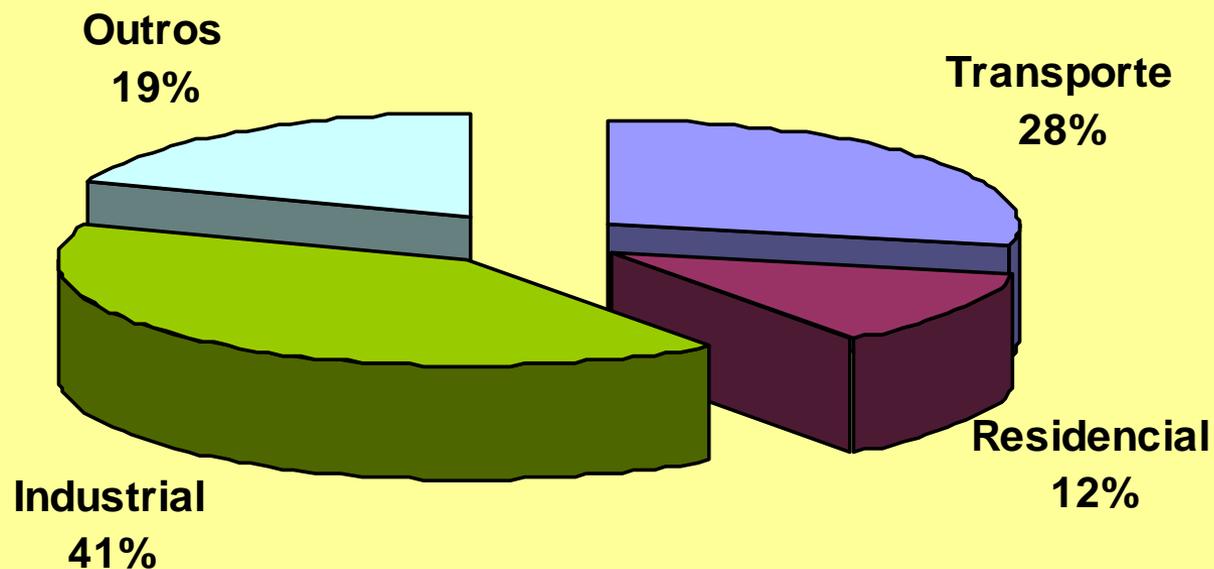


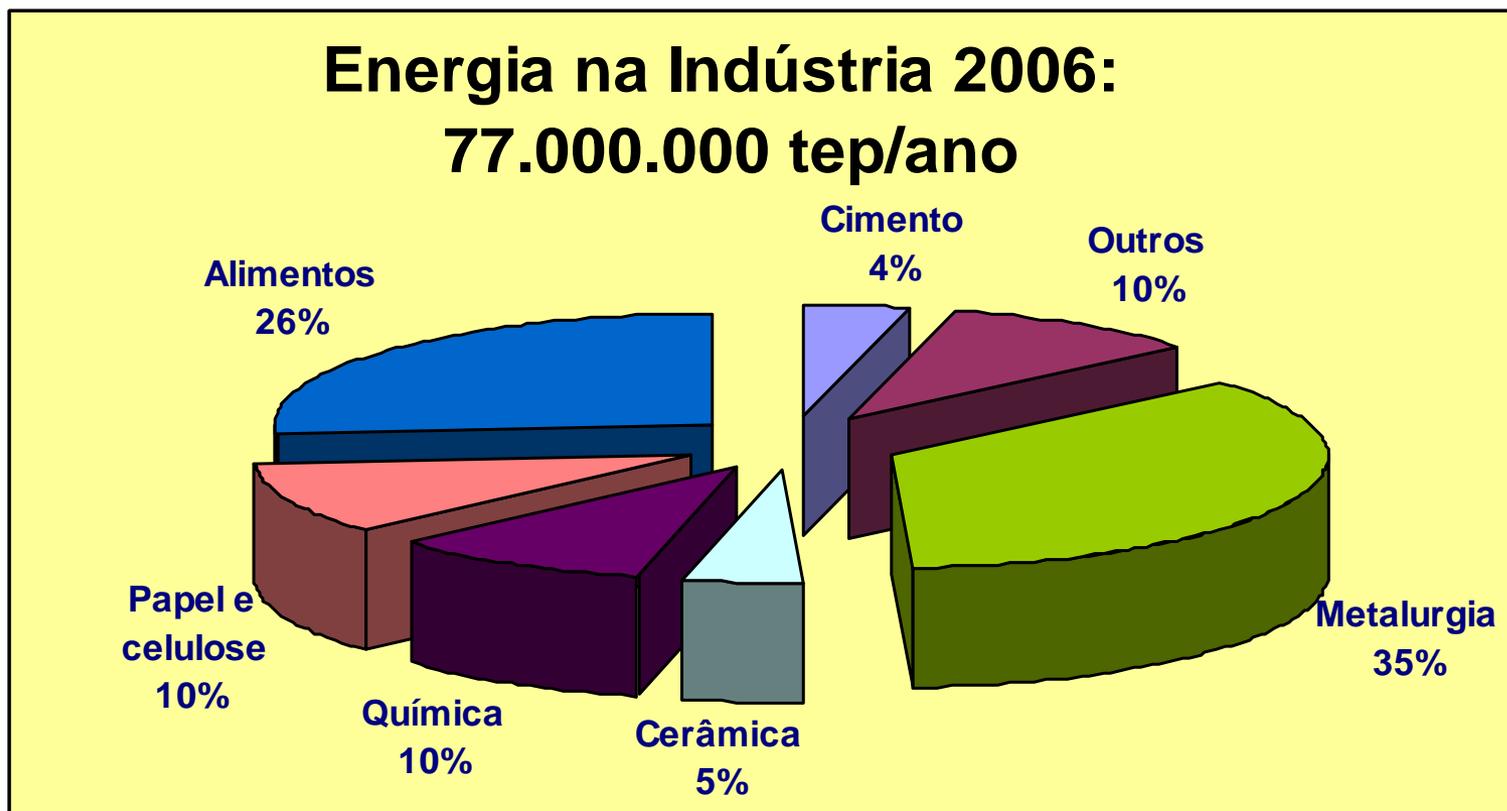
Energia para metalurgia

Consumo energético brasileiro

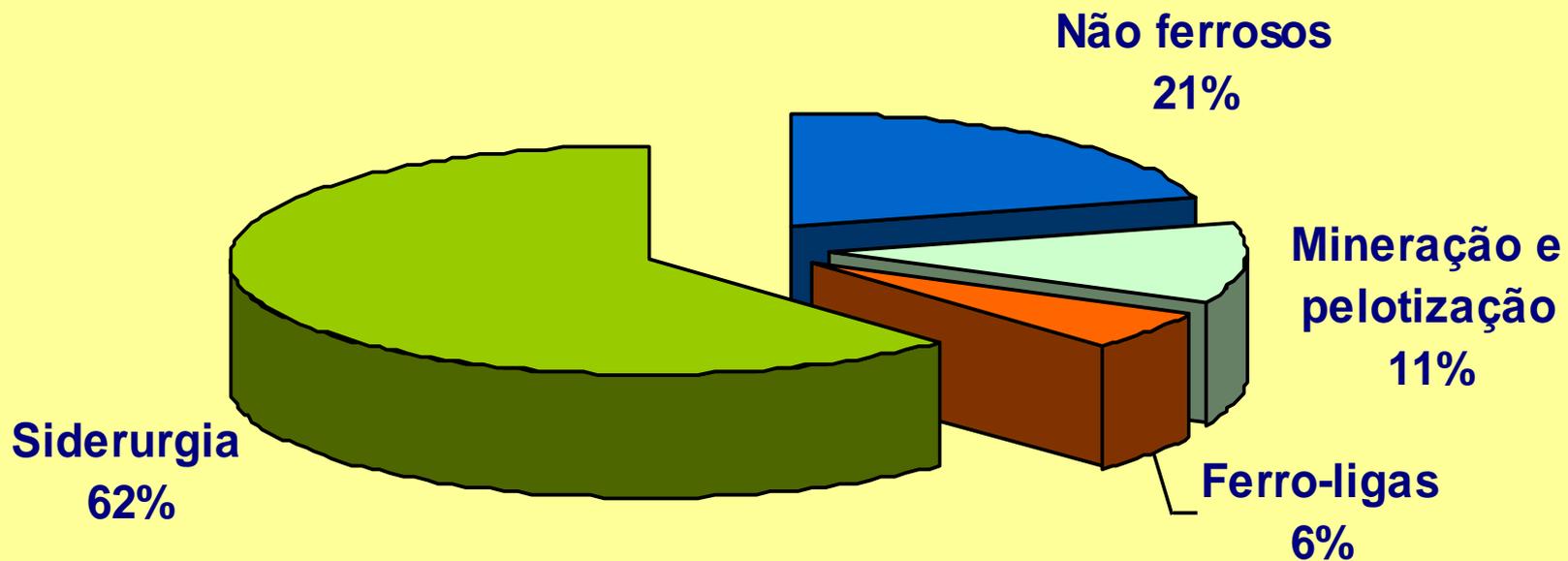
**Consumo Energético Brasileiro 2006:
190.000.000 tep/ano**



Metalurgia 35% da indústria e 14,7 % do total



Consumo na Metalurgia em 2008: 27.000.000 tep/ano



PANORAMA DO SETOR METALÚRGICO



I

1. PIB DA METALURGIA, DA INDÚSTRIA E DO BRASIL

GDP OF THE METALLURGICAL SECTOR, INDUSTRY AND BRAZIL

Unid: 10⁹ US\$ (2008)

	1970	1975	1980	1985	1990	1995	2000	2006	2007	2008
PIB da METALURGIA	9,9	15,7	23,6	20,8	21,2	24,3	20,0	38,4	41,1	41,0
PIB da INDÚSTRIA	109,2	184,9	262,1	258,5	279,2	301,6	291,3	431,0	454,7	480,1
PIB do BRASIL	285,3	460,9	652,8	695,5	758,7	912,4	1,051	1,421	1,499	1,576
Metalurgia (% da Indústria)	9,1	8,5	9,0	8,0	7,6	8,1	6,9	8,9	9,0	8,5
Metalurgia (% do Brasil)	3,5	3,4	3,6	3,0	2,8	2,7	1,9	2,7	2,7	2,6

Fontes / Sources : Balanço Energético Nacional-BEN / EPE - MME; IPEAData.

Notas / Notes :

- Metalurgia = Ferro-gusa e aço + Ferroligas + Não-Ferrosos / *Metallurgy = Pig iron and Steel + Ferroalloys + Nonferrous Metals.*
- A Siderurgia participa com ~ 50% do PIB da Metalurgia / *Siderurgy's contribution to metallurgical GDP is ~ 50%.*

COMBUSTÍVEIS E REDUTORES

Combustíveis e redutores usados em metalurgia são as matérias primas responsáveis pelo fornecimento de energia, e pela redução dos minérios oxidados a metal

A origem destas matéria primas é matéria orgânica, e são portanto formados basicamente por carbono e hidrogênio, podendo conter ainda oxigênio, nitrogênio, enxôfre e substâncias inorgânicas.

COMBUSTÍVEIS E REDUTORES

SÓLIDOS	NATURAIS carvão fóssil biomassa madeira	ARTIFICIAIS carvão vegetal coque coque de petróleo
LÍQUIDOS	petróleo	óleos em geral metanol etanol
GASOSOS	gás natural	gás de coqueria gás de alto-forno gases manufacturados

Poder calorífico

Calor de combustão gerado pela queima de quantidade determinada do combustível.

Poder calorífico superior (PCS) é determinado em calorímetros; poder calorífico inferior (PCI) é o máximo calor que se pode aproveitar no processo industrial (desconta-se calor de condensação da água)

Para combustíveis sólidos e líquidos, vale a fórmula de Dulong:

$$\text{PCI} = 338 C + 1423 (H - O/8) + 92 S - 24,4 (9H + M) \quad [\text{kJ/kg}]$$

C, H, O, S, e M: porcentagem em peso de carbono, hidrogênio, oxigênio, enxofre e umidade no combustível. Eliminando-se o último termo, obtém-se o PCS.

Combustíveis gasosos, PCI pode ser calculado por uma soma ponderada dos calores de reação com o oxigênio das diversas espécies gasosas presentes.

VALORES CALORÍFEROS DOS COMBUSTÍVEIS

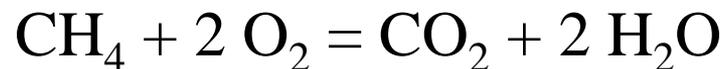
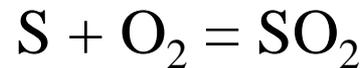
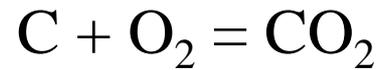
COMBUSTÍVEIS SÓLIDOS	CALORIAS POR QUILOGRAMA	COMBUSTÍVEIS QUÍMICOS	CALORIAS POR QUILOGRAMA
Carbão, Grafita	7.839,80	Alumínio	7.404,20
Carvão Antracito	7.064,90	Berílio	16.221,40
Carvão Betuminoso	5.229,10 – 8.2888,70	Boro	13.974
Carvão Vegetal	7.231,78	Diborano	17.461,90
Coque	7.009,20	Hidrogênio	28.707,40
Linhita	3.894,00	Lítio	10.269,10
Madeira (Seca ao Ar)	3.838,40	Hidreto de Lítio	9.885,20
Turfa (Seca ao Ar)	3.894,00	Magnésio	5.918,90
		Pentaborano	16.215,80
		Silano	9.545,90
		Silício	7.320,70
		Titânio	4.556

COMBUSTÍVEIS LÍQUIDOS	CALORIAS POR QUILOGRAMA	COMBUSTÍVEIS QUÍMICOS	CALORIAS POR METRO CÚBICO
Álcool Desnaturado	6.452,90	Acetileno	
Álcool Etílico	7.321,30	Butano	13.240,40
Álcool Metílico	5.706,90	Butileno	30.182,42
Gasolina	11.904,60	Etano	28.385
Óleo Cru	10.825,40	Etileno	15.918,73
Óleo Diesel	10.875,40	Gases Manufaturados	14.361,56
Óleos Combustíveis	10.191,20 – 10.931,10	Gás de Água	
Querosene	11.020,10	Gás de Água Carbonado	2.580,45
Hidrocarbonetos Líquidos (Puros)		Gás de Carvão	4.804,98
Benzeno	10.607,30	Gás de Óleo	4.893,96 – 5.116,41
Decano	11.394,50	Gás de Gasogênio	4.893,96 – 8.542,41
Hexano	11.554,70	Gás Natural	1.201,24 – 1.557,17
Octano	11.454,50	Metano	8.631,17 – 10.677,74
Tolueno	10.868,20	Monóxido de Carbono	9.031,59
Xilênio	10.374,80	Pentano	2.865,19
		Propano	37.372,10
		Propileno	22.894,86
			21.204,21

Temperatura teórica de chama

Máxima temperatura que pode ser atingida pelos produtos de combustão quando todo o calor gerado na queima e todo calor sensível dos reagentes é usado para aquecer estes produtos

Principais reações de combustão



Temperatura teórica de chama

calor gerado +

calor sensível do ar +

calor sensível do combustível =

quantidade de produtos de combustão x

calor específico dos produtos x

diferença de temperatura

$$Q = \int_{T_0}^{T_{TC}} \sum_i (n_i C_{p_i}) dT$$

$$Q = nC_p(T_{TC} - T_0)$$

Análise elementar

Fornece a composição química do combustível/redutor em termos dos elementos constituintes, isto é, a porcentagem de carbono, hidrogênio, etc. Para gases, a análise deve fornecer a composição em termos das espécies gasosas presentes (p. ex. , CO, H₂, N₂, etc)

Relação atômica hidrogênio/carbono

É a relação entre o número de mols de hidrogênio e carbono no material.

Tem-se que

para carvões, $n_{\text{H}}/n_{\text{C}} < 1$

para óleos, $2 < n_{\text{H}}/n_{\text{C}} < 3$

para gás natural (metano), $n_{\text{H}}/n_{\text{C}} = 4$

Análise Imediata

Carvão fóssil ou vegetal >> macromoléculas orgânicas, massa molecular alta. Contêm matéria inorgânica, (óxidos de Si, Ca, Mg, Al, Fe, Mn, etc) e silicatos, e umidade.

Quando aquecido, libera *umidade*, e a altas temperaturas as macromoléculas craqueam e são liberadas na forma de *voláteis*, causando o enriquecimento em carbono.

O resíduo da queima é constituído pelos inorgânicos presentes (a *cinza*)

Carbono fixo é aquele que não é eliminado no aquecimento na ausência de ar. Calcula-se por diferença, subtraindo da massa inicial a umidade, os voláteis e a cinza.

Carbono fixo, matéria volátil, cinzas e umidade constituem a *análise imediata*.

Análise imediata de carvões e coques

Carbono fixo

Matéria volátil

Cinzas

Umidade

Matéria volátil: hidrocarbonetos e outros gases eliminados na destilação

Cinzas: resíduo após queima, formado por óxidos e silicatos

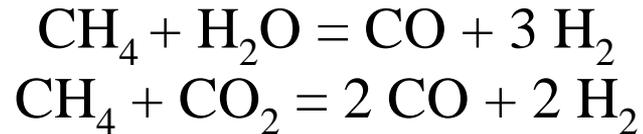
Umidade: eliminada no aquecimento

Carbono fixo: Massa inicial menos umidade, matéria volátil e cinzas

Gás natural

- necessário reformar o CH_4 a $\text{CO} + \text{H}_2$
- -distribuição geográfica desigual; gasodutos;
preço - muitas aplicações mais nobres
- é o que causa menos problemas ambientais

Reforma de gás natural

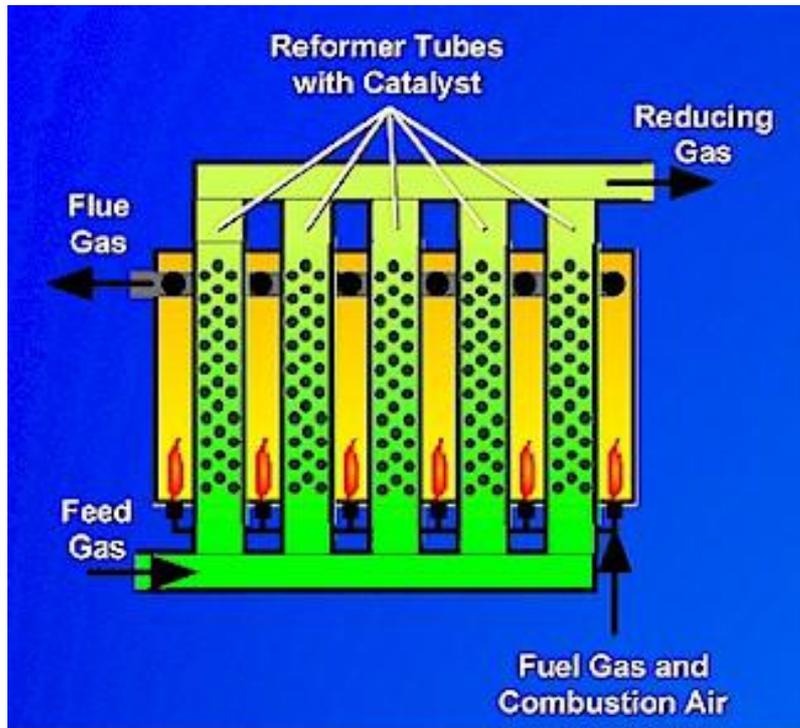


Temperatura 1000°C

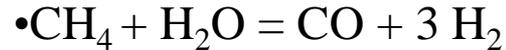
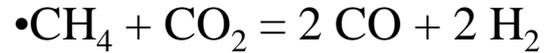
Catalisadores de níquel

Importante ter enxofre baixo

Reforma de gás natural



•gás natural reage com CO_2 e H_2O através das reações:

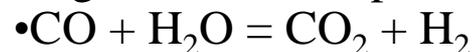


•reações endotérmicas (favorecidas a altas temperaturas)

•realizadas entre 950°C e 1000°C com catalisadores de níquel

•Em redução direta, os produto da redução contém CO_2 e H_2O , podem ser recirculados e usados nas reações de reforma.

•proporção entre CO e H_2 no gás reformado é controlada pela proporção de CO_2 e H_2O no gás reagente, limitada por :



Carvão vegetal

- baixa densidade
- alta reatividade
- qualidade (teor de cinzas, resistência, teor de matéria volátil)
variável de acordo com o método de produção
- sem enxofre
- cinza básica ($\% \text{CaO} > \% \text{SiO}_2$)
- problemas ambientais/sociais



Coque

- alta densidade
- baixa reatividade
- qualidade estável
- boa resistência
- baixo teor de voláteis
 - até 1 % de S
 - cinza ácida
- necessita carvão fóssil coqueificável (importado, mercado oscilante)
- problemas ambientais

RESERVAS: ~1 TRILHÃO t; 5% C metalúrgico
PRODUÇÃO MUNDIAL DE CARVÃO

PAÍSES	PRODUÇÃO EM MILHOES DE TON	% MUNDIAL
China	1.635	30,2
USA	1.072	19,8
Índia	403	7,5
Austrália	373	6,9
Rússia	294	5,4
África do Sul	264	4,9
Alemanha	229	4,2
Polônia	178	3,3
Indonésia	132	2,4
Outros	828	15,3
TOTAL	5.408	100,0

Carvão Brasileiro:

Alto teor de cinza

Alto teor de enxofre

Alto teor de álcalis

Alto custo de extração

Baixo rendimento em carvão

IMPORTAÇÃO :

**USA, CANADÁ, AUSTRÁLIA, AFRICA DO SUL,
CHINA, VENEZUELA**

Os carvões

Estágio	Umidade	Carbono (d. a. f.)	Hidrogênio (d. a. f.)	Oxigênio (d. a. f.)	Matérias Voláteis (d. a. f.)
Madeira	20	50	6	42,5	75
Turfa	90	60	5,5	32,3	65
Carvão Marron	60 a 40	60 a 70	5	>25	>50
Linhita	40 a 20	65 a 75	5	16 a 25	40 a 50
Sub-betuminoso	20 a 10	75 a 80	4.5 a 5.5	12 a 21	40 a 45
Betuminoso	10	75 a 90	4.5 a 5.5	5 a 20	18 a 40
Semi-betuminoso	∠ 5	90 a 92	4.0 a 4.5	4 a 5	5 a 20
Antracito	∠ 5	92 a 94	3.0 a 4.0	3 a 4	15

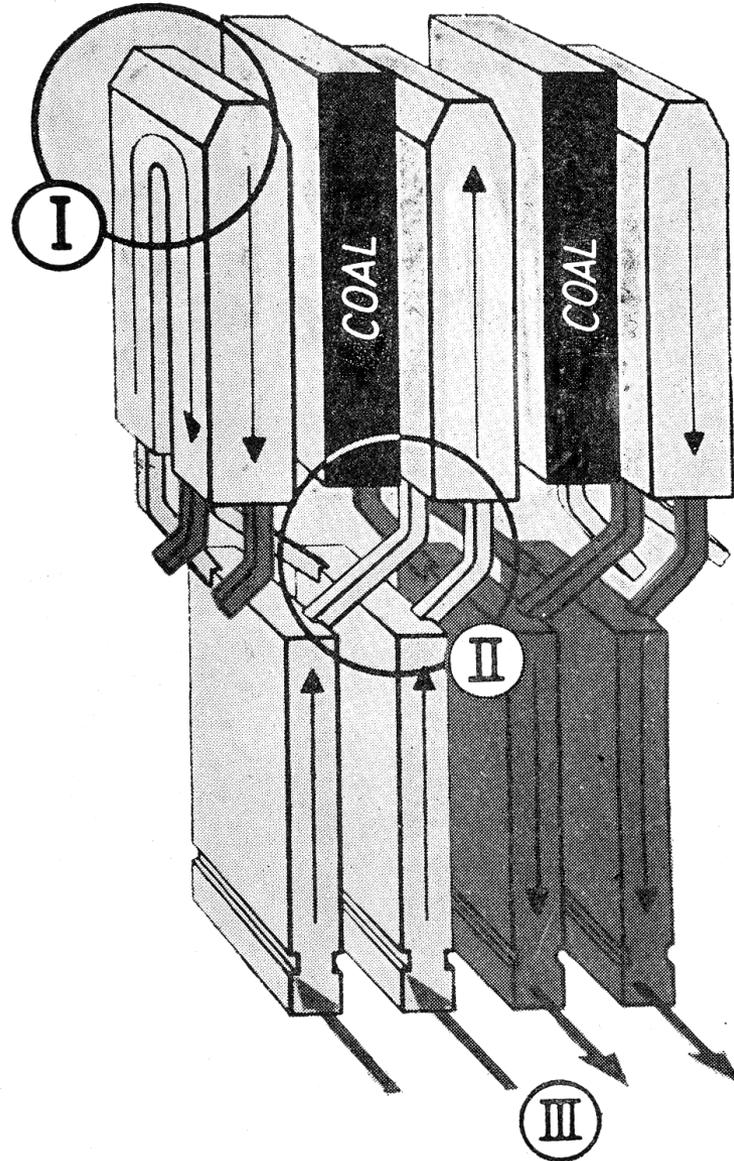
Pátio de Carvão



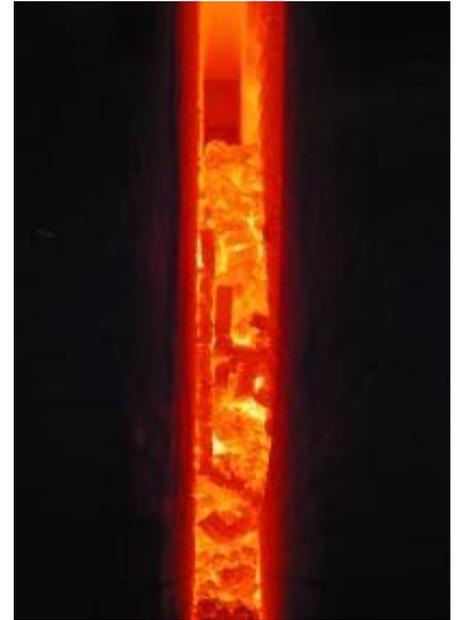
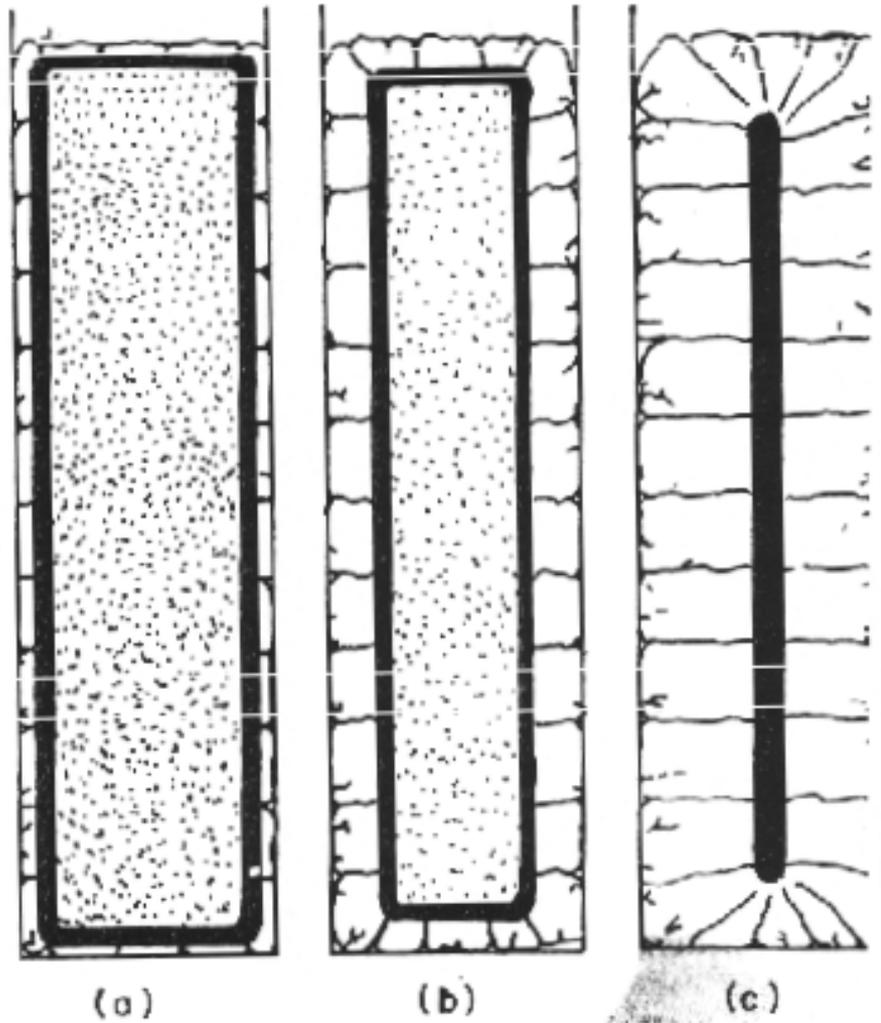
Coqueificação

- Distilação de carvões fósseis coqueificáveis, isto é, que ficam fluidos no aquecimento e ressolidificam após eliminação de voláteis
- Aquecimento na ausência de ar acima de 1000°C
- Eliminação de matéria volátil, aumento do carbono fixo, aumento de resistência mecânica

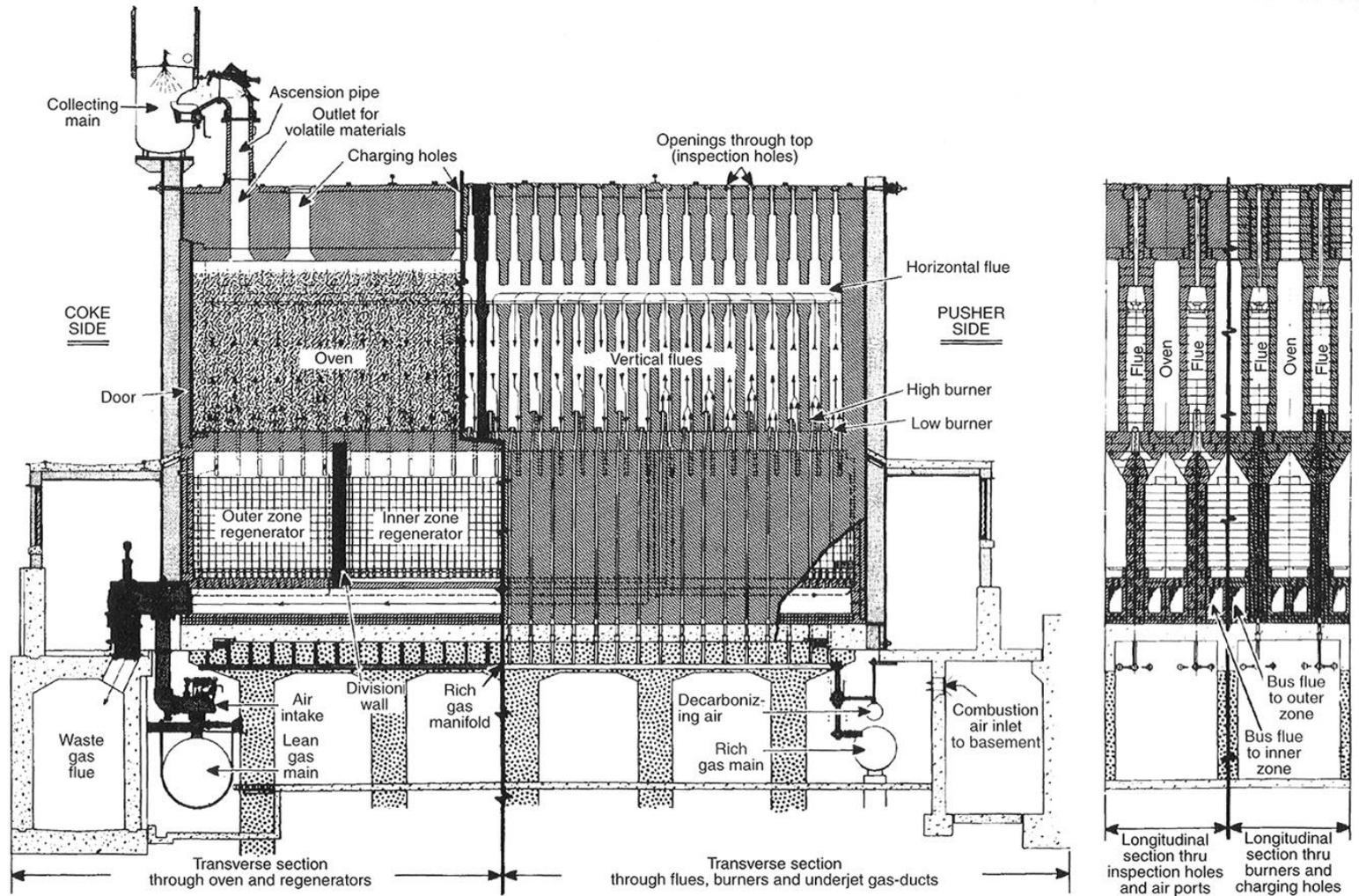
Coqueificação



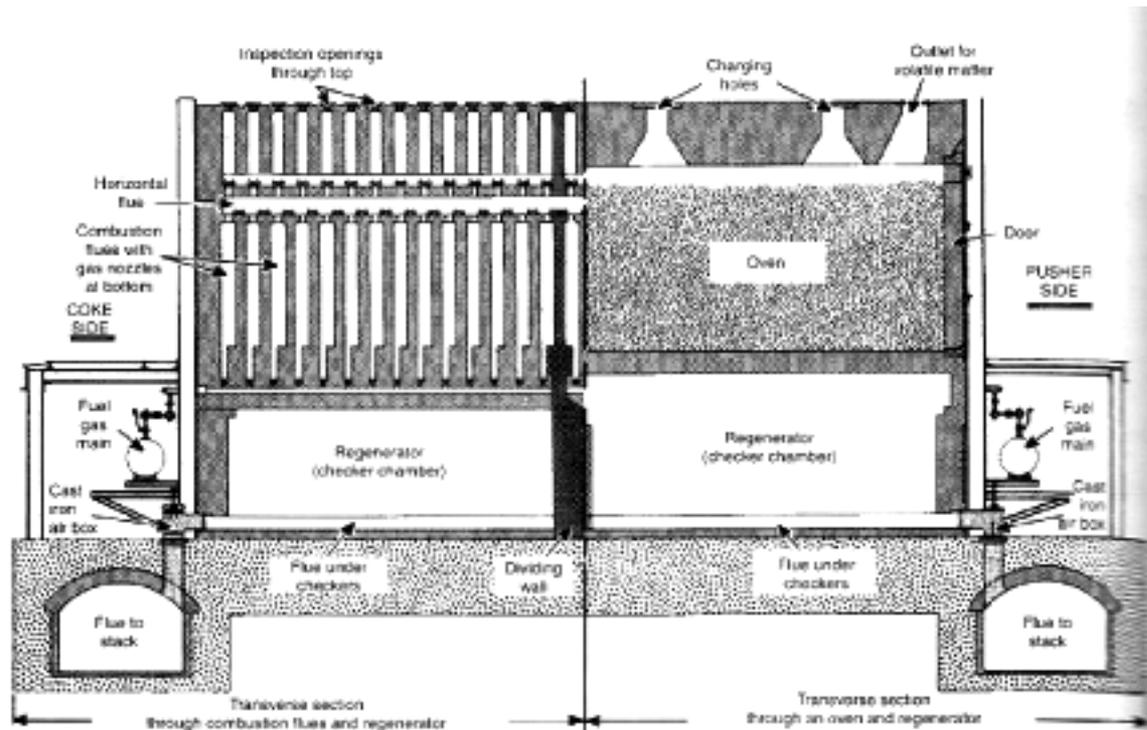
Evolução da coqueificação



Forno de coqueificação

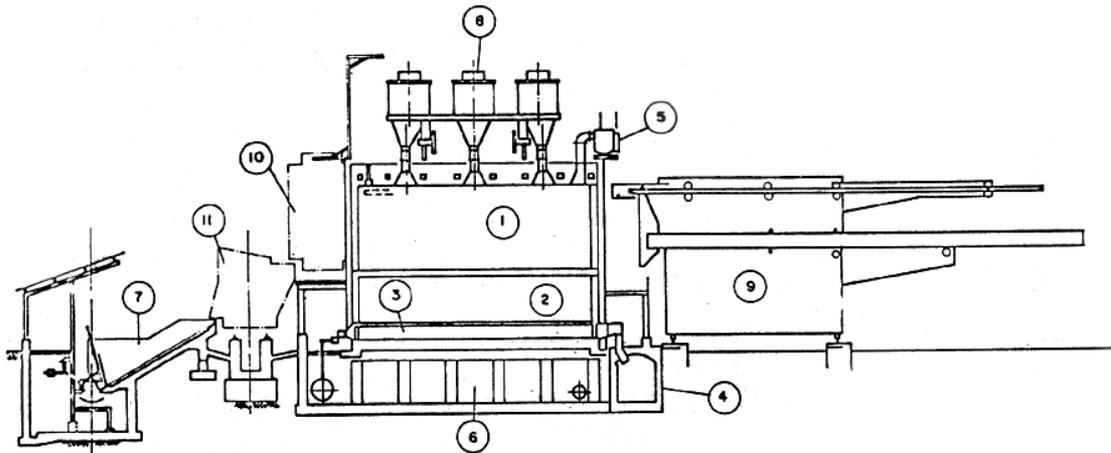


Corte do forno de coqueificação



Transverse sections of Koppers regenerative single-divided by-product coke oven battery. Section at left is through combustion chambers (flues), that at right is through oven chamber.

Esquema forno de coqueificação



LEGENDA

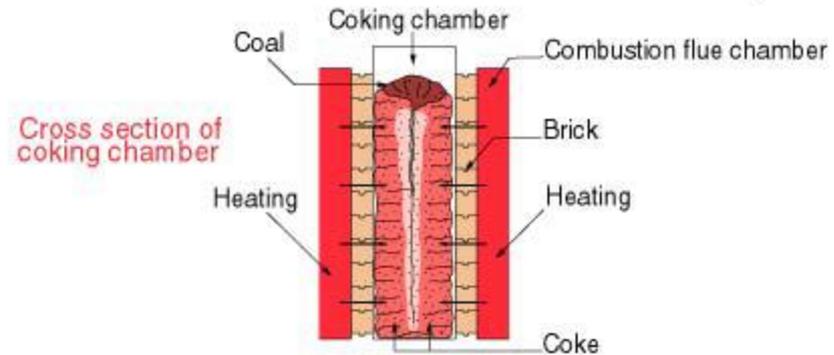
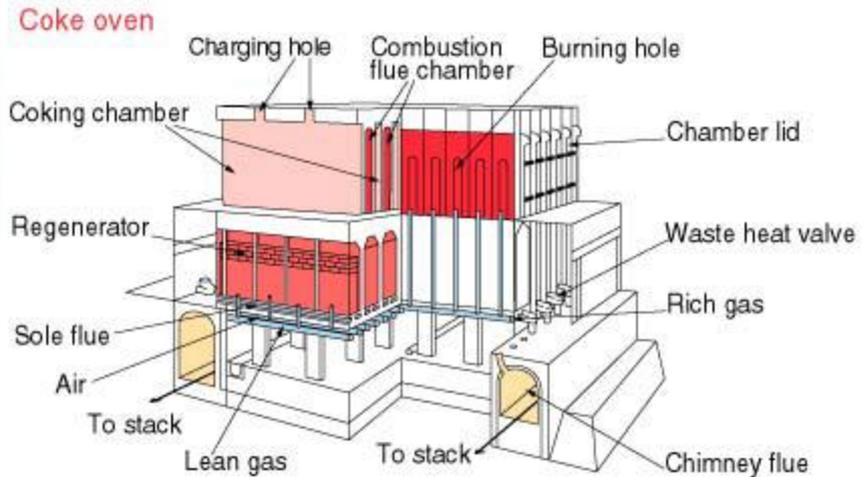
- | | | | | | |
|---|-----------------|---|----------------|----|---------------------|
| 1 | FORNO | 5 | COLETOR DE GÁS | 9 | DESENFORNADORA |
| 2 | REGENERADOR | 6 | SUBSOLO | 10 | CARRO GUIA DE COQUE |
| 3 | SOLE FLUE | 7 | RAMPA DE COQUE | 11 | CARRO DE APAGAMENTO |
| 4 | CANAL DE FUMAÇA | 8 | ENFORNADORA | | |

Coal and Coking

Coal	Anthracite (Non coking)
	Bituminous coal (Coking, For coke)
	Brown coal (Non coking)
	Peat (Non coking)

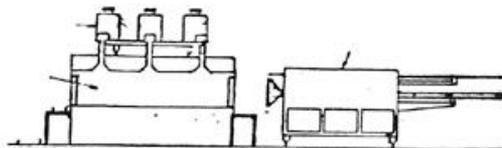
Coke quality	
Moisture	Dry quenching 0.1 ~ 0.2 %
	Wet quenching 2 ~ 5 %
Ash	11 ~ 12 %
Volatile matter	0.5 ~ 0.6 %
Mean dia.	50 mm

Composition of coke oven gas	
H ₂	46 ~ 52 %
CH ₄	27 ~ 35 %
CO	6 ~ 10 %
C _m H _n	3 ~ 4 %
CO ₂	2 ~ 3 %
N ₂	3 ~ 5 %

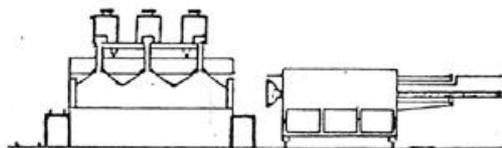


Coqueificação

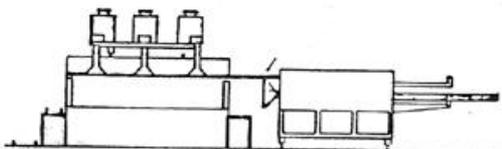
6.3



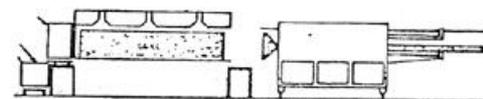
- a) A máquina enforadora, contendo determinada quantidade de carvão, está posicionada sobre as bocas de carregamento cujas tampas foram removidas. A desenforadora também se posicionará



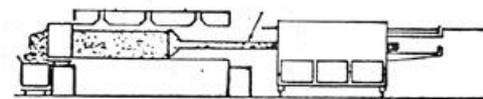
- b) O carvão da enforadora é então descarregado nos fornos, formando pilhas.



- c) A portinhola de nivelamento, localizada na parte superior da porta do lado da desenforadora, foi aberta e a barra niveladora em movimentos de vai-e-vem através do topo das pilhas de carvão nivelava-as. A barra a seguir é recolhida, a portinhola de nivelamento e as bocas de carregamento são fechadas e inicia-se o processo de coqueificação.



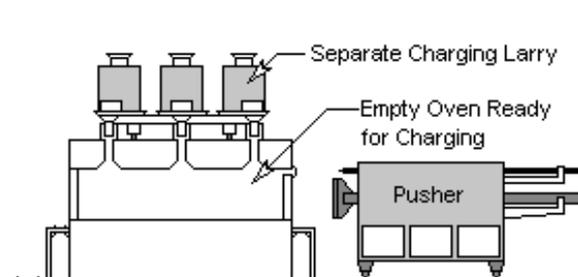
- d) A coqueificação do carvão é completada em cerca de 18 horas e o forno está pronto para ser descarregado. As portas são removidas e a desenforadora, o guia de coque e o carro de apagamento se posicionam.



- e) O êmbolo da desenforadora avança para empurrar o coque incandescente para fora do forno através do guia de coque e para dentro do carro de apagamento.

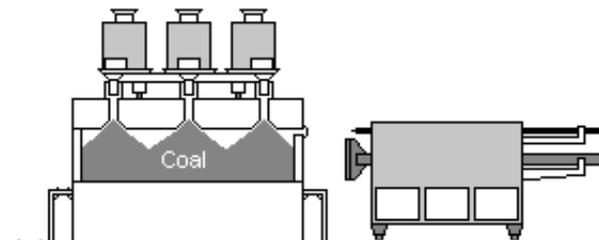
Fases de operação da bateria

Operação da coqueria



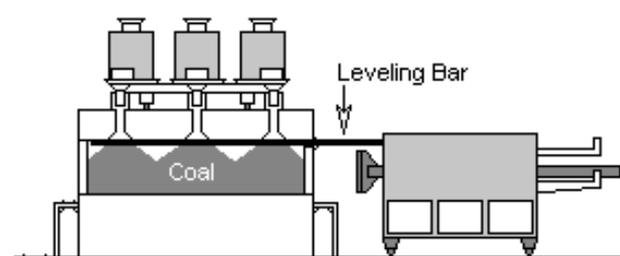
The charging lorry, with hoppers containing measured amounts of coal is in position over charging holes from which covers have been removed. The pusher has been moved into position.

First Step



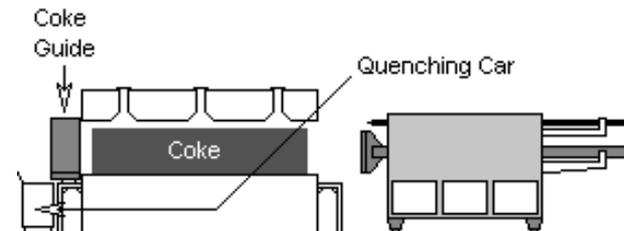
The coal from the lorry hoppers has dropped into the oven chamber, forming peaked piles.

Second Step



The leveling door at the top of the oven door on the pusher side has been opened, and the leveling bar on the pusher side has been moved back and forth across the peaked coal piles to level them. The bar next is withdrawn from the oven, the leveling door and charging holes are closed, and the coking operation begins.

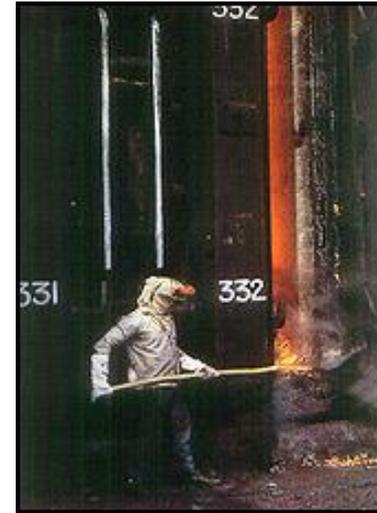
Third Step



Coking of the coal originally charged into the oven has been completed (in about 18 hours) and the oven is ready to be "pushed". The oven doors are removed from each end, and the pusher, coke guide and quenching car are moved into position.

Fourth Step

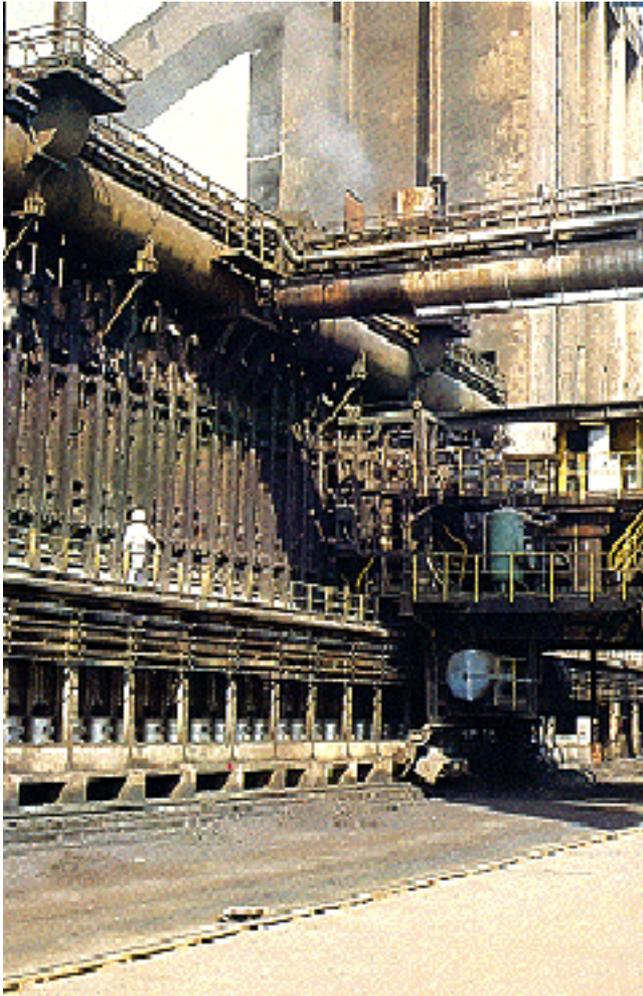
Coqueria



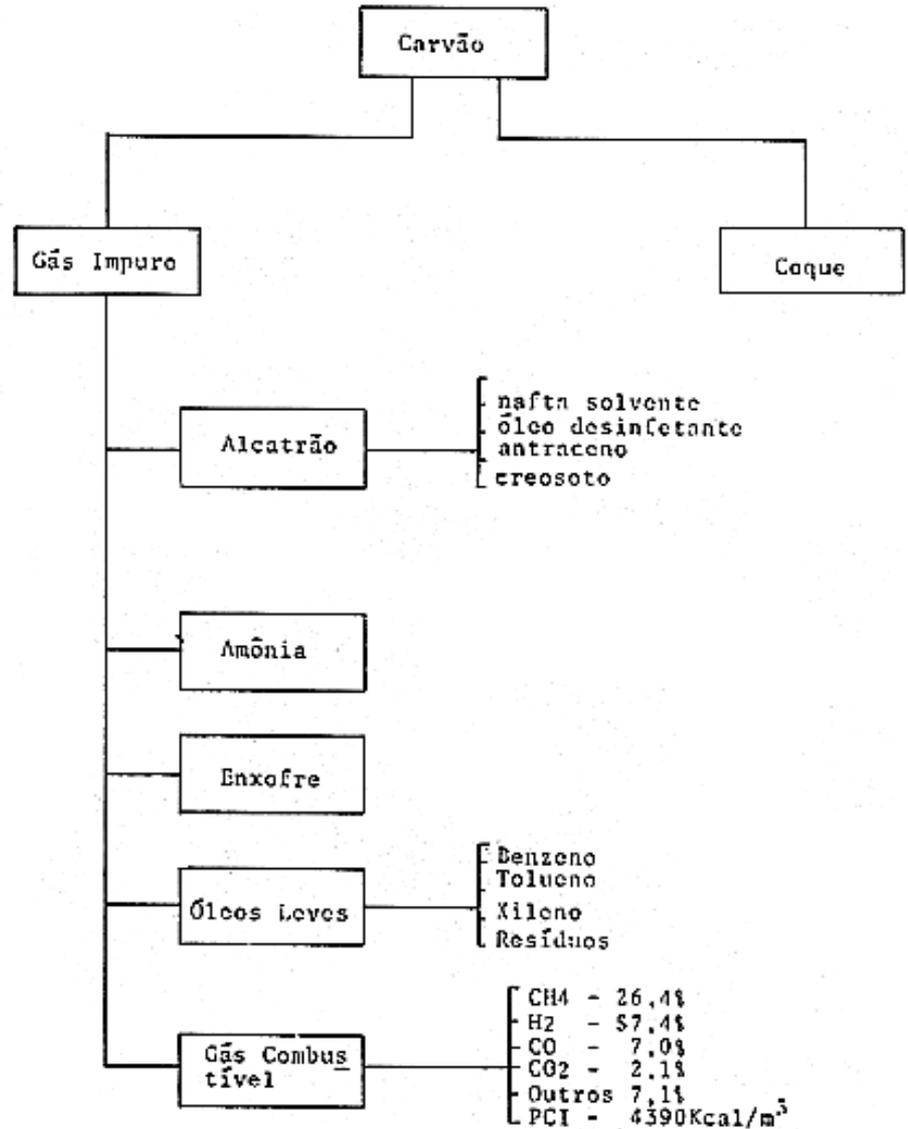
Bateria de Coque (Cosipa)



Coqueria

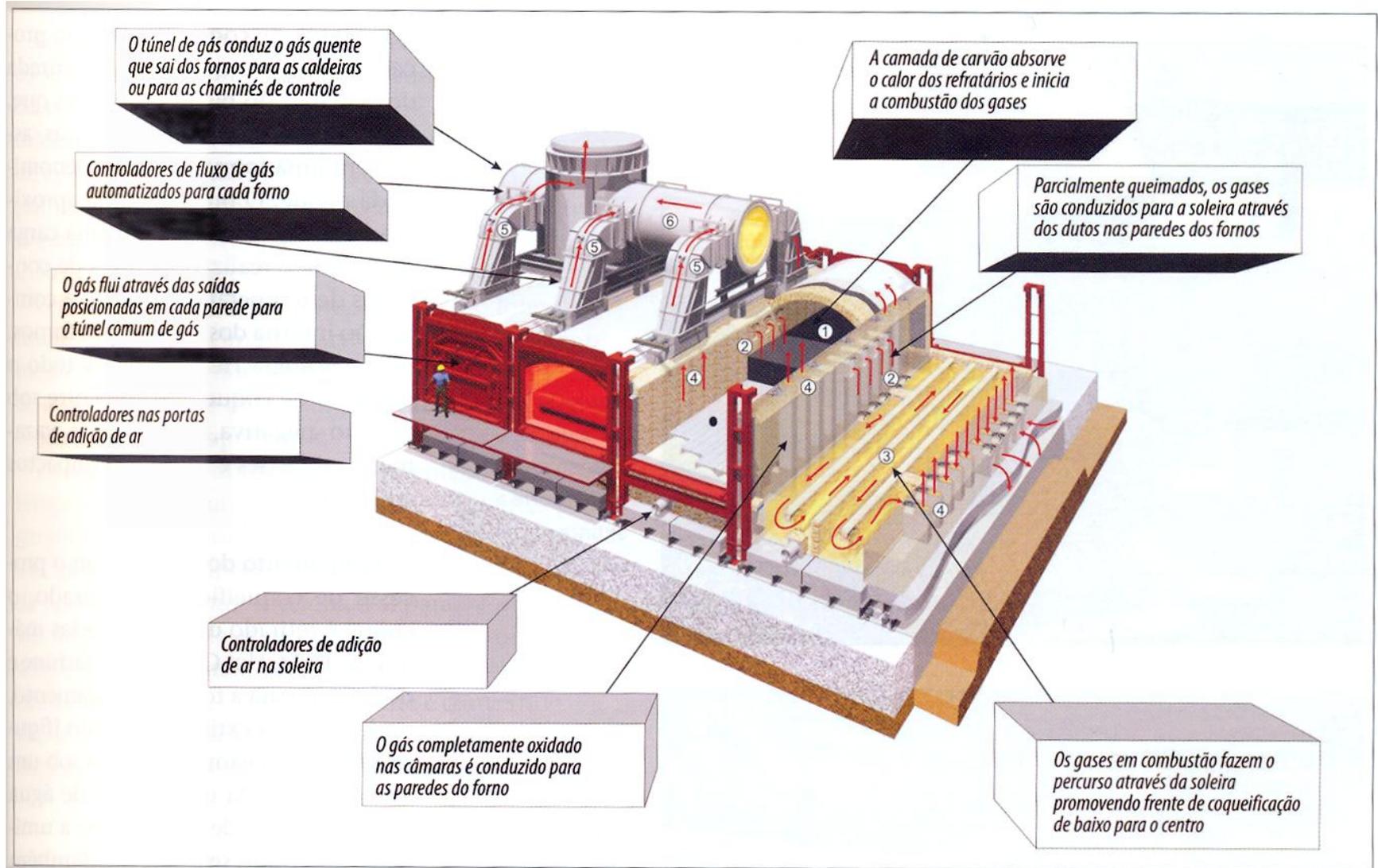


Produtos e subprodutos da coqueificação



Esquema dos Principais produtos Obtidos pela Destilação do Carvão

Coqueria *Heat Recovery*



Coqueria *Heat Recovery*

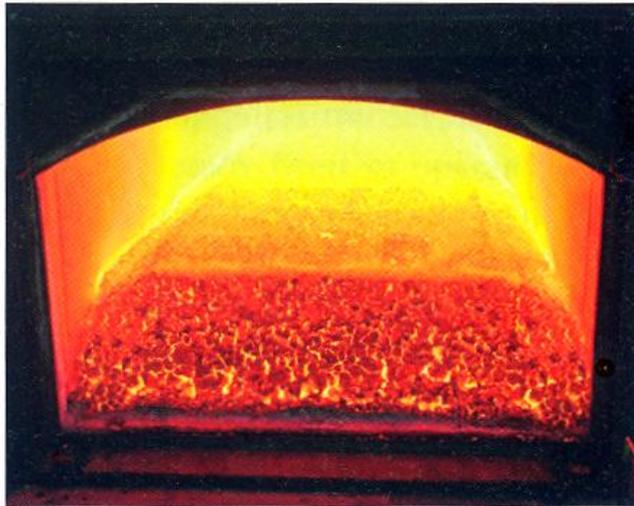


Figure 5. Coke in oven chamber



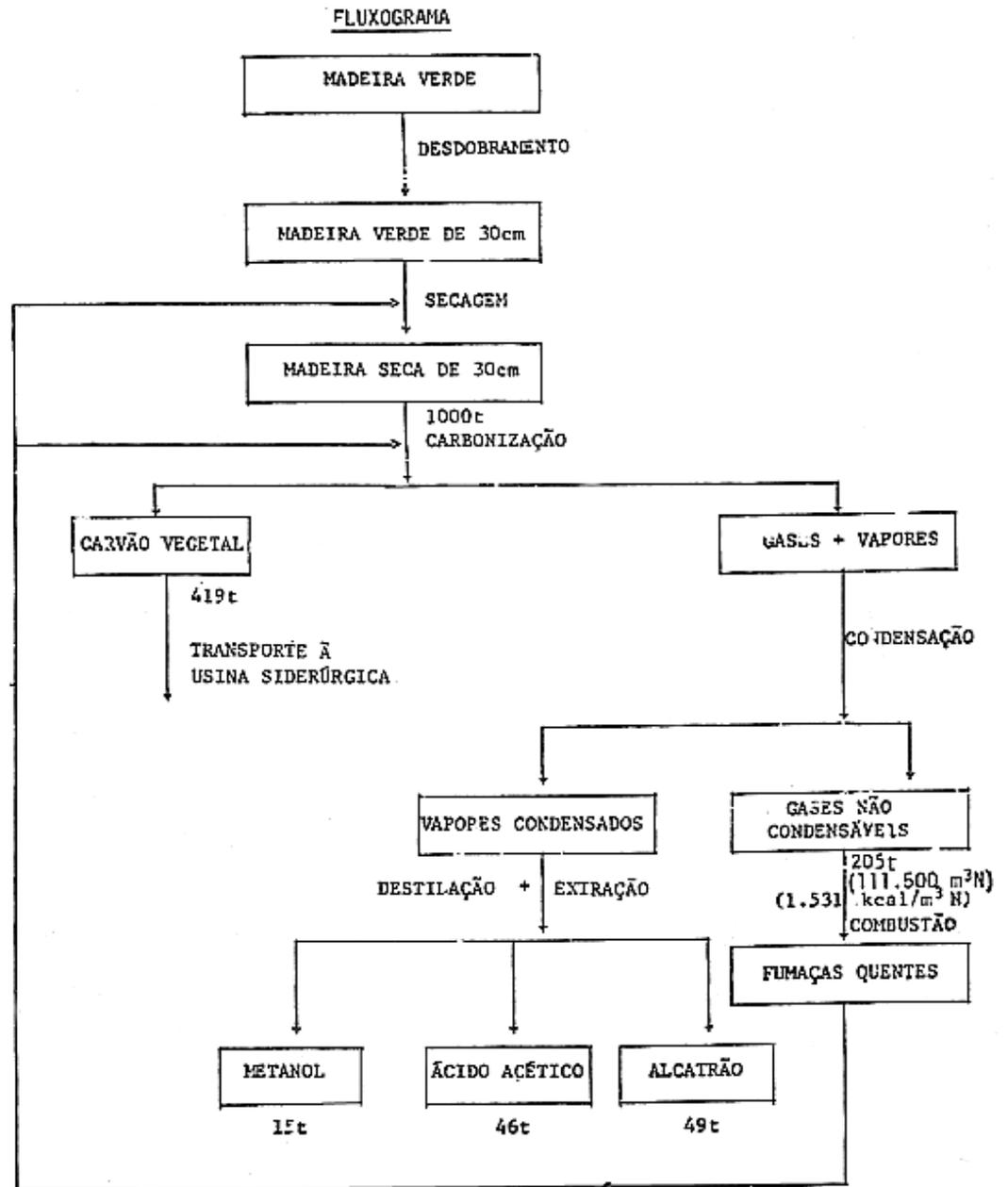
Figure 4. One of the heat-recovery boilers

Coqueria *Heat Recovery*



Coke oven battery with three heat-recovery boilers

Produtos e sub-produtos da carbonização da madeira



Comparação entre carvão vegetal e coque

QUALIDADE	ÍTEM	UNIDADE	VALOR	
			CARVÃO VEGETAL	COQUE
QUÍMICA	Carbono Fixo	%	70 ~ 75	86 ~ 89
	Matérias Voláteis	%	20 ~ 25	1 ~ 3
	Cinzas	%	2 ~ 3	10 ~ 12
	Enxofre	%	0,03 ~ 0,10	0,45 ~ 0,70
	Composição das cinzas			
	SiO ₂	%	5 ~ 10	45 ~ 55
	CaO	%	37 ~ 56	2 ~ 4
	MgO	%	5 ~ 7	0,5 ~ 2
	Al ₂ O ₃	%	2 ~ 12	25 ~ 35
	Fe ₂ O ₃	%	5 ~ 13	4 ~ 8
	P ₂ O ₃	%	8 ~ 12	0,40 ~ 0,80
	K ₂ O	%	15 ~ 25	0,5 ~ 3,0
Na ₂ O	%	2 ~ 3	0,3 ~ 2,0	
FÍSICA	Resistência à Compressão	Kg/cm ²	10 ~ 80	130 ~ 160
	Faixa Granulométrica	mm	9 ~ 101,6	25 ~ 75
	Densidade	t/m ³	0,250	0,550
METALÚRGICA	Reatividade (a 950 °C)	%	60	15
	CSR - Resistência após Reação (Norma JIS)	%	ND	60
	CRI - Reatividade (Norma JIS)	%	100	30