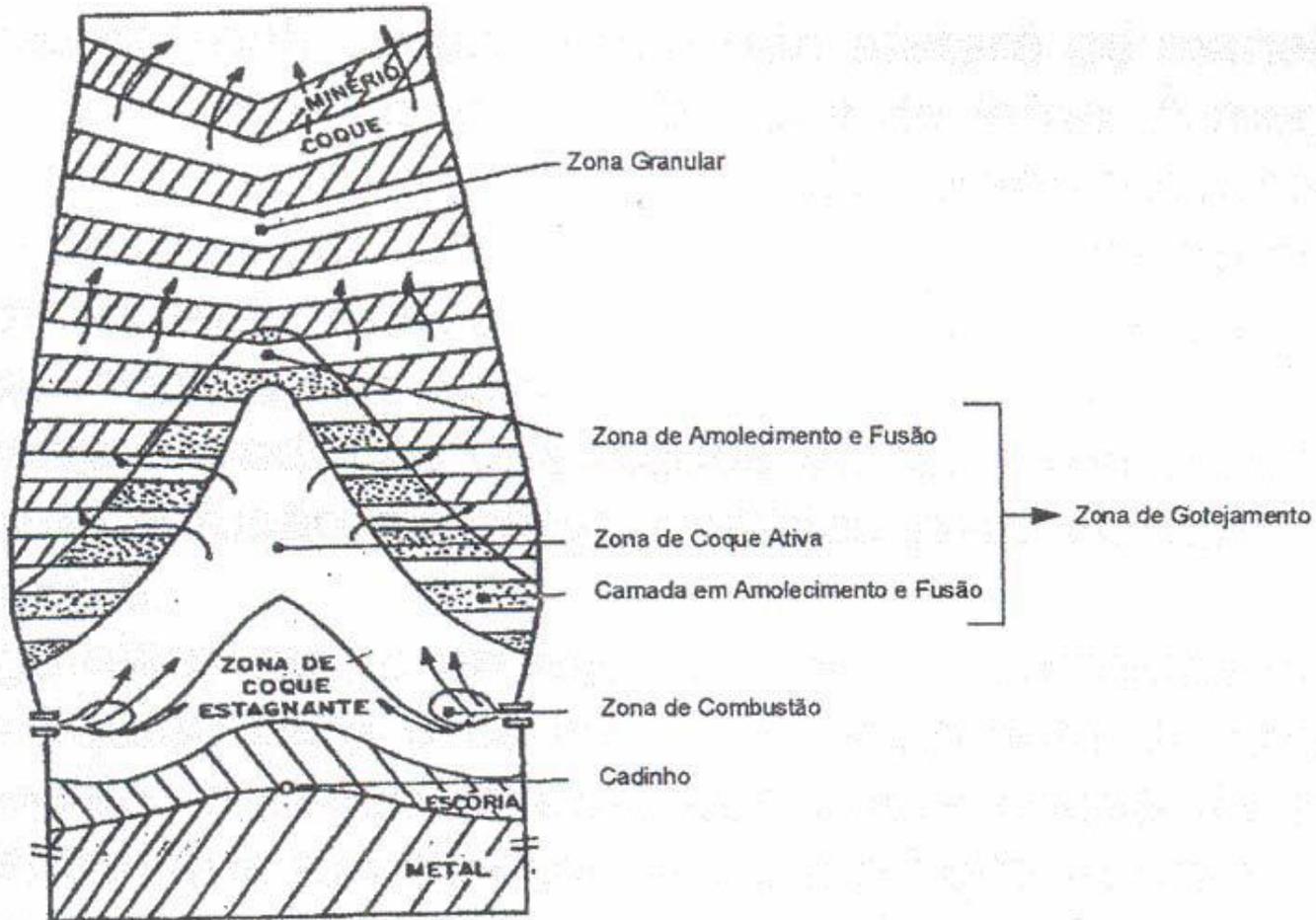


COQUEIFICAÇÃO

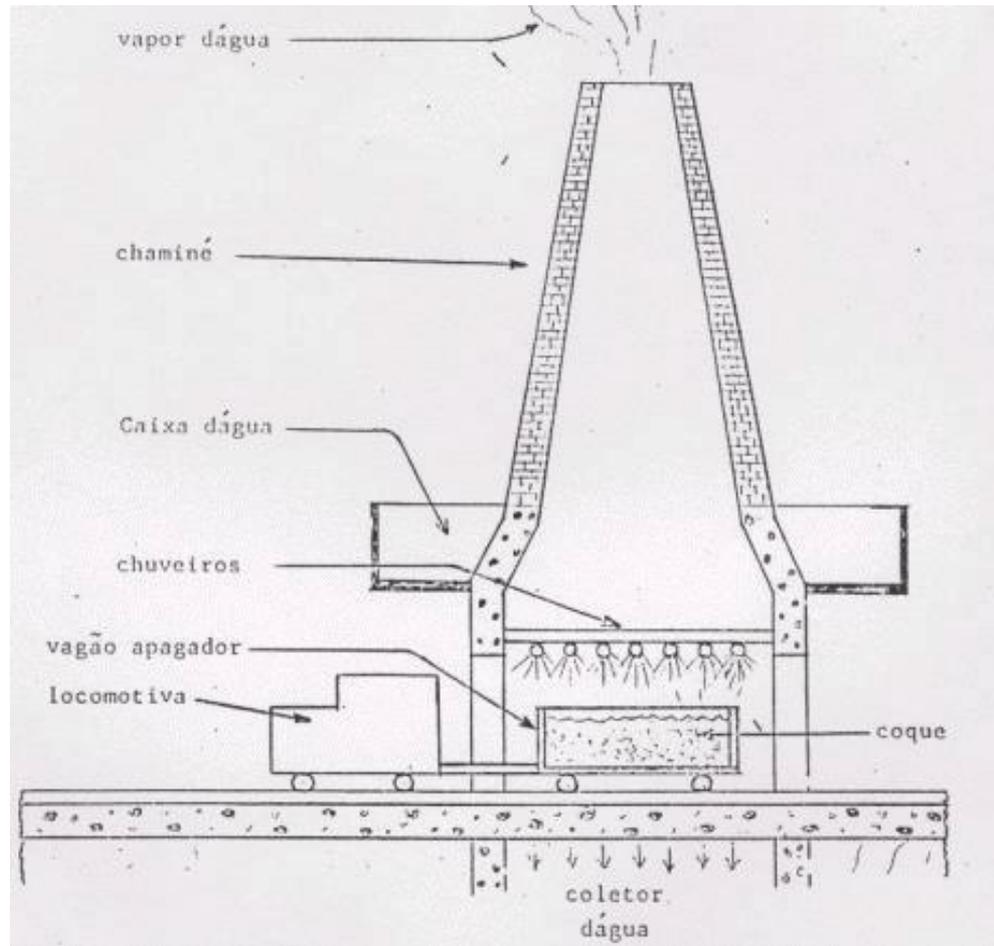
- Usina produzindo 4,3 milhões de toneladas de aço por ano
 - 1.600.000 t de coque
 - 620.000 m³ de gás de coqueria
 - 41.000 t de alcatrão
 - 11.400 t de óleos leves

Parâmetro	Bateria 1	Bateria 2	Bateria 3	Bateria 4	Bateria 5
Ano Partida	1965	1965	1972	1976	1983
Fabricante	CEC	CEC	CEC	KK	KK
Altura	4 m	4 m	4 m	6 m	6 m
Comprim.	12,2 m	12,2 m	12,2 m	15 m	15 m
Largura (m)	0,42 a 0,48	0,42 a 0,48	0,42 a 0,48	0,40 a 0,46	0,40 a 0,46
N. fornos	31	31	35	53	53
Produção	500.000 ton/ano			1.100.000 ton/ano	

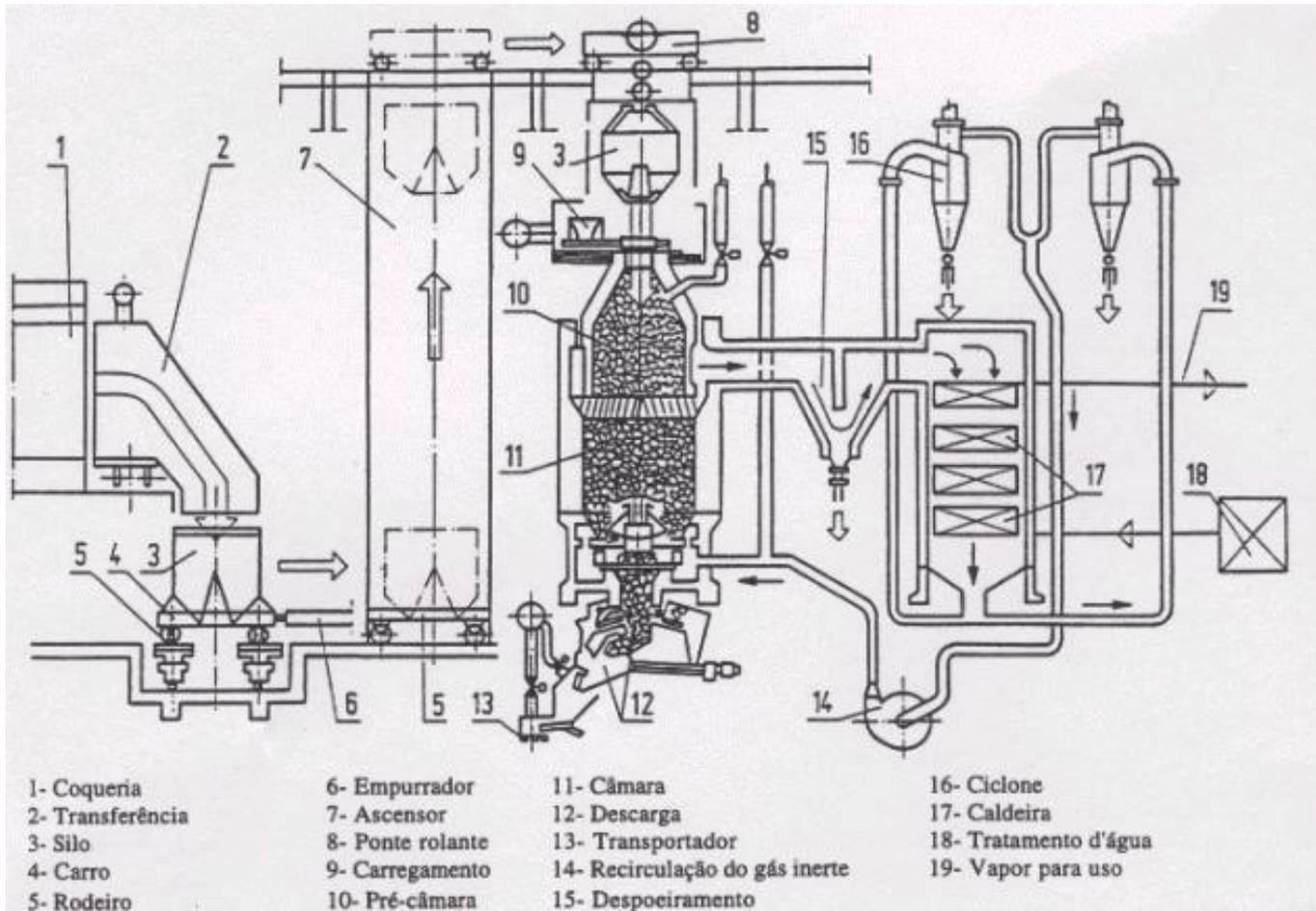
COQUEIFICAÇÃO



COQUEIFICAÇÃO



COQUEIFICAÇÃO



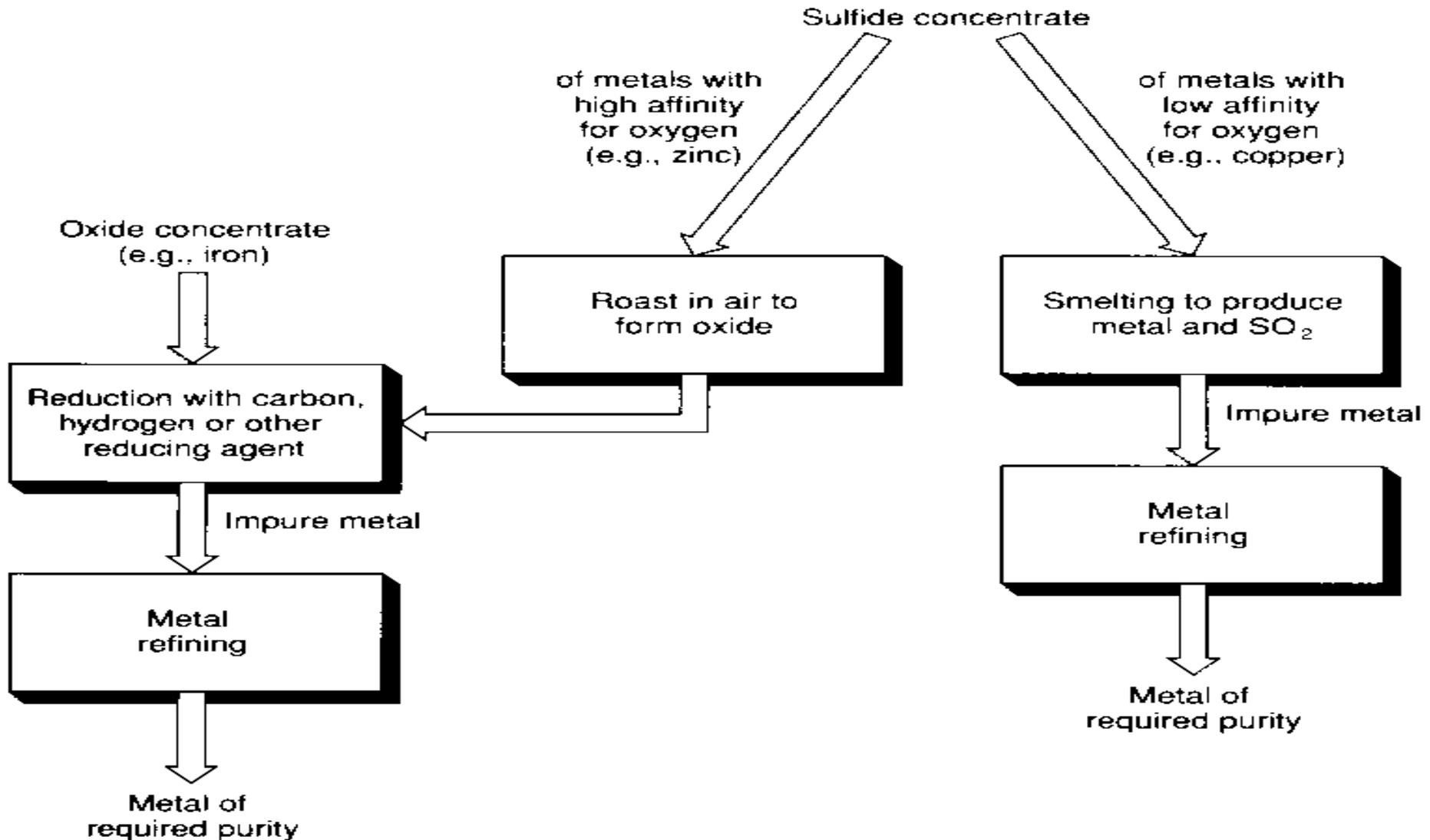
USTULAÇÃO

- Transformação de um sulfeto em um óxido
- Reação básica:



- Características:
 - Reação gás-sólido
 - Produto gasoso reaproveitável ou perigoso

USTULAÇÃO



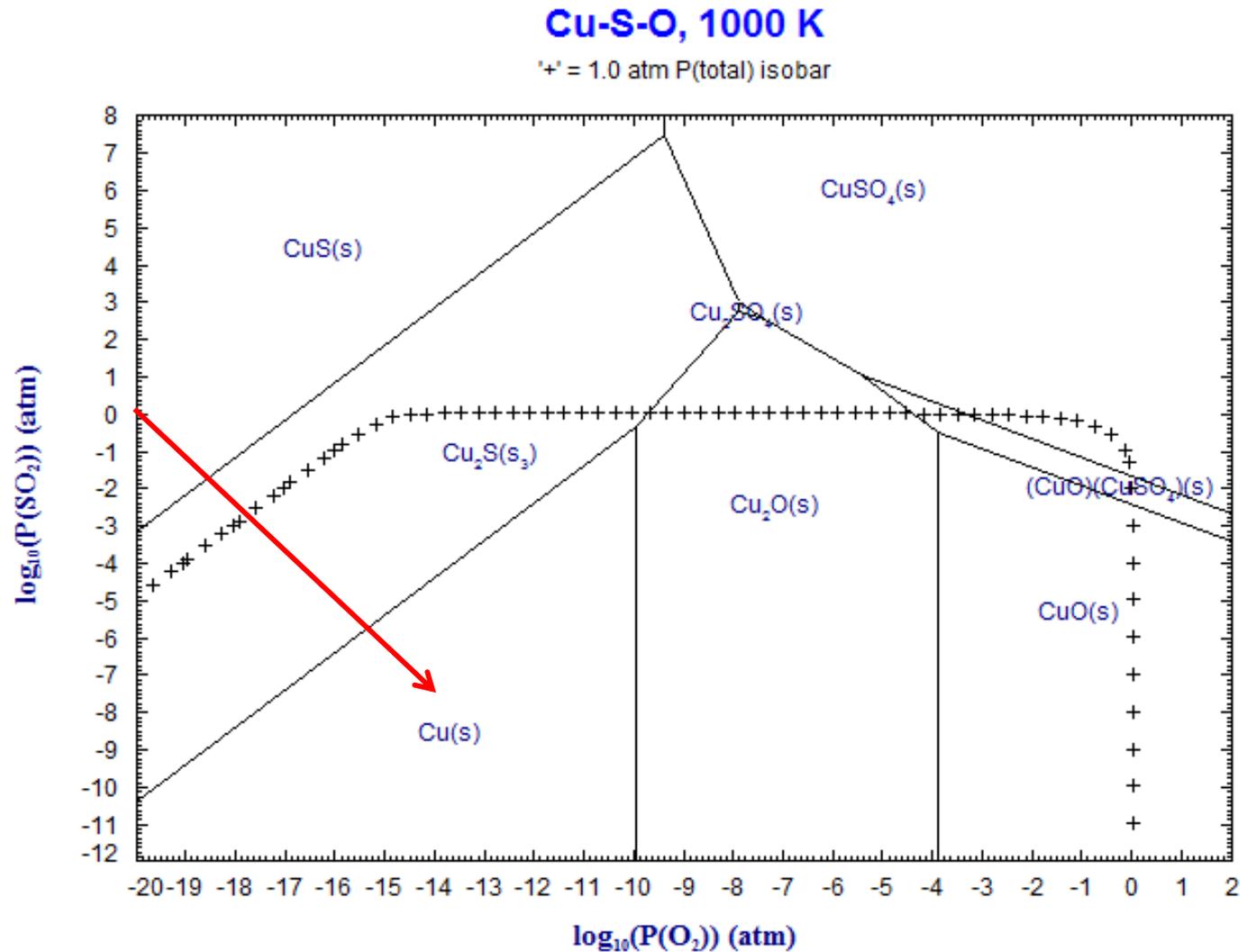
USTULAÇÃO

TERMODINÂMICA

- $\text{PbS} + \text{O}_2 = \text{PbO} + \text{SO}_2$ (700°C) - galena
 - $\Delta H_{973\text{K}} \cong -130$ kcal/mol PbS
 - $\Delta G_{973\text{K}} \cong -80$ kcal/mol PbS
- $\text{ZnS} + 3/2 \text{O}_2 = \text{ZnO} + \text{SO}_2$ (800°C) - esfarelita
 - $\Delta H_{1073\text{K}} \cong -110$ kcal/mol ZnS
 - $\Delta G_{1073\text{K}} \cong -90$ kcal/mol ZnS
- $\text{CuS} + 3/2 \text{O}_2 = \text{Cu}_2\text{O} + \text{SO}_2$ (900°C) - calcocita
 - $\Delta H_{1173\text{K}} \cong -70$ kcal/mol Cu_2S
 - $\Delta G_{1173\text{K}} \cong -60$ kcal/mol Cu_2S

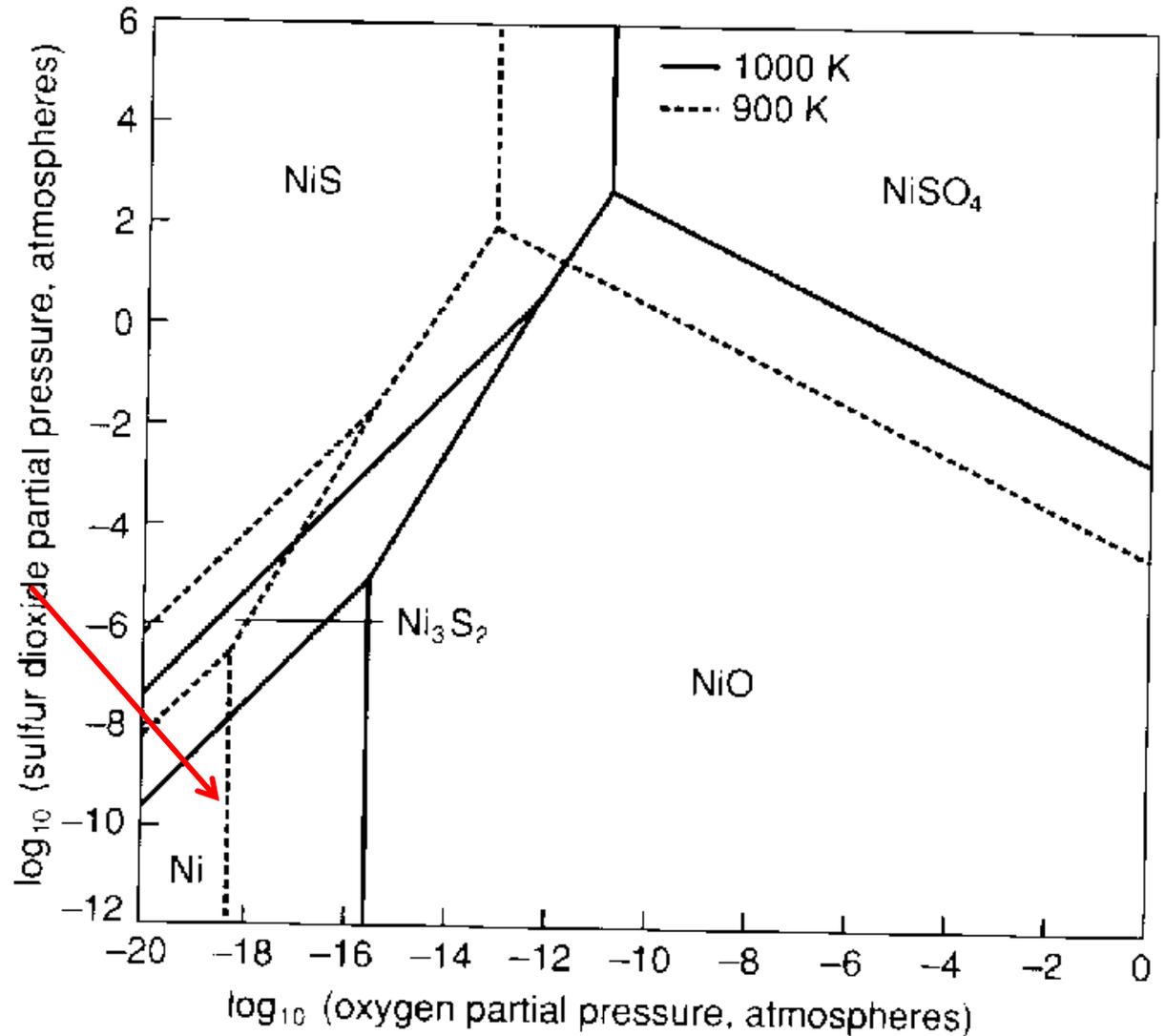
USTULAÇÃO

Diagrama de área de predominância (Kellogg)



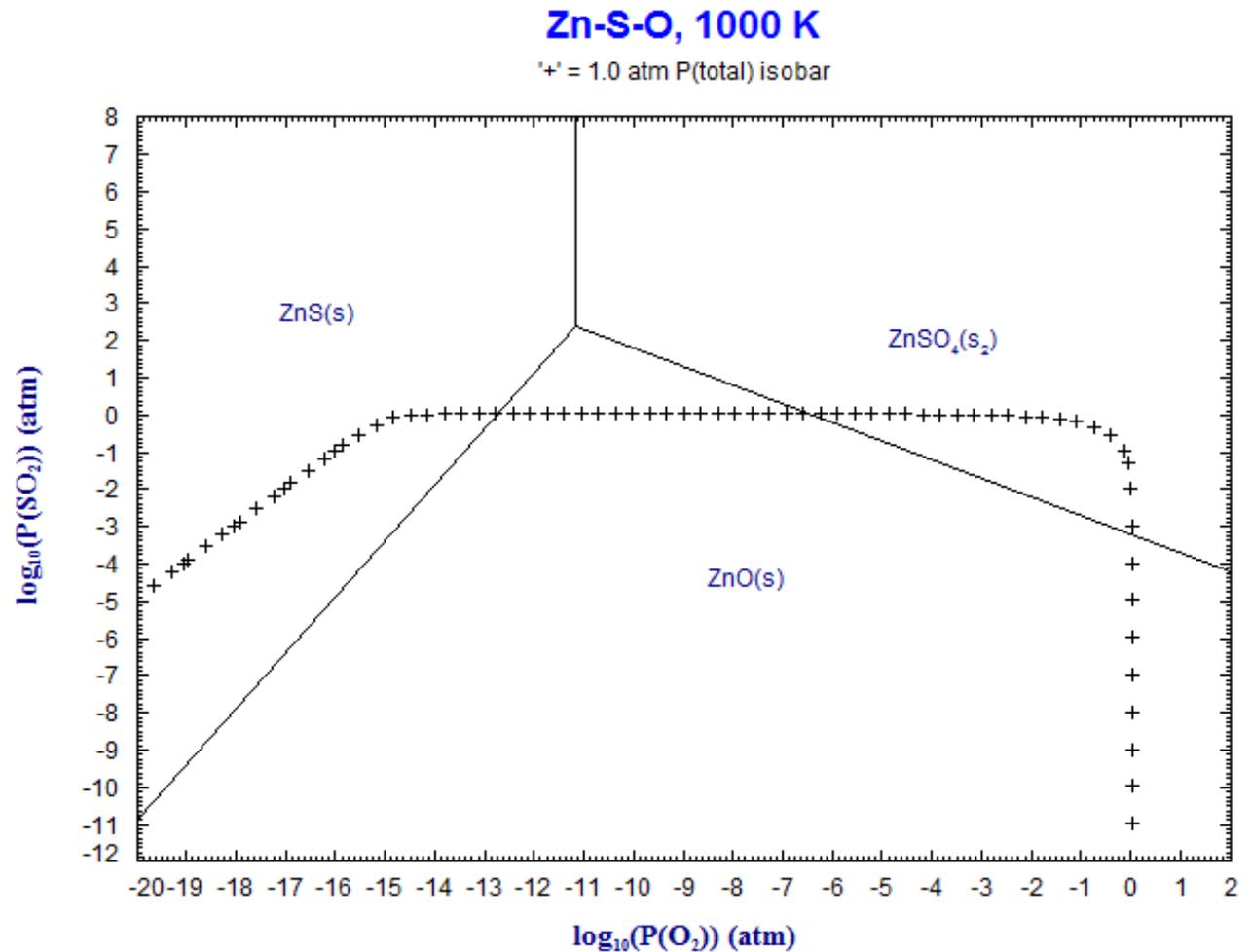
USTULAÇÃO

Diagrama de
área de
predominância



USTULAÇÃO

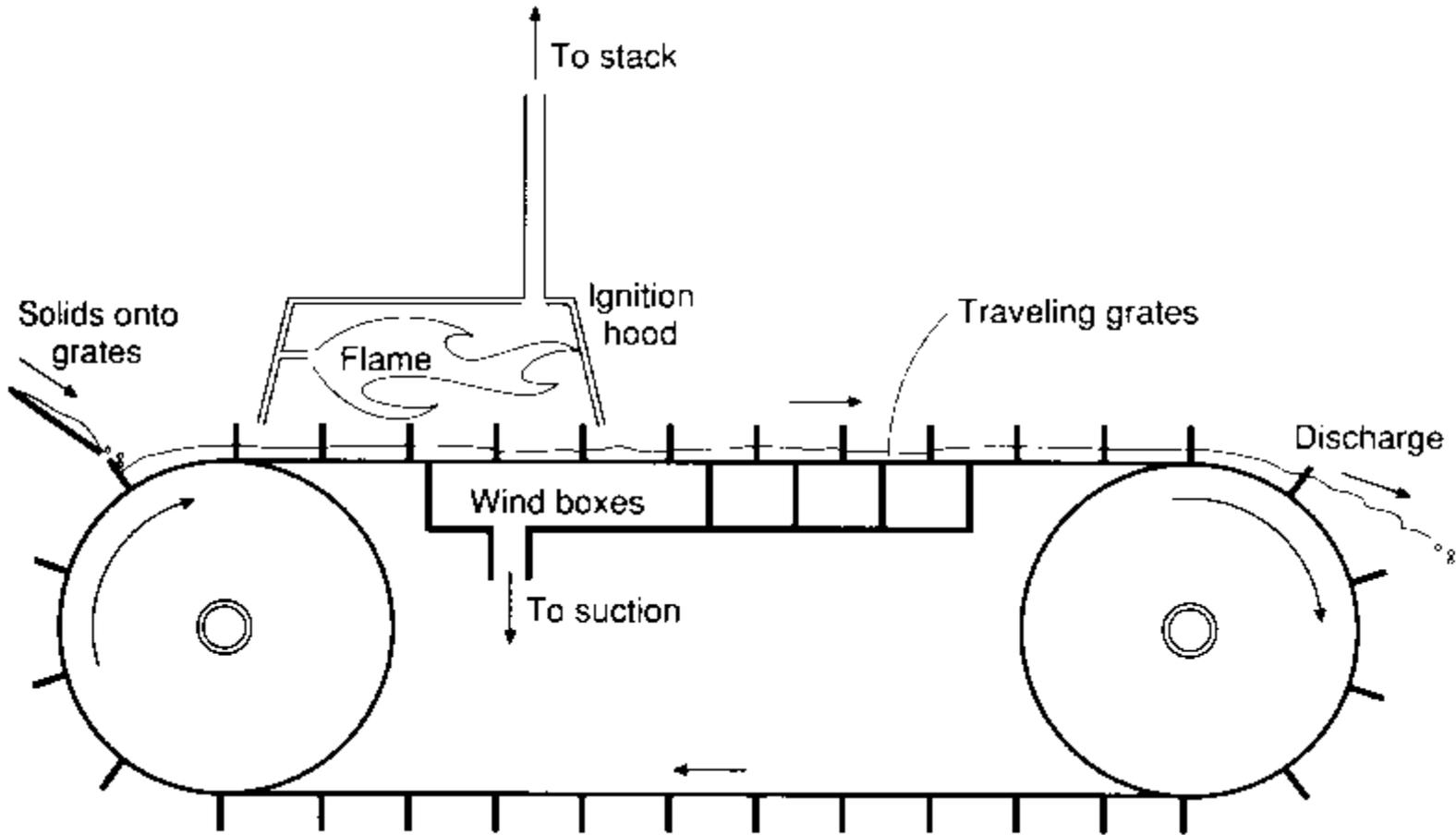
Diagrama de
área de
predominância



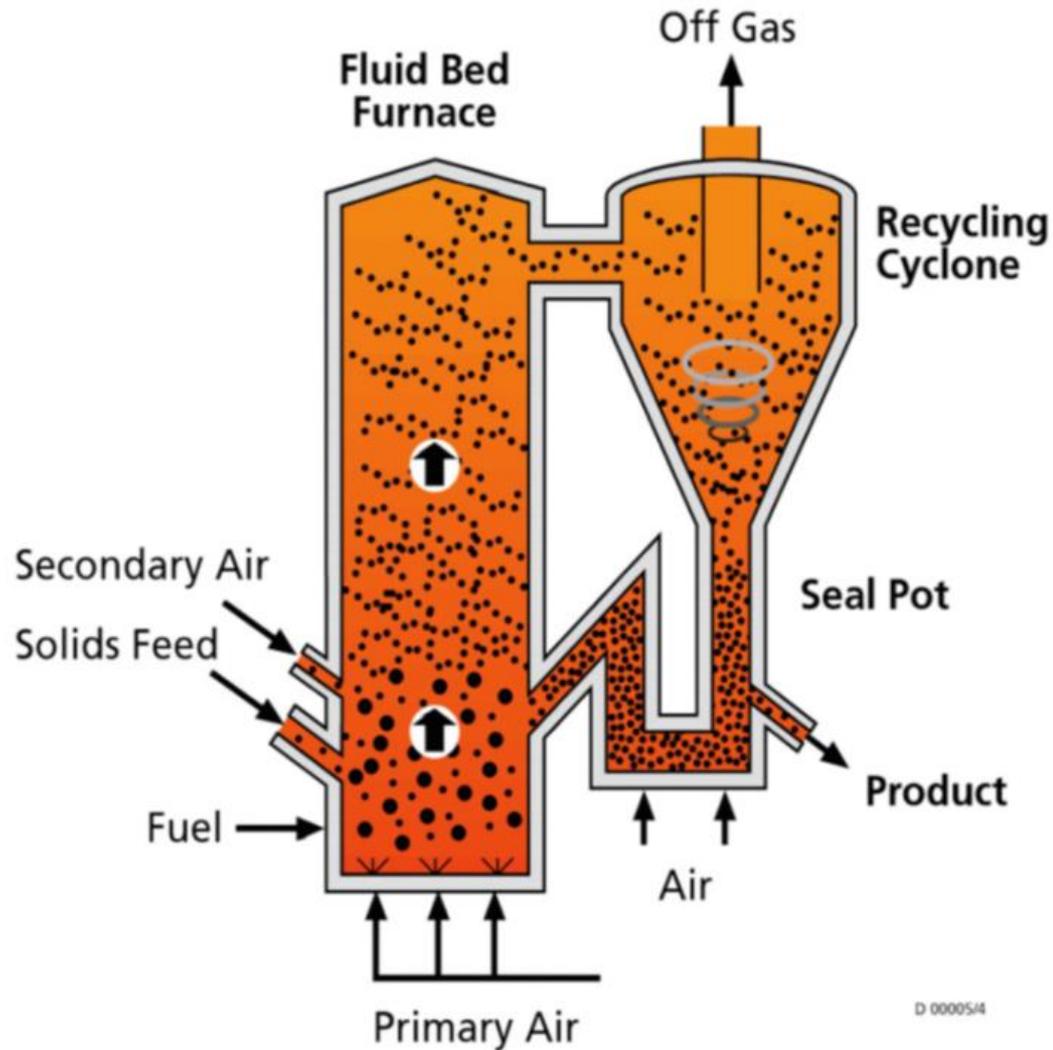
USTULAÇÃO

- Reação gás-sólido: deve-se maximizar a área de contato do reagentes
-
- Produção de sulfatos: quando há uma etapa de lixiviação posterior
- O SO_2 gerado deve ser aproveitado: H_2SO_4 , gesso,...

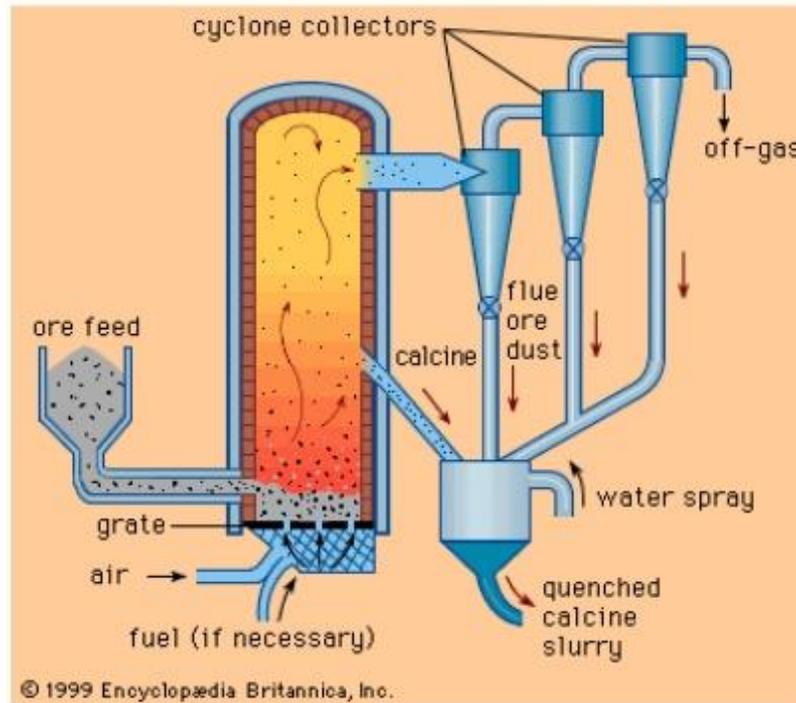
USTULAÇÃO



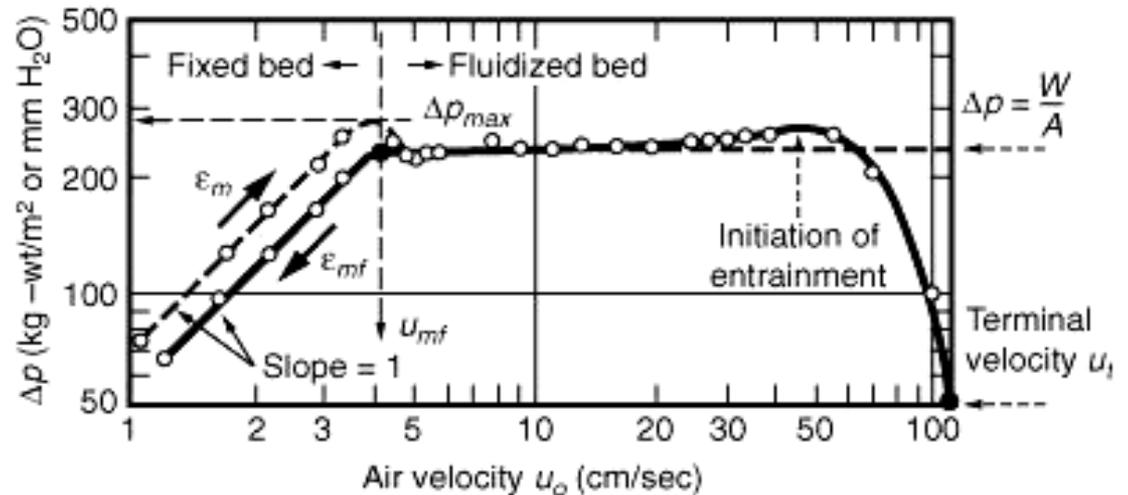
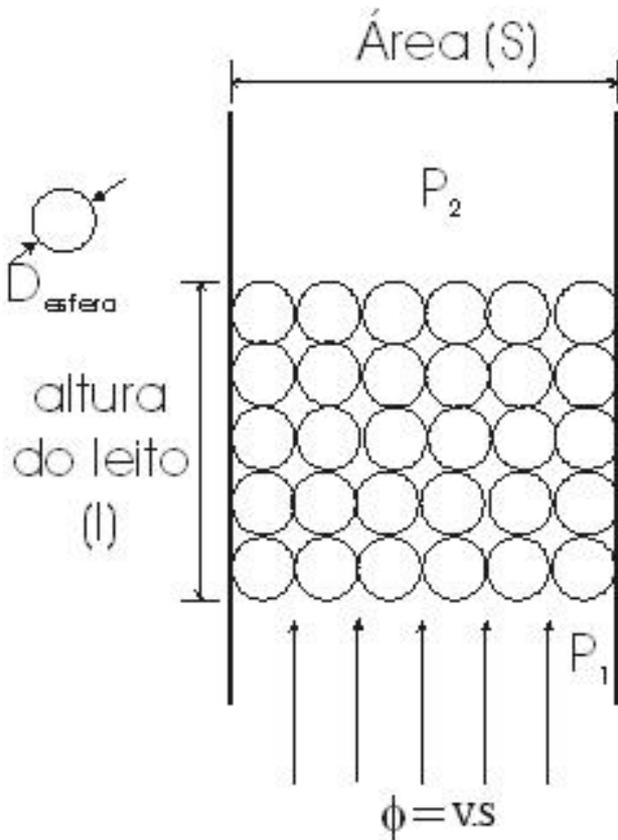
USTULAÇÃO



Fluidized Bed Roaster



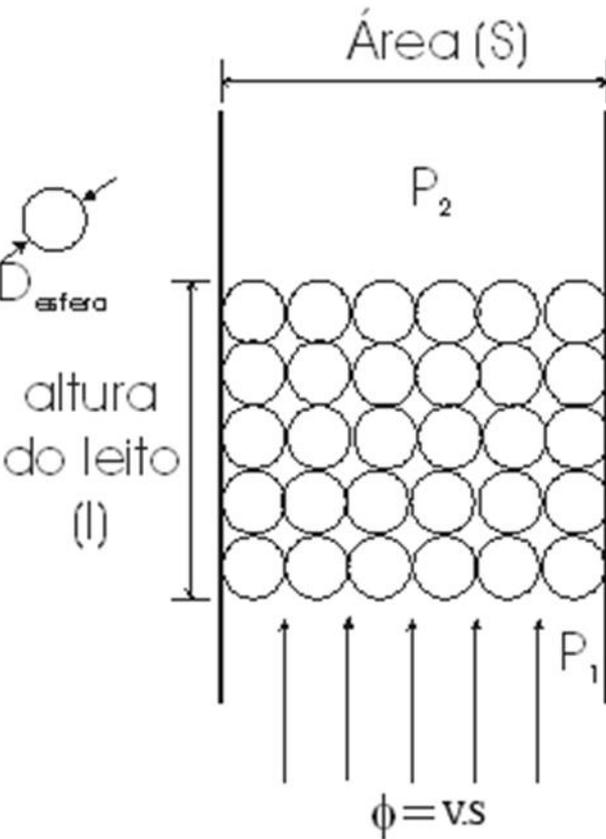
FLUXO COMPLEXO DE FLUIDOS



From D. Kunii and O. Levenspiel, *Fluidization Engineering* (Melbourne, Fla.: Robert E. Krieger Publishing Co., 1977). Reprinted with permission of the publishers.

FLUXO COMPLEXO DE FLUIDOS

LEITO FIXO



ΔP proporcional a:

- Comprimento do leito
- Velocidade do fluido
- Viscosidade do fluido

$$\frac{\Delta P}{L} = \frac{\eta}{k_1} \cdot v_s$$

Equação de Darcy (Re↓)

k_1 = constante de permeabilidade viscosa ou Darciana (m^2)

FLUXO COMPLEXO DE FLUIDOS

LEITO FIXO

$$\frac{\Delta P}{L} = \frac{\eta}{k_1} \cdot v_s + \frac{\rho}{k_2} \cdot v_s^2$$

Equação de Forchheimer
 $k_1 \rightarrow$ atrito
 $k_2 \rightarrow$ turbulência e tortuosidade

$$\frac{\Delta P}{L} = 150 \cdot \frac{(1 - \varepsilon)^2}{\varepsilon^3} \cdot \frac{\eta}{d_p^2} \cdot v_s + 1,75 \cdot \frac{(1 - \varepsilon)}{\varepsilon^3} \cdot \frac{\rho}{d_p} \cdot v_s^2$$

Equação de Ergun
Características estruturais

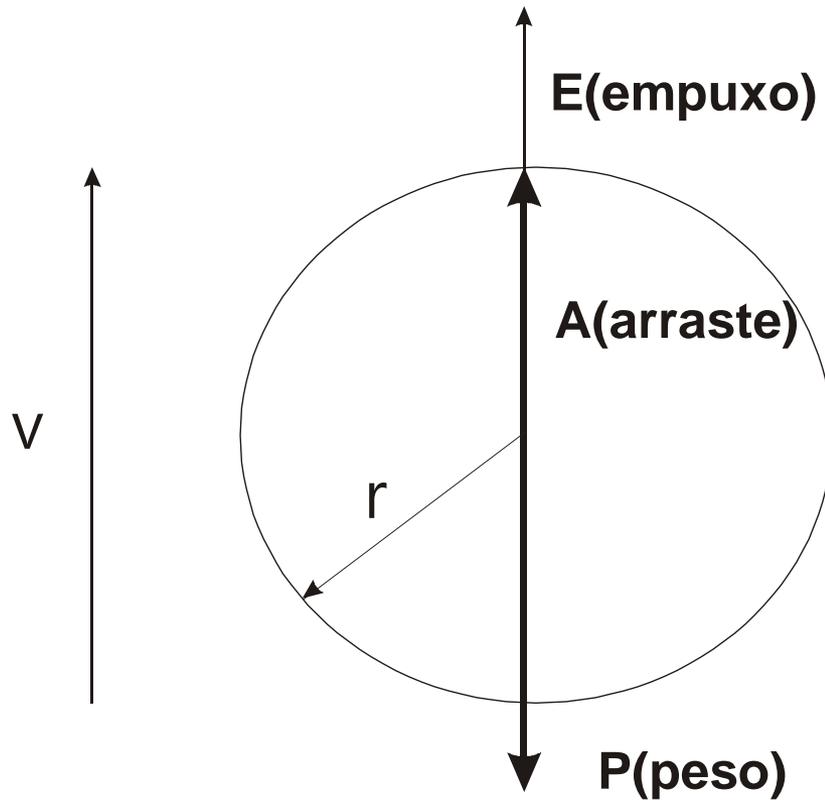
FLUXO COMPLEXO DE FLUIDOS

LEITO FIXO

A sinterização de um minério de Fe de diâmetro médio de 0,5mm utiliza um leito de 30 cm de altura e uma % de vazios de 39%. A velocidade de insuflação de ar é de 25 cm/s. A densidade do ar é de $1,23 \times 10^{-3}$ g/cm³ e a viscosidade é de 178×10^{-6} P. Determinar a perda de carga total do sistema. ($5,85 \times 10^4$ dy/cm²)

FLUXO COMPLEXO DE FLUIDOS

ELUTRIAÇÃO



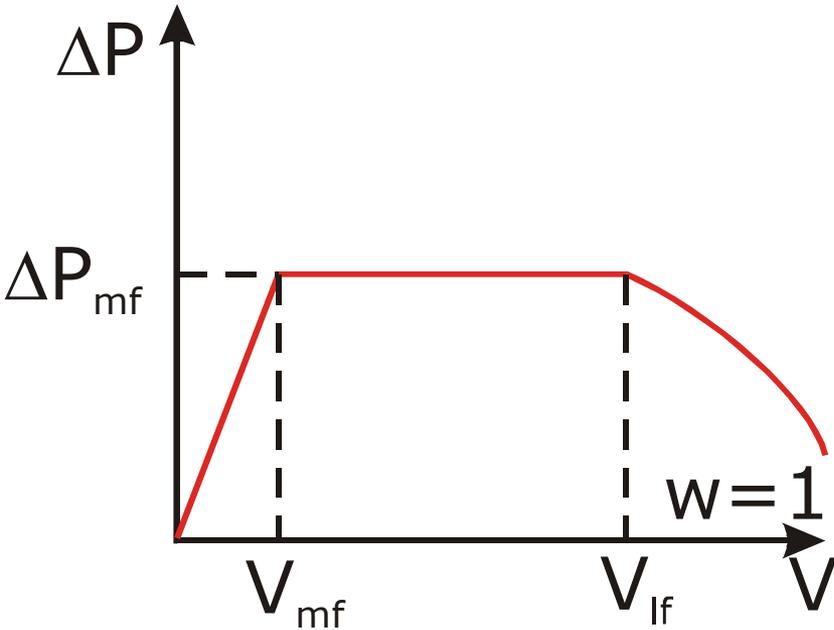
$$a=0$$
$$P=E+A$$

$$v_{\text{lim}} = \frac{2 \cdot g \cdot r^2 \cdot (\rho_{\text{partícula}} - \rho_{\text{fluido}})}{9 \cdot \eta_{\text{fluido}}}$$

LEI DE STOKES

FLUXO COMPLEXO DE FLUIDOS

LEITO FLUIDIZADO



$$Re_{mf} = \frac{V_{mf} \cdot \phi_p \cdot \rho_f}{\eta_f}$$

$$Ga = \frac{\phi_p^3 \cdot (\rho_p - \rho_f) \cdot \rho_f \cdot g}{\eta_f^2}$$

(nº de Galileu)

$$Re_{mf} = \sqrt{1135,69 + 0,0408 \cdot Ga} - 33,7$$

$$w_f^{4,7} \cdot Ga = 18 \cdot Re + 2,7 \cdot Re^{1,687}$$

FLUXO COMPLEXO DE FLUIDOS

LEITO FLUIDIZADO

•Uma das fases da produção de Ti é a cloretação do óxido (TiO_2) com cloro gasoso. Calcular a vazão mínima de Cl_2 para a fluidização sabendo que a análise granulométrica do TiO_2 :
-60+80#:10,0%, -80+100#:13,0%, -100+150#:67,0% -150+200#:10,0;
 $\rho_{\text{TiO}_2}=4,53 \text{ g/cm}^3$; $\phi_{\text{reator}}=120\text{cm}$; $\rho_{\text{Cl}_2}=0,00073 \text{ g/cm}^3$; (950°C)
 $\eta_{\text{Cl}_2}=0,05 \text{ cP}$ (950°C)

INTRODUÇÃO

- Boa parte dos metais são produzidos através de matérias-primas óxidas
- Poucos metais podem ser convertidos pela simples decomposição térmica (Ag, Pt, Pd,...)
- Há a necessidade de um agente redutor



R = redutor (sólido, líquido ou gasoso)

$R_{x'}O_{y'}$ = produto de redução (sólido, líquido ou gasoso)

TERMODINÂMICA DA REDUÇÃO

- A possibilidade da utilização de um redutor dependerá sempre das condições termodinâmicas do sistema \Rightarrow estabilidade relativa dos óxidos

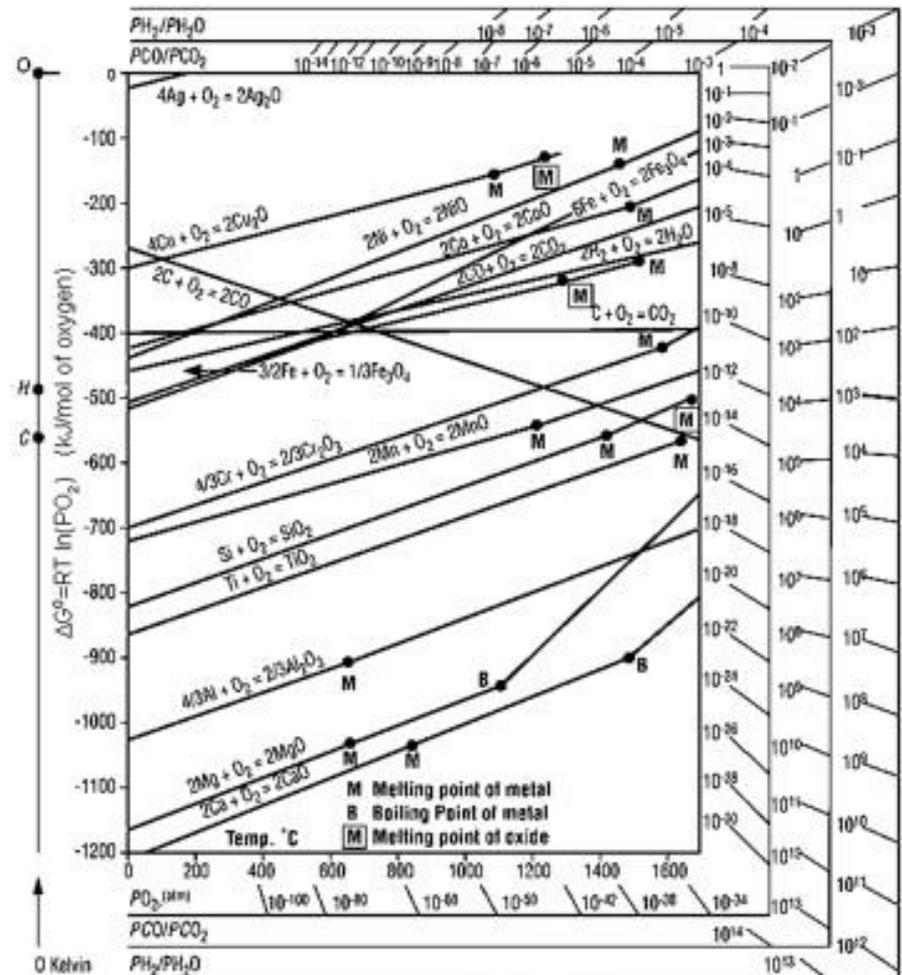


Se $\Delta G_1 > \Delta G_2 \Rightarrow R_{x'}O_{y'}$ é mais estável que M_xO_y e R é redutor de M_xO_y

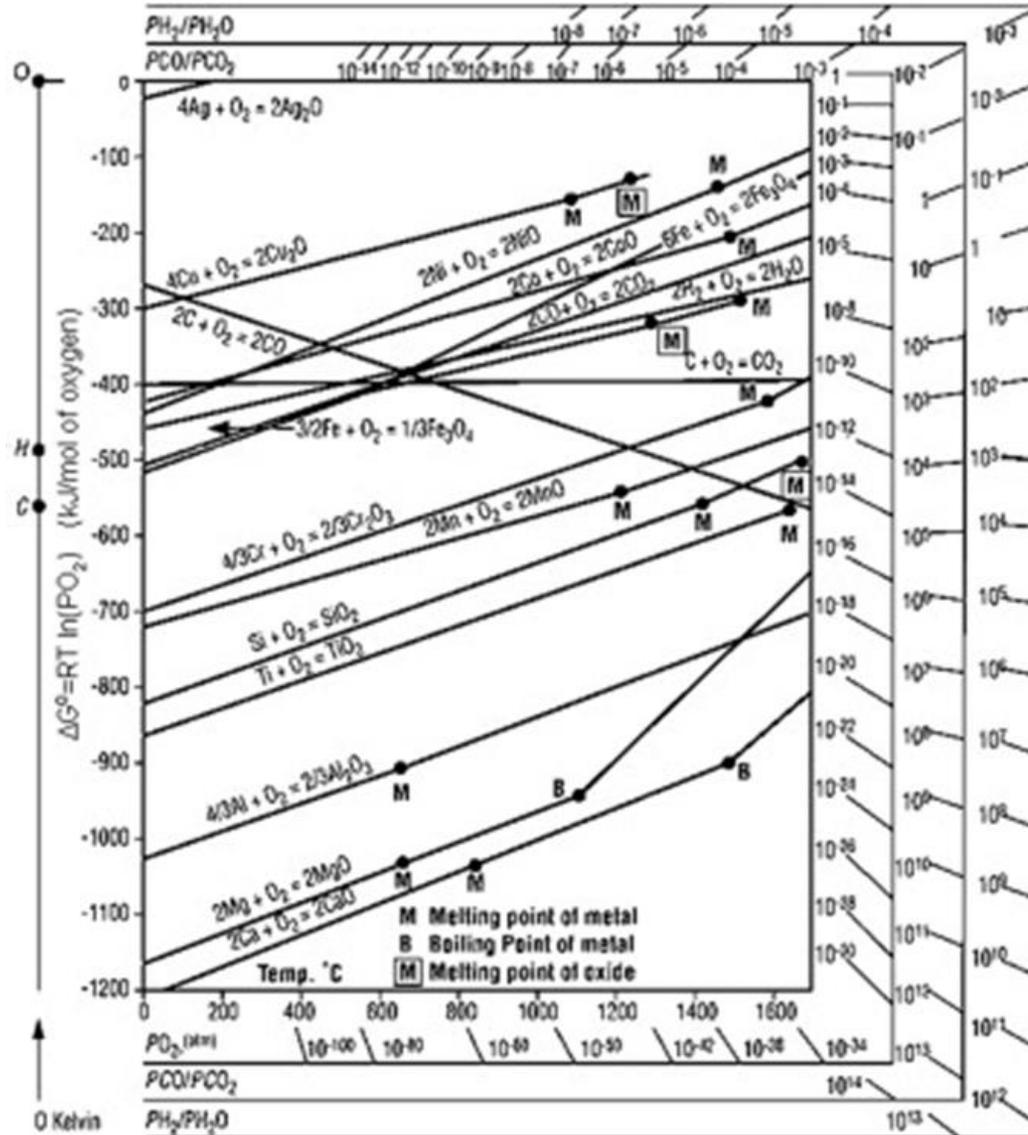
TERMODINÂMICA DA REDUÇÃO

- Graficamente: Diagrama de Ellingham

- Equilíbrio
- $p_{O_2} = 1 \text{ atm}$

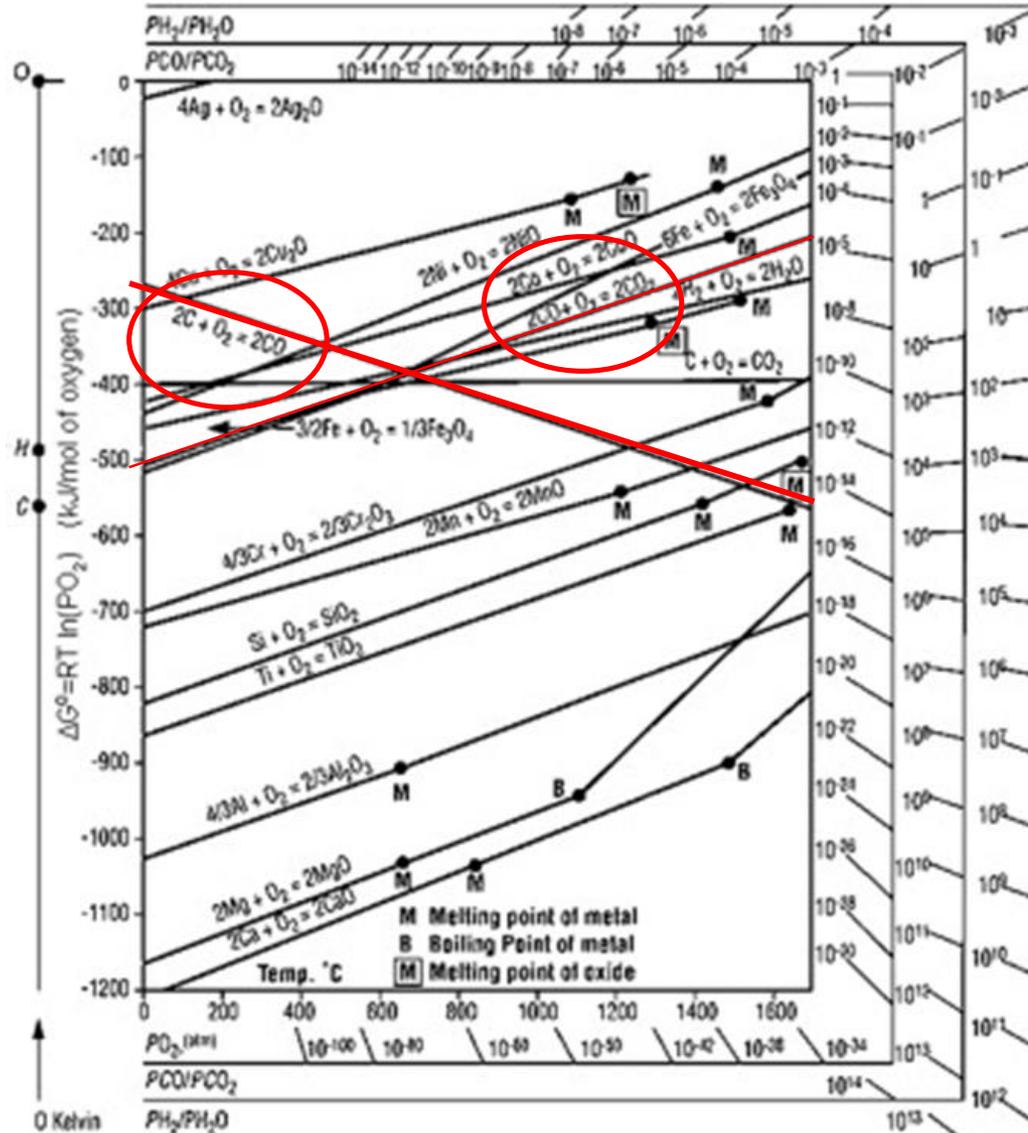


TERMODINÂMICA DA REDUÇÃO



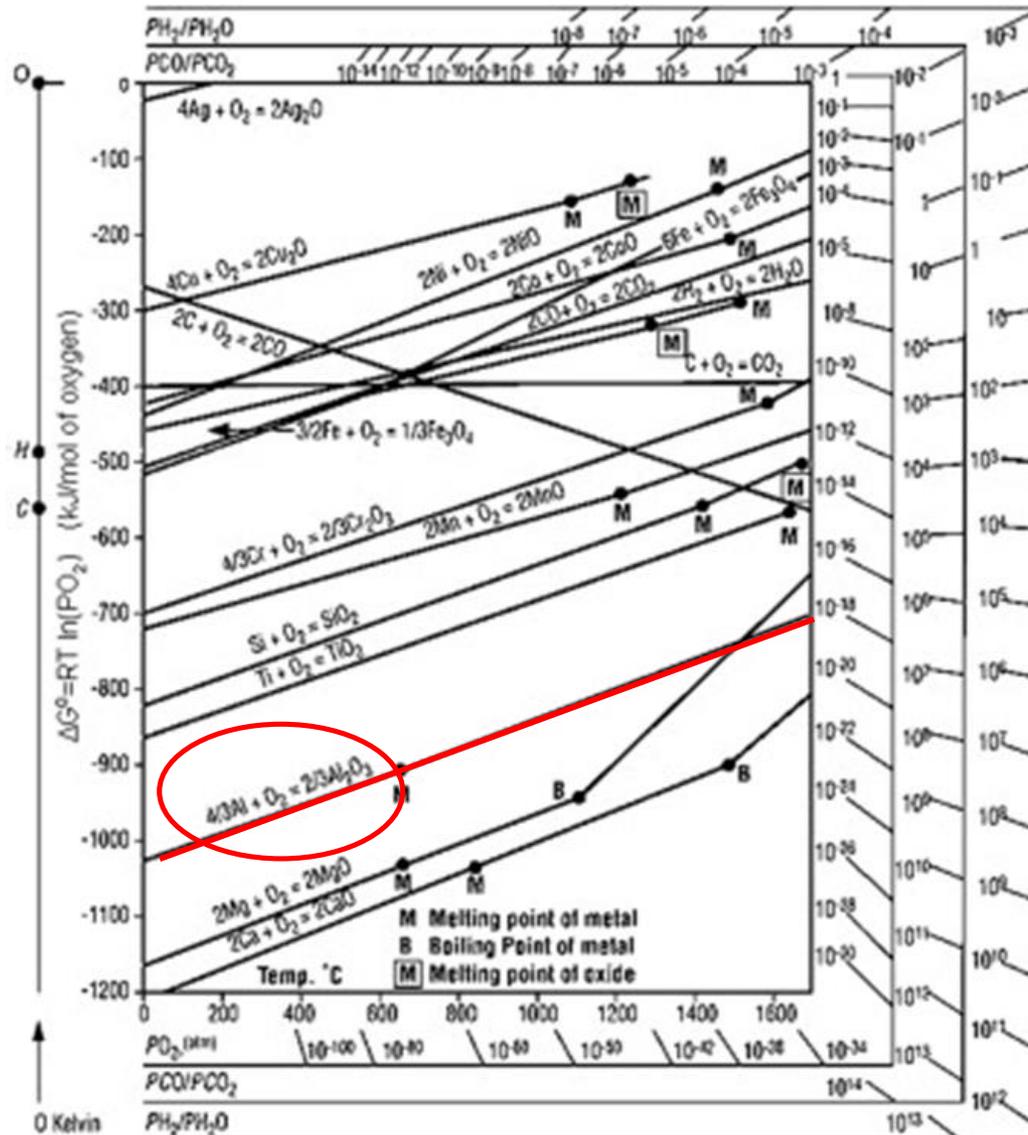
Estabilidade

TERMODINÂMICA DA REDUÇÃO



Estabilidade

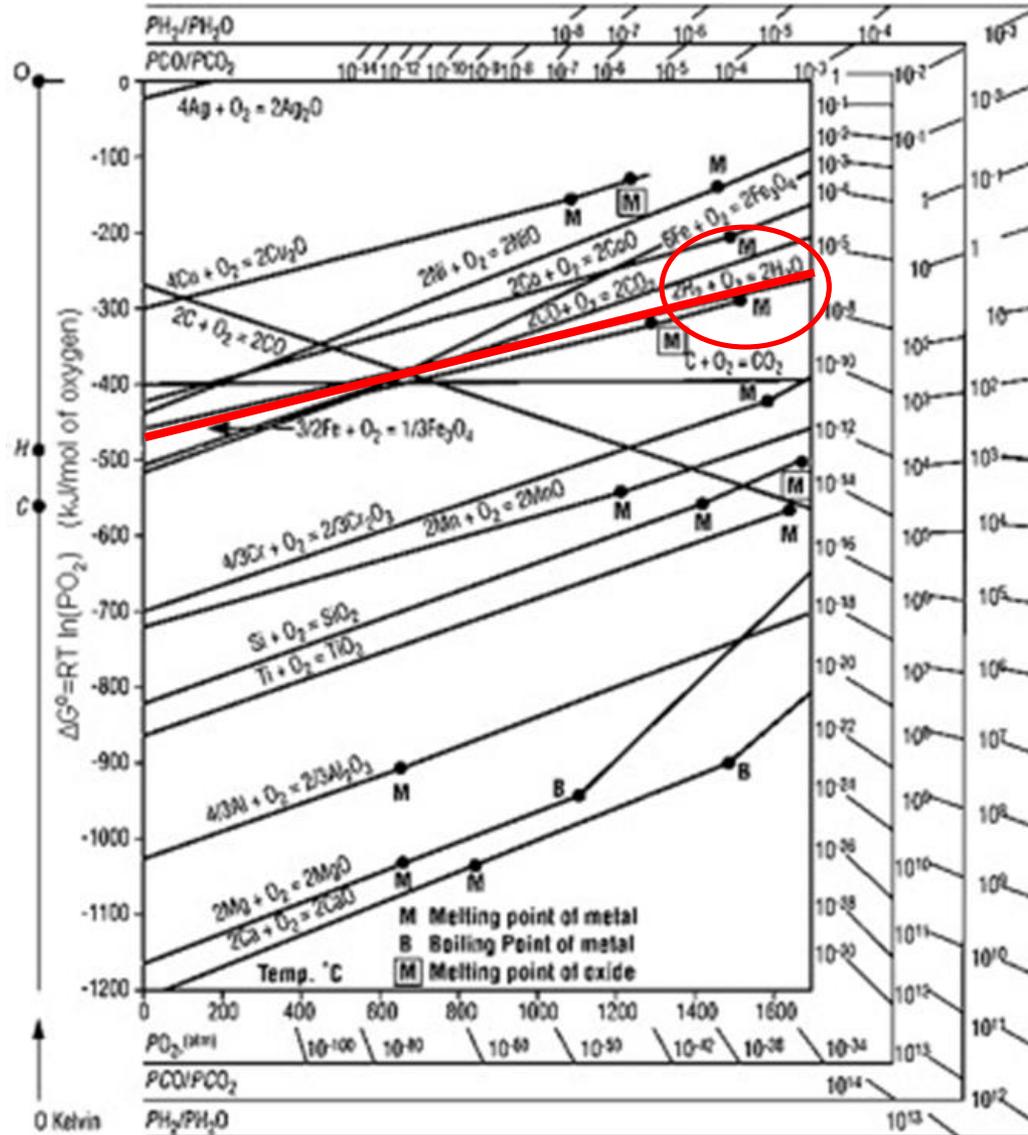
TERMODINÂMICA DA REDUÇÃO



Estabilidade

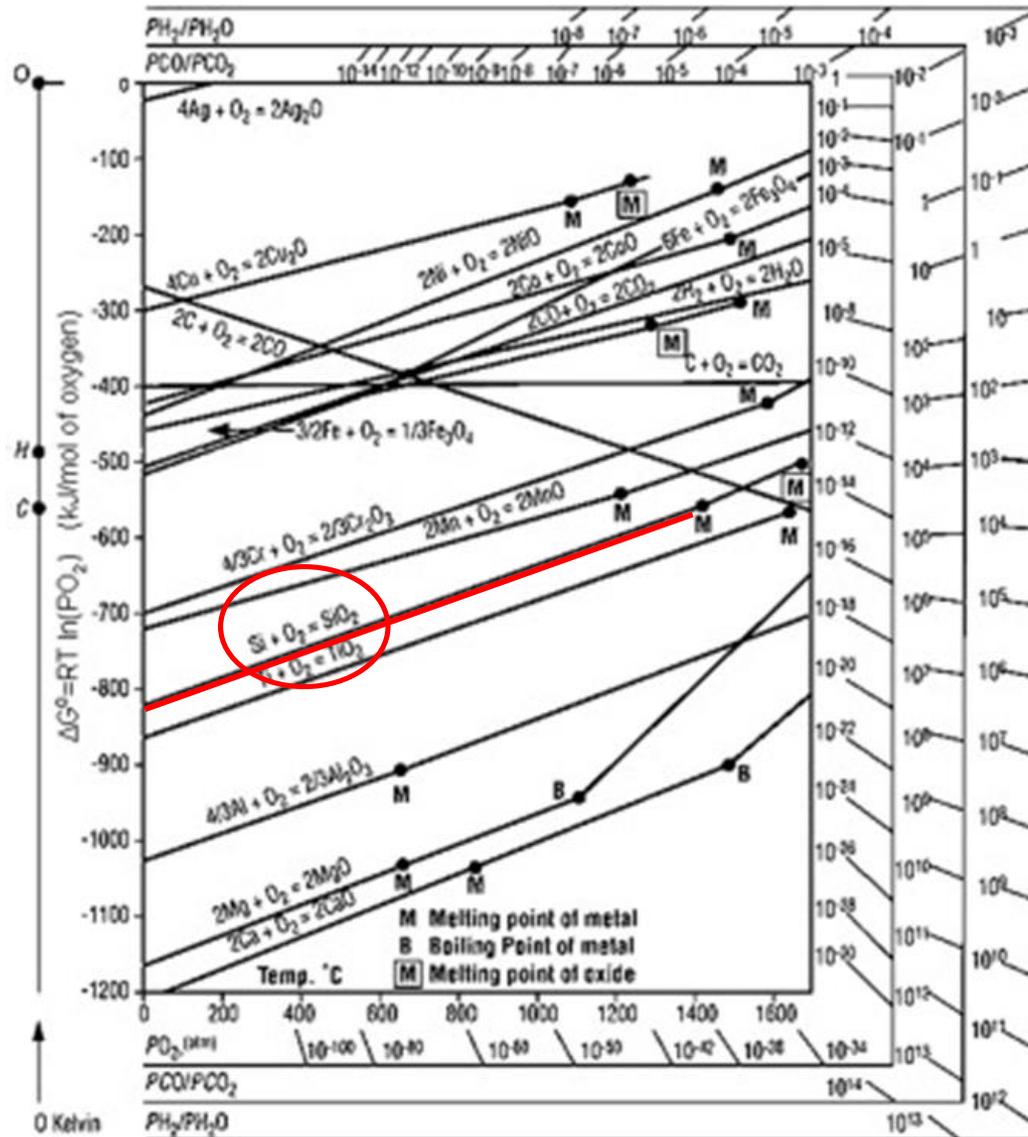


TERMODINÂMICA DA REDUÇÃO



Estabilidade

TERMODINÂMICA DA REDUÇÃO



Estabilidade

TERMODINÂMICA DA REDUÇÃO

- Outras condições:

$$x'/y'R + 1/yM_xO_y = x/yM + 1/yR_{x'}O_{y'}$$

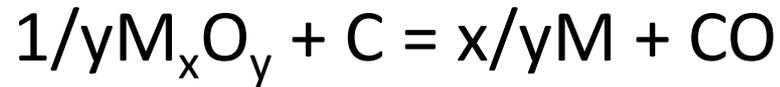
- A redução é facilitada:
 - Se as atividades de M e de $R_{x'}O_{y'}$ forem inferiores a 1
 - Com a diminuição da pressão se M e $R_{x'}O_{y'}$ forem gasosos
- A redução é dificultada:
 - Se as atividades de R e M_xO_y forem inferiores a 1

REDUÇÃO COM C

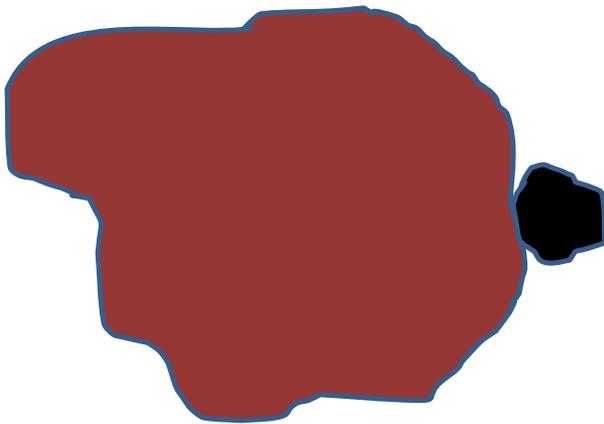
- Definição: redução de óxidos por um produto carbonoso – redução carbotérmica
 - Carvão
 - Coque
 - Grafite
 - Gás natural
 - Resíduos (pneus, madeira,...)
 - outros

REDUÇÃO COM C

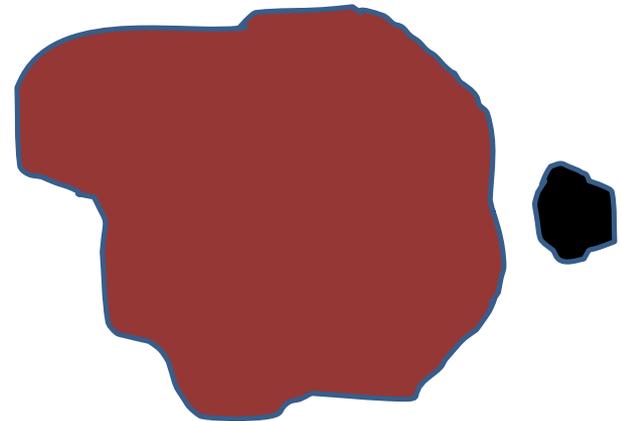
- Carbono



- É considerado o redutor universal ($\Delta S > 0$)
- Perde o contato físico: reação cessaria



t=0



t > 0

REDUÇÃO COM C



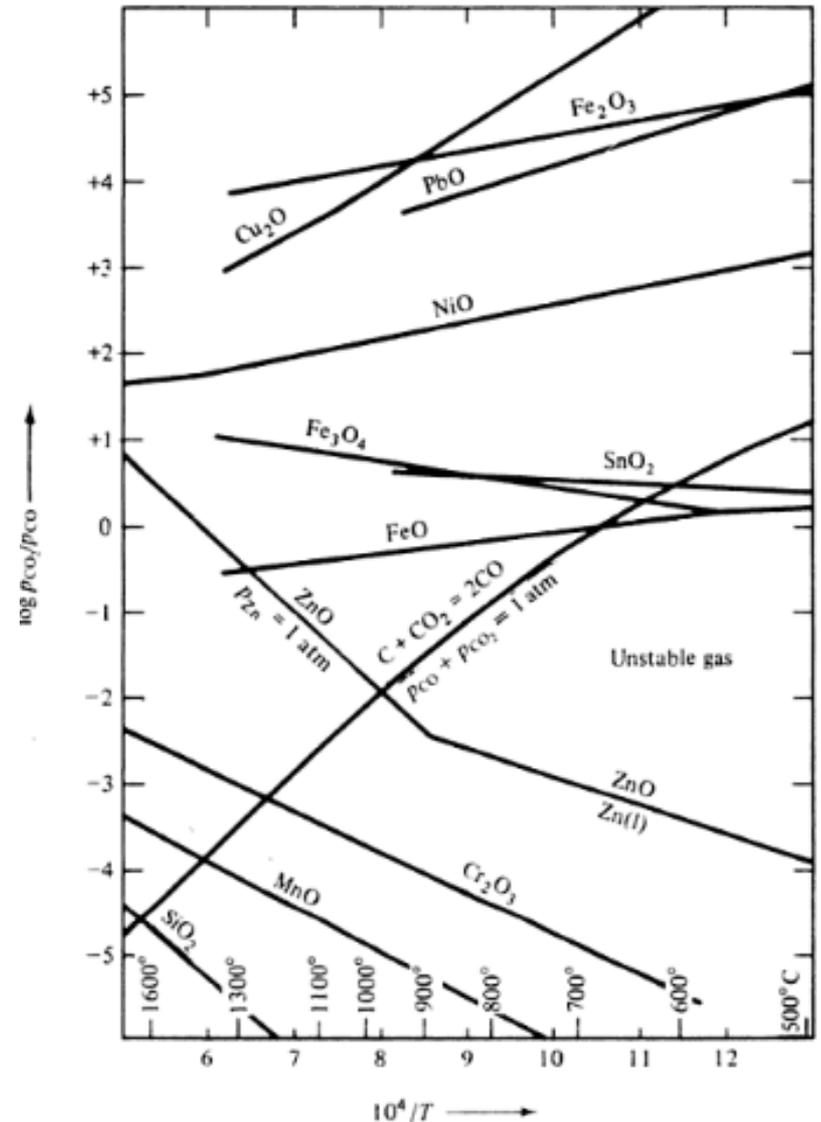
- Para que a reação de redução tenha continuidade: reação de Boudouard deve ocorrer:



- A continuidade da redução dependerá da relação CO/CO₂ da reação de Boudouard
- Conclusão: reação prossegue através de intermediários gasosos

REDUÇÃO COM C

- Quanto menos estável o óxido
 - Menor a temperatura
 - Menor a relação CO/CO_2
- A diluição no minério afeta as condições de redução



REDUÇÃO COM C

