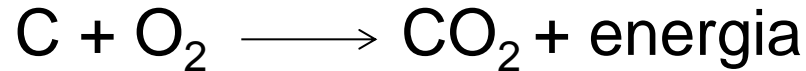


Energia para Metalurgia

Energia para Metalurgia

Principal fonte energética: Carbono

Carvão mineral e carvão vegetal



Carbono é combustível, usado para gerar energia reagindo com oxigênio do ar

Além disso, carbono é redutor, usado para reagir com o oxigênio de minérios oxidados

A AMEAÇA: CO₂

Indústria siderúrgica mundial

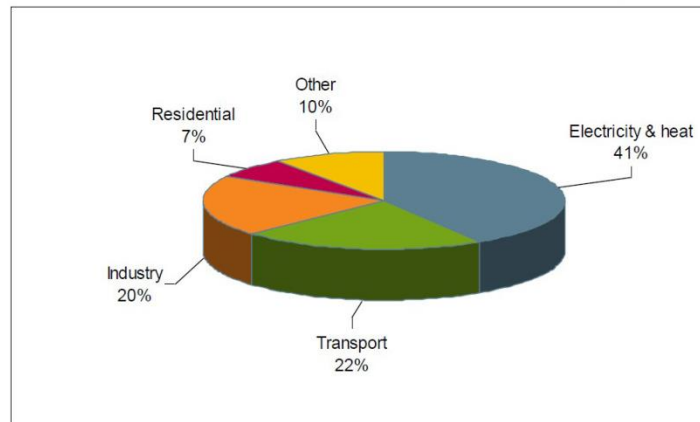
grande emissora de dióxido de carbono, sub-produto intrínseco ao processo siderúrgico.

World Steel Association

6,5% das emissões totais de CO₂ tem origem na siderurgia

CO₂ emissions by sector

- Percentage of iron & steel in global CO₂ emissions is app 6.5%



Source: IEA 2010 CO₂ emissions from fuel combustion

worldsteel

Brasil

- Grande produtor de minério de ferro
- Siderurgia integrada com altos fornos a coque
- Siderurgia a carvão vegetal (“guseiros”)
- Produção de não-ferrosos
- Alumínio, Cobre, Estanho, Nióbio, Ferro Ligas (Manganes, Silício, Cromo), Zinco

Siderurgia no Brasil

Consome 8,2% da energia produzida no país,
Gera 14,4 % do CO2 emitido no país, excluindo uso da terra,
Gera menos de 2,5% do PIB do país

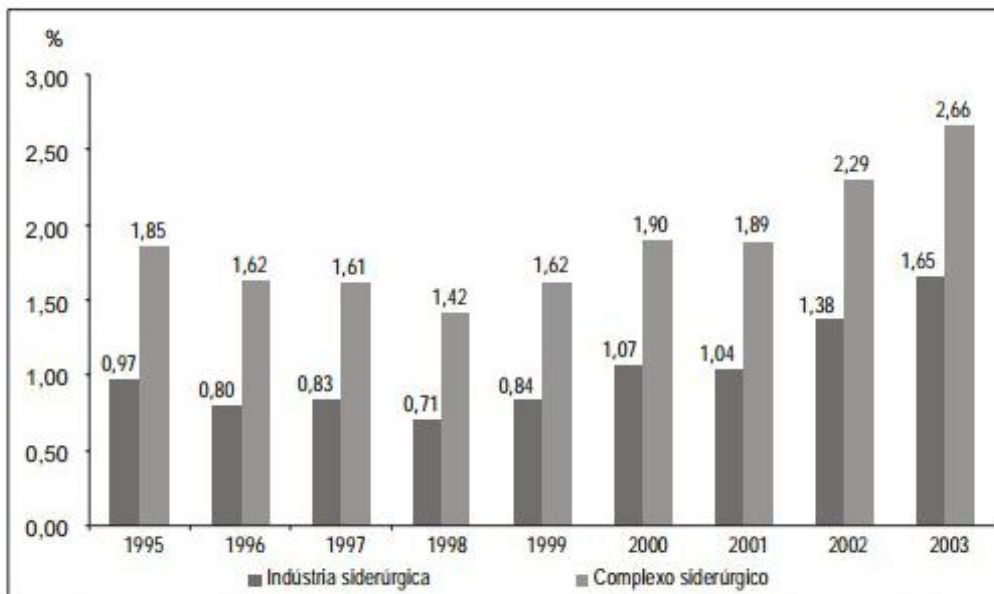


GRÁFICO 3 - PARTICIPAÇÃO DO PIB DA INDÚSTRIA SIDERÚRGICA E DO COMPLEXO SIDERÚRGICO NO PIB BRASILEIRO - 1995-2003

FONTE: Tabela de Recurso e Uso do Brasil - IBGE

NOTA: Dados trabalhados pelos autores.

- **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

Gás natural

Formado basicamente por metano, CH₄, com pequenas quantidades de outros hidrocarbonetos

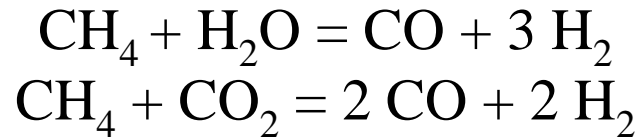
Excelente combustível, menos poluente dos combustíveis fósseis

Para ser usado como redutor

- necessário reformar o CH₄ a CO + H₂
- distribuição geográfica desigual; gasodutos; preço - muitas aplicações mais nobres
- é o que causa menos problemas ambientais

Reforma de gás natural

Reforma: transforma o metano em mistura de monóxido de carbono (CO) e hidrogênio (H₂) por reação com vapor d'água e dióxido de carbono



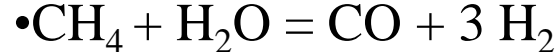
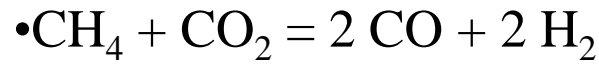
Temperatura 1000°C

Catalisadores de níquel

Importante ter enxofre baixo

Reforma de gás natural

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

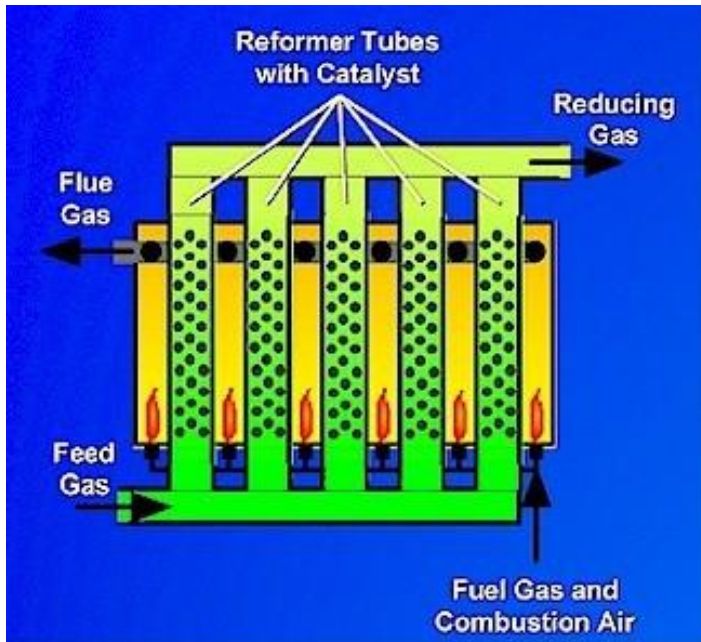
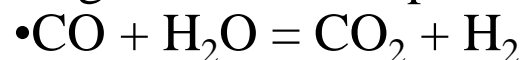


- reações endotérmicas (favorecidas a altas temperaturas)

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

- Em redução direta, os produtos da redução contêm 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

Obtido por carbonização (distilação) de madeira

Madeira seca contem aprox. 50% C, 6-8% H e 44-46% Oxigenio. Aquecimento desprende compostos voláteis destes elementos, enriquecendo em C.

Características principais:

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



Silvicultura Votorantim





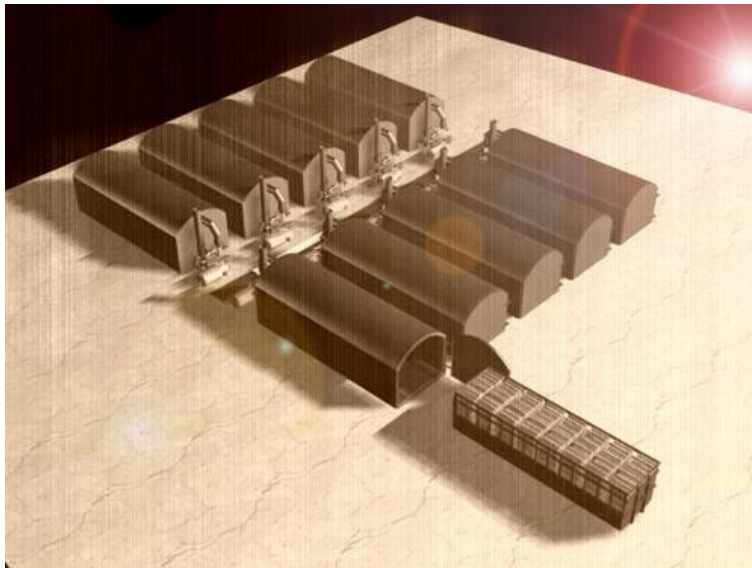
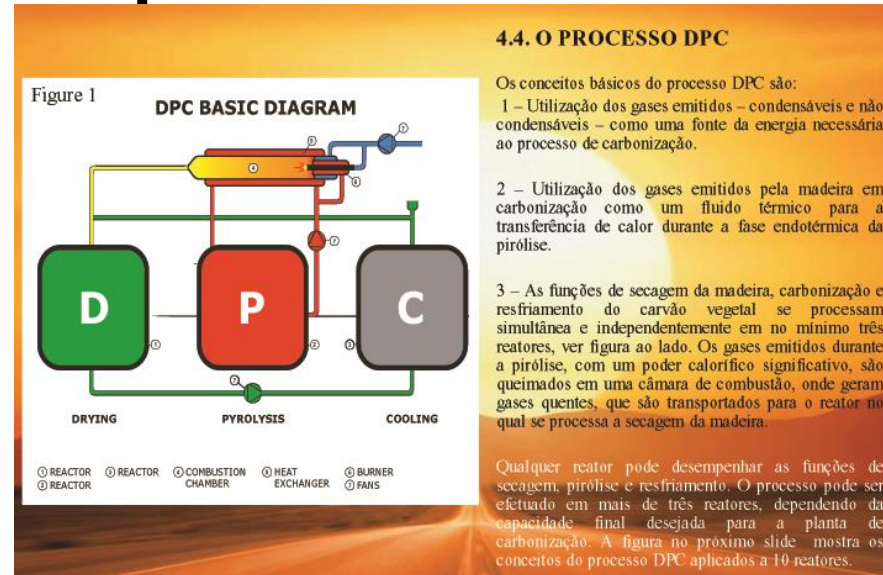
Carbonização Votorantim



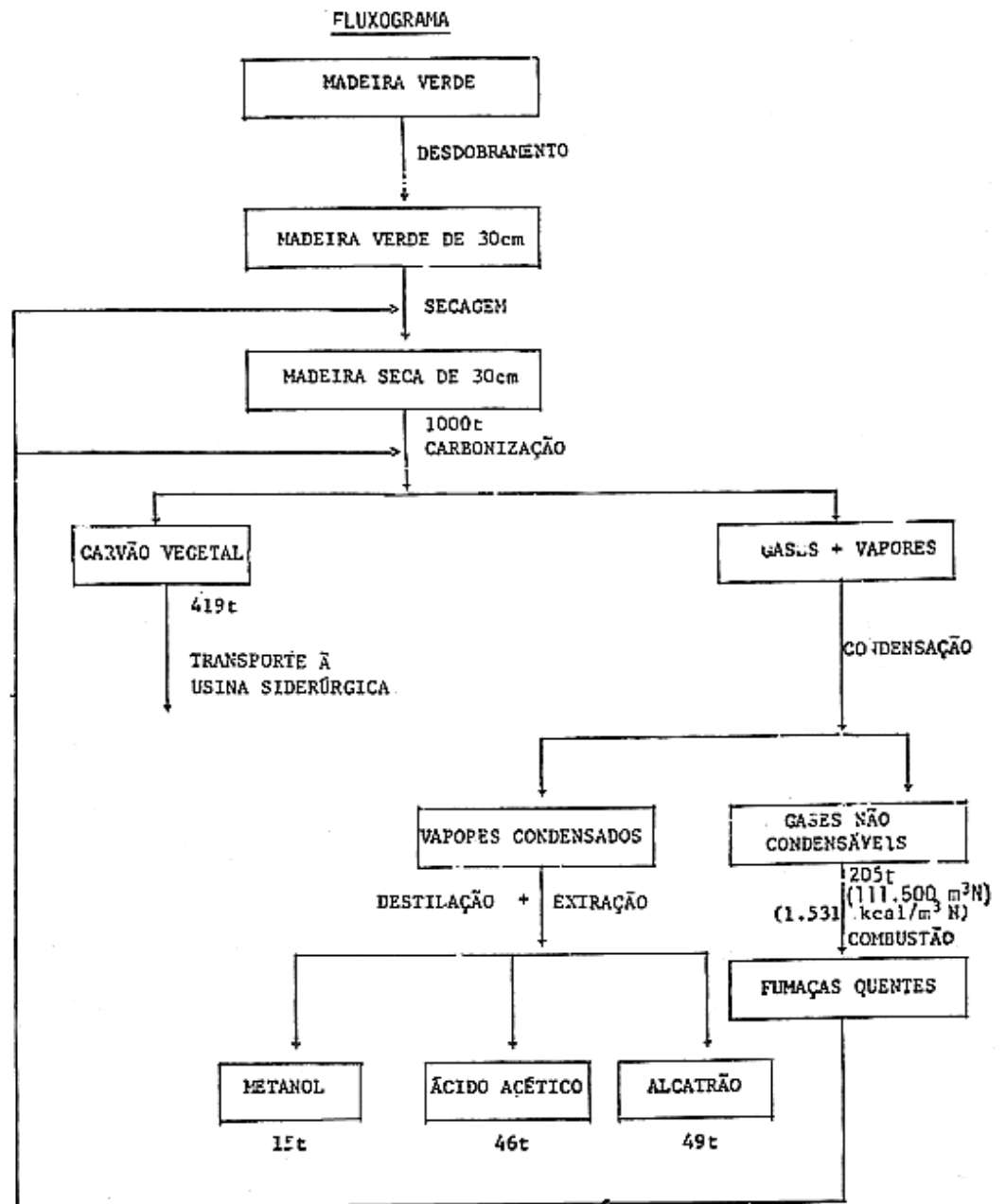
Carbonização mais eficiente: ArcelorMittal



Carbonização mais eficiente: processo DPC



Produtos e sub-produtos da carbonização da madeira



Coque

Obtido por destilação de carvão fóssil

- 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

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

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:

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

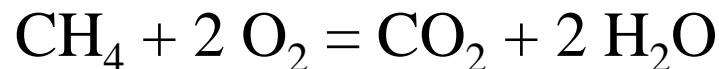
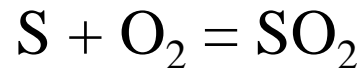
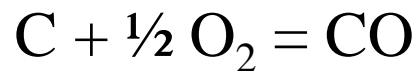
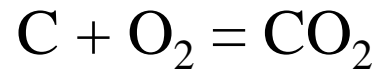
C, H, O, S, e M: porcentagem em peso de carbono, hidrogênio, oxigênio, enxofre e umidade no combustível. Eliminando-se o último termo, obtém-se o PCS.

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

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

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

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

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



Carvão Brasileiro:

Alto teor de cinza

Alto teor de enxofre

Alto teor de álcalis

Alto custo de extração

Baixo rendimento em carvão

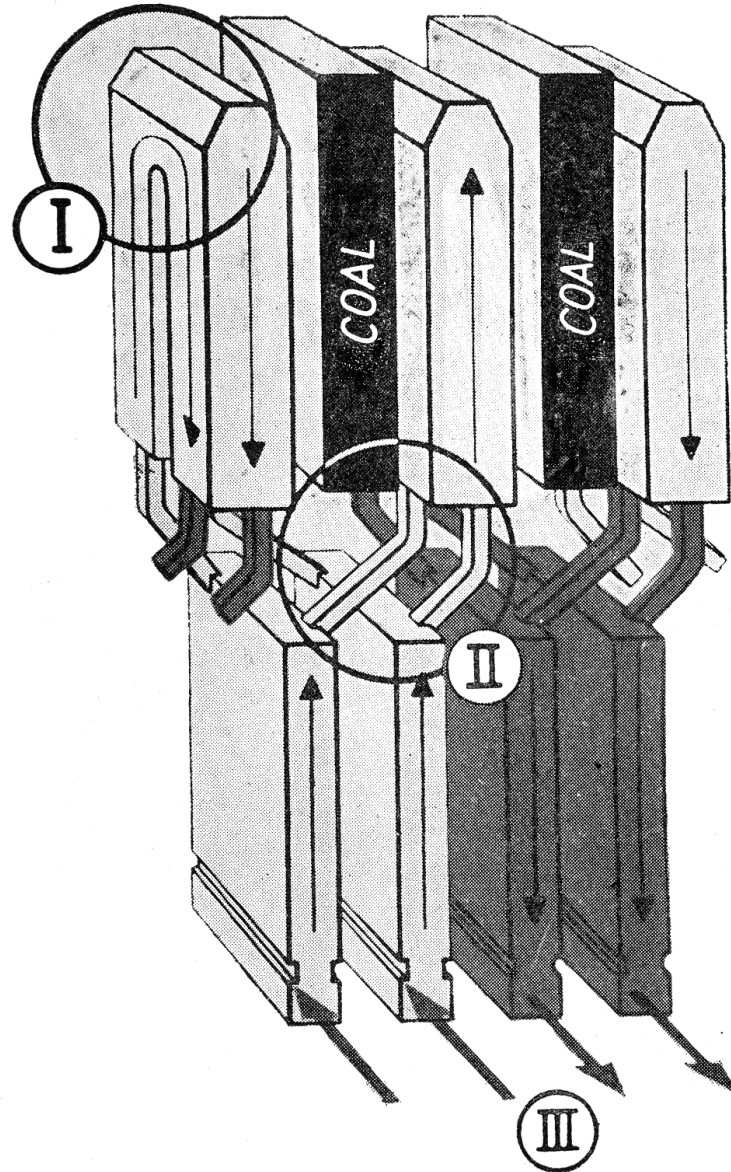
IMPORTAÇÃO :

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

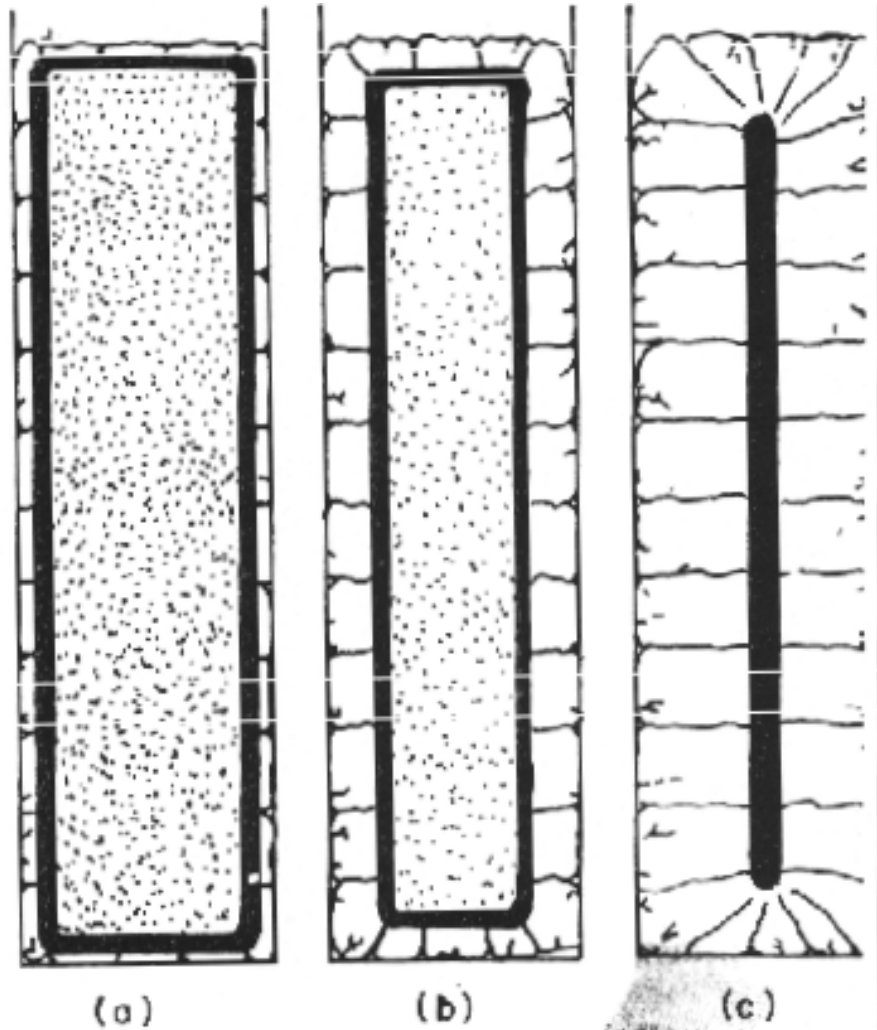
Coqueificação

- Destilação 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

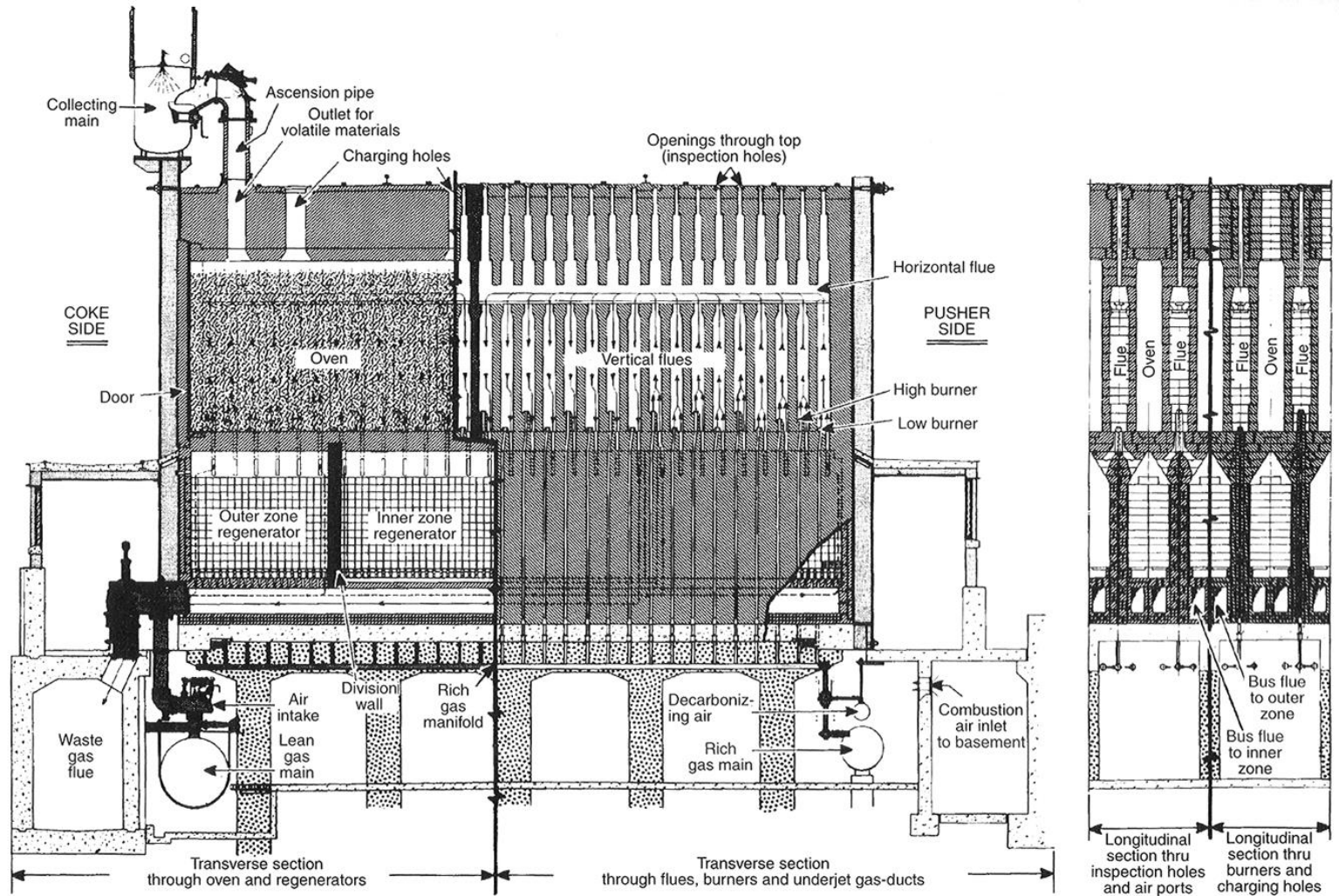
Coqueificação



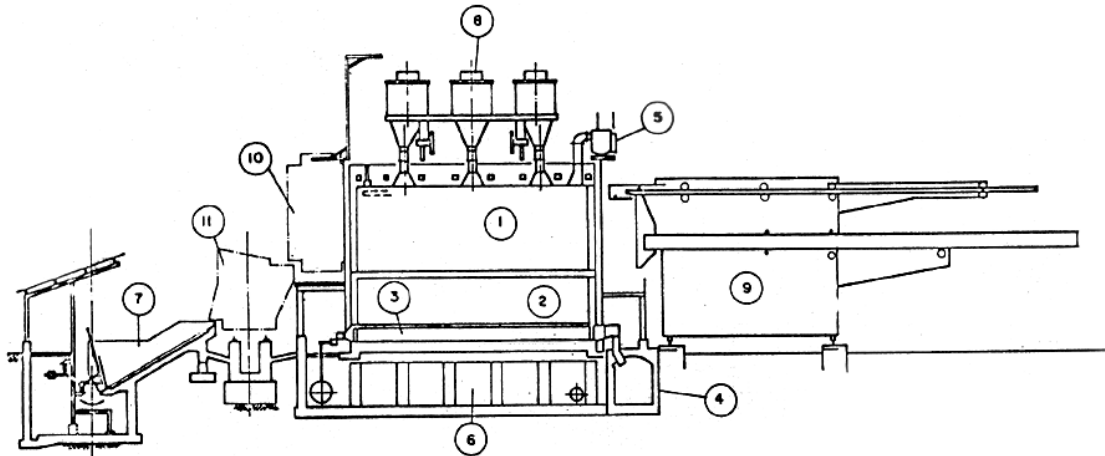
Evolução da coqueificação



Forno de coqueificação



Esquema forno de coqueificação



LEGENDA

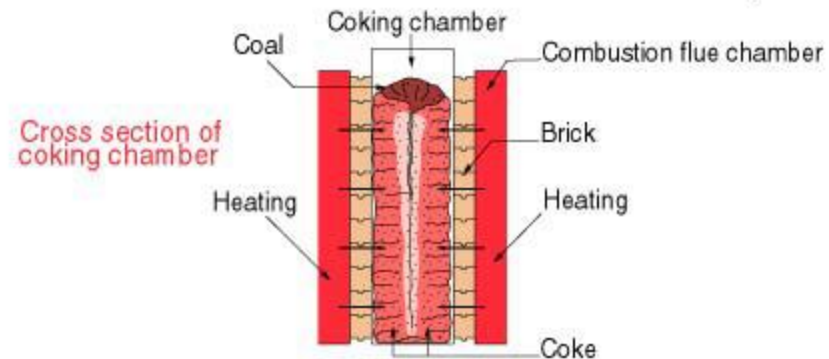
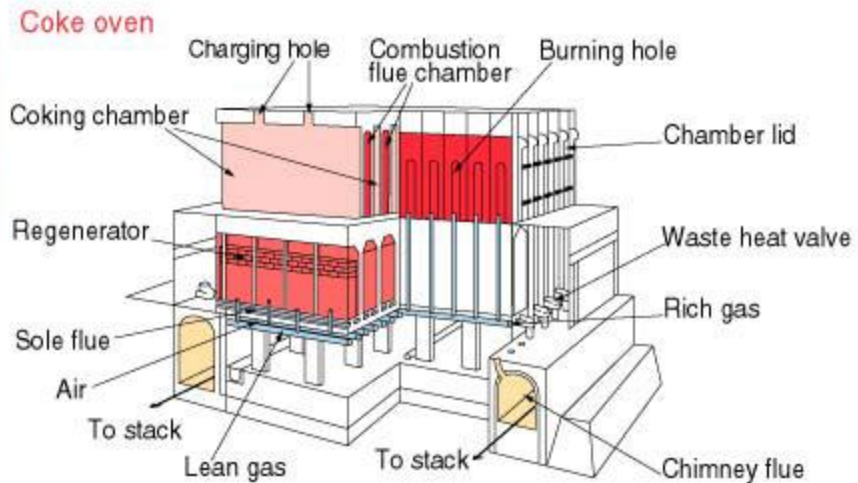
- | | | | | | |
|---|-----------------|---|----------------|----|---------------------|
| 1 | FORNO | 5 | COLETOR DE GÁS | 9 | DESENFORNADORA |
| 2 | REGENERADOR | 6 | SUBSOLO | 10 | CARRO GUIA DE COQUE |
| 3 | SOLE FLUE | 7 | RAMPA DE GOQUE | 11 | CARRO DE APAGAMENTO |
| 4 | CANAL DE FUMAÇA | 8 | ENFORNADORA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

Coal and Coking

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

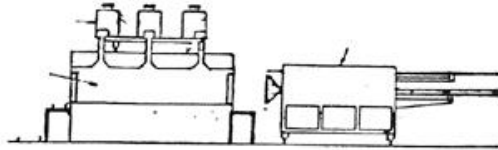
Coke quality	
Moisture	Dry quenching 0.1 ~ 0.2 %
	Wet quenching 2 ~ 5 %
Ash	11 ~ 12 %
Volatile matter	0.5 ~ 0.6 %
Mean dia.	50 mm

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 %

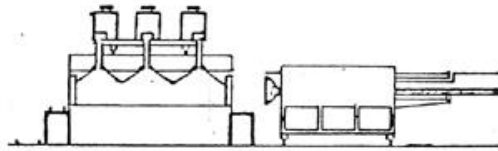


Coqueificação

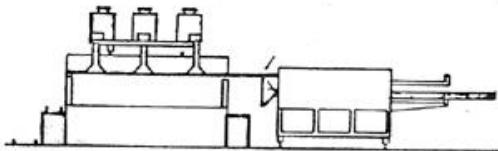
63



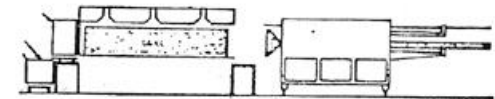
- a) A máquina enforadora, contendo determinada quantidade de carvão, está posicionada sobre as bocas de carregamento cujas tampas foram removidas. A desenforadora também se posicionara



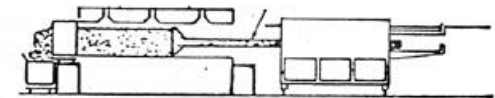
- b) O carvão da enforadora é então descarregado nos fornos, formando pilhas.



- 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 nivelá-las. 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 posicionaram.



- 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

Coqueria



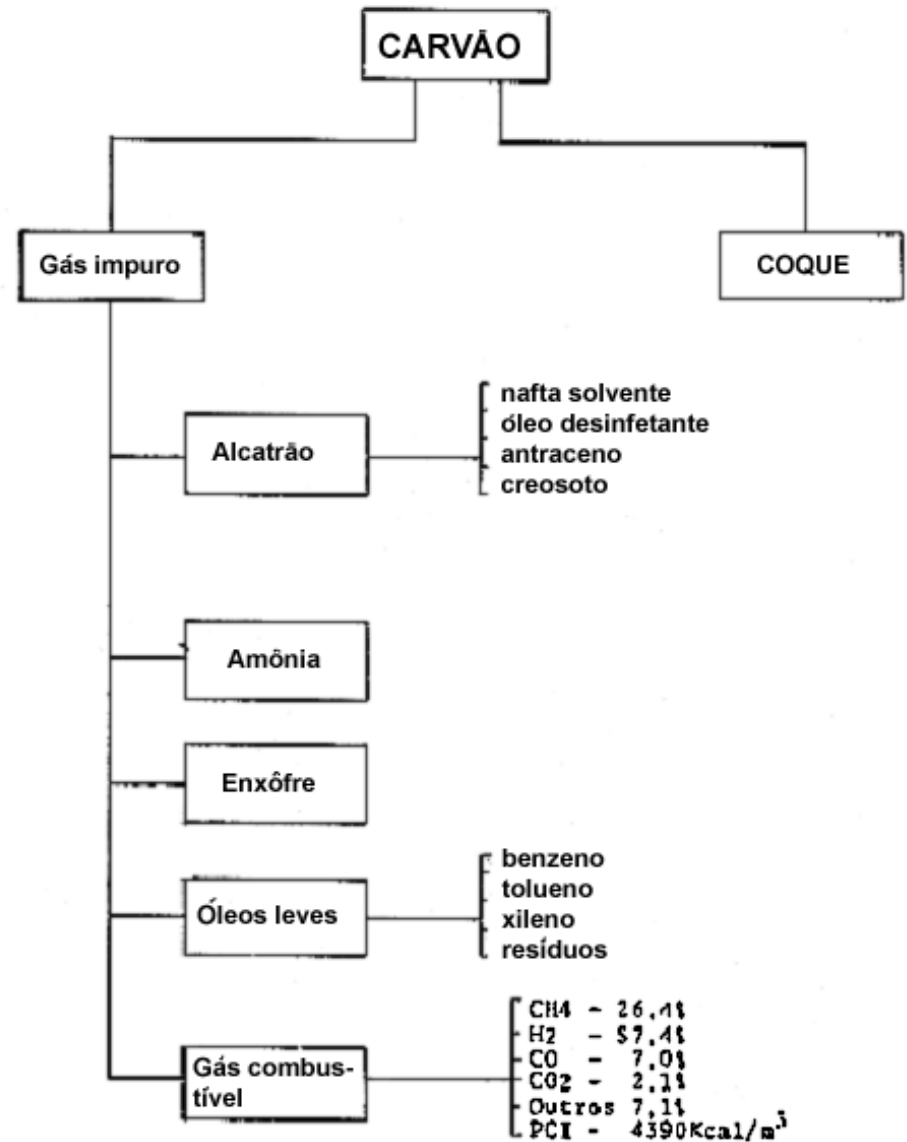
Coqueria



Bateria de Coque (Cosipa)

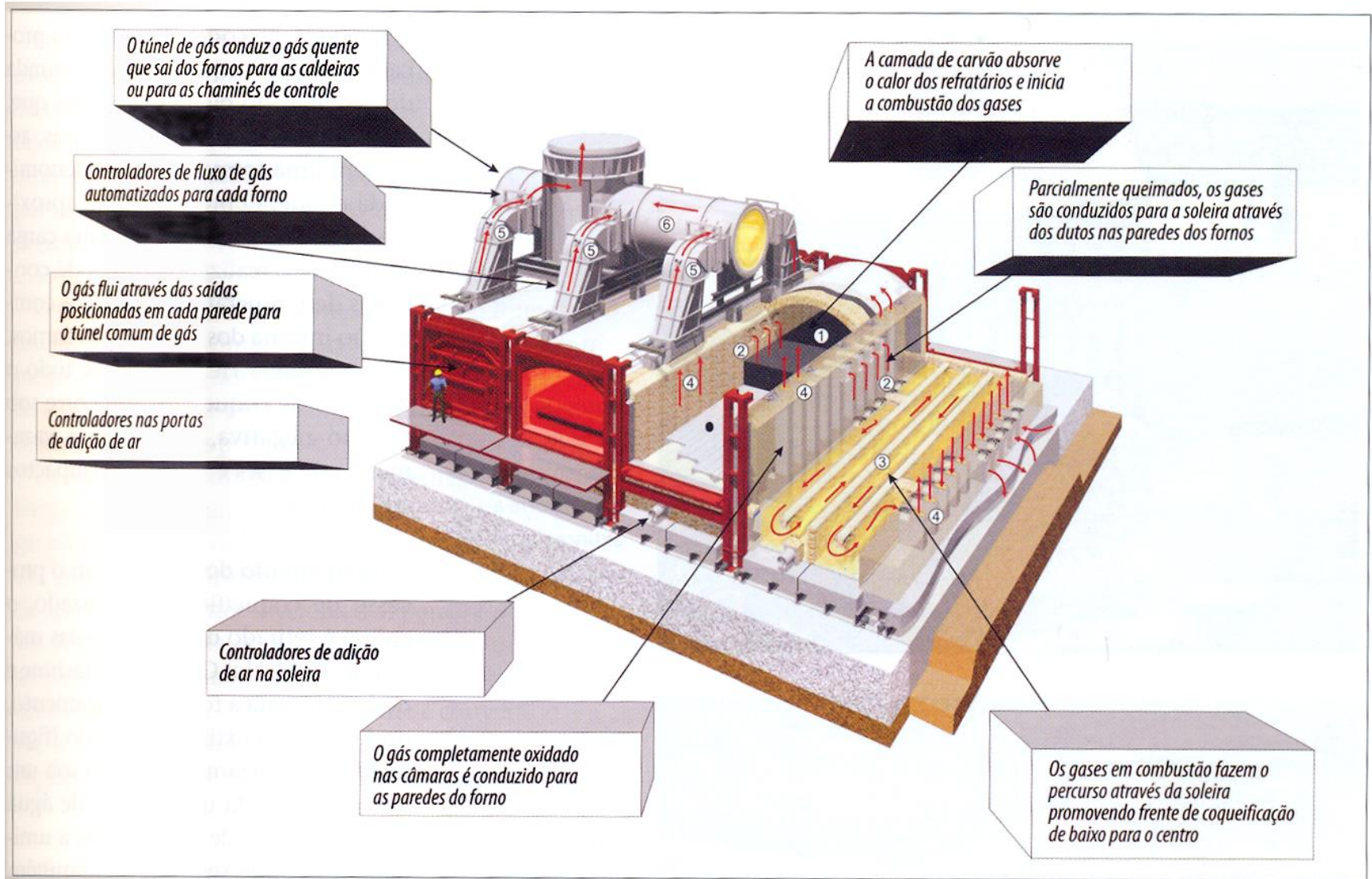


Produtos e sub- produtos da coqueificação



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*

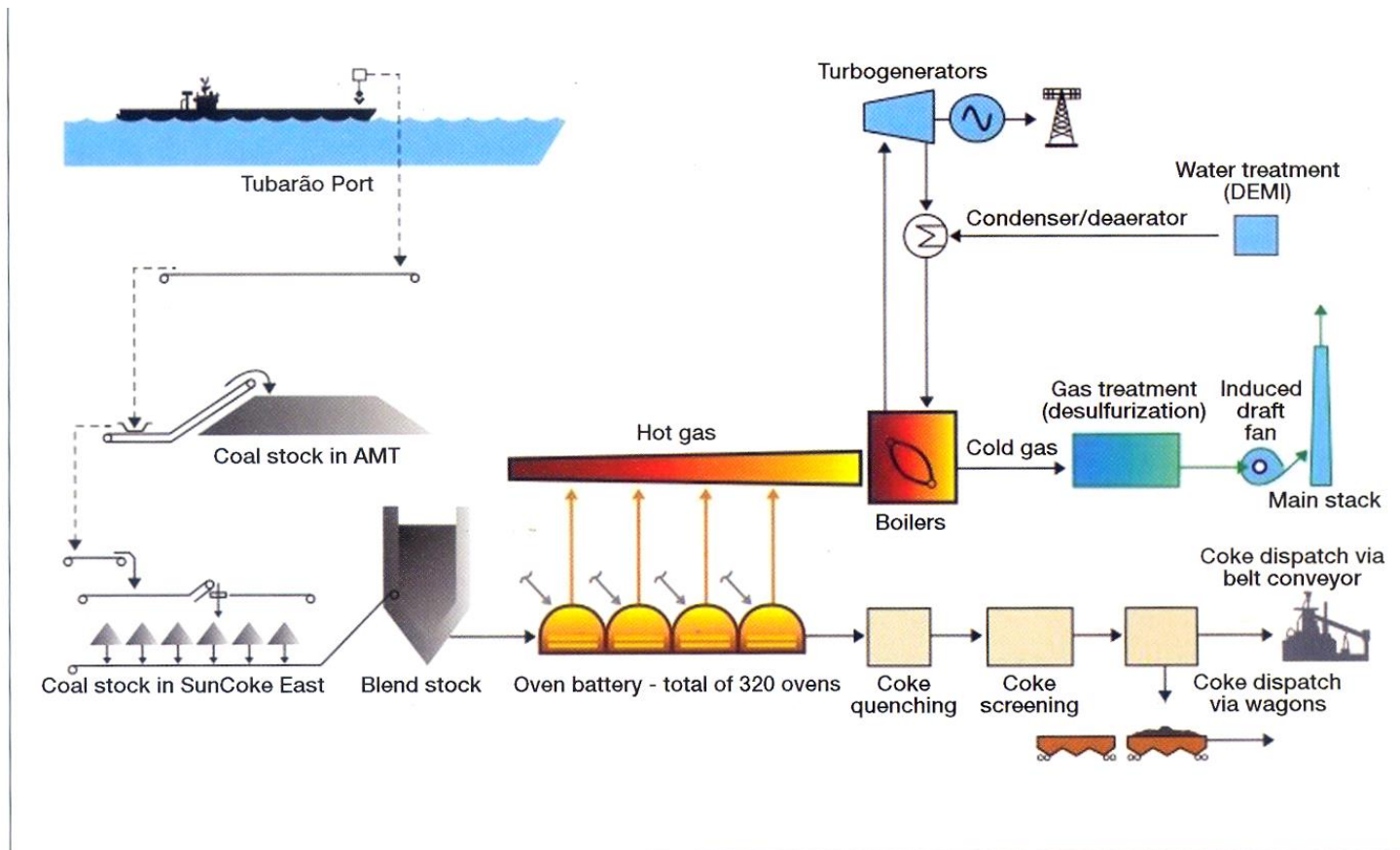


Figure 2. Flow chart of the coke production site

Coqueria *Heat Recovery*



Coke oven battery with three heat-recovery boilers

Propriedades de coque

- TAMANHO MÉDIO:45 a 55 mm
- CINZA:.....TEOR < 11%
- ENXOFRE:TEOR < 0,65 %
- FOSFORO:.....TEOR < 0,05 %
- ALCALIS:.....TEOR < 0,27 %
- RESISTÊNCIA À ABRASÃO E AO IMPACTO
- RESISTÊNCIA APÓS REAÇÃO
- REATIVIDADE

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

