

REUNIÃO ABERTA SÔBRE
"OPERAÇÃO DE ALTOS FORNOS"

I PARTE

INFLUÊNCIA DA VARIAÇÃO DOS TEORES
DE CINZA E DE ENXÔFRE DO COQUE NA
PRODUÇÃO DOS ALTOS FORNOS ⁽¹⁾

JADIR PORTES BARTOLOMEU ⁽²⁾

RESUMO

O Autor trata de conceito de capacidade nominal de um alto forno, carbono efetivo do coque, relação coque-gusa ("coke-rate") e capacidade dos altos fornos da Usina Presidente Vargas em função das porcentagens de carvão nacional utilizado no coque. Apresenta curva do fator de conversão da relação coque-gusa em função das porcentagens de cinza e enxôfre do coque.

1. INTRODUÇÃO

1.1. *Generalidades* — O alto forno, como todos nós sabemos, é um aparelho metalúrgico onde se processa a extração do ferro de seus minérios. O ferro obtido no alto forno é bastante impuro, contendo teores relativamente elevados de carbono, silício, manganês, etc., e é denominado *Ferro-Gusa* ou simplesmente *Gusa*. Num alto forno introduz-se pelo tópo, através da "bôca ou goela" em proporções adequadas, os seguintes materiais: Minérios de Ferro (hematita, itabirito, sinter, pelotas, carepa, etc.); Fundente (calcário, dolomita, escória da aciaria "SM", quartzito, etc.); Coque (ou carvão de madeira).

Ao mesmo tempo, na parte inferior, através das aberturas denominadas ventaneiras, injeta-se ar pré-aquecido (à temperatura de até 900°C ou mais). A queima do carbono do coque produz desprendimento de gás redutor e calor necessários à

(1) Contribuição Técnica n.º 523. Apresentada e discutida na Reunião Aberta citada no XVIII Congresso Anual da ABM; Belo Horizonte, julho de 1963.

(2) Membro da ABM e Engenheiro Chefe do Departamento de Altos Fornos da Cia. Siderúrgica Nacional; Volta Redonda, R.J.

redução e fusão dos minérios. O monóxido de carbono, em temperatura elevada, retira o oxigênio do óxido de ferro e um excesso de carbono carbonetiza o ferro resultante que, no estado líquido, goteja, indo acumular-se no cadinho, que é a parte inferior do forno. O fundente torna mais fusível as impurezas de tôdas as matérias primas e com elas forma a escória, a qual, sendo mais leve que o ferro, sobrenada no mesmo, no cadinho. Portanto, sob a forma de escória, é separada a maior parte das impurezas contidas nos minérios e coque.

A operação de um alto forno é contínua, durante anos; o gusa e a escória, líquidos, são vazados várias vezes no período de 24 horas.

1.2. *Capacidade de um alto forno* — A capacidade de um alto forno é definida como a quantidade de gusa que êle pode produzir em 24 horas. É claro, porém, que um forno de 1.000 t em Volta Redonda, não corresponde necessariamente a outro forno de 1.000 t no Japão, nos Estados Unidos, ou na Europa, onde as matérias primas podem ser completamente diferentes. Também, um forno com cadinho, digamos, de 7 m de diâmetro, que utiliza minérios com 35% de Fe, não produzirá certamente o mesmo que se o minério fôsse de 66% de Fe. Assim sendo, preferimos considerar, como O. R. Rice¹, que a capacidade de um alto forno é função de quantidade de coque que nêle se pode queimar em um dia de 1.420 minutos. Diz O. R. Rice^{1, 2}: *“Um forno com “rating” de 100% queima por metro quadrado de área efetiva do cadinho (anel de 1,83 m — 6 pés — de espessura em frente do nariz das ventaneiras), 30.760 kg de coque, tendo o coque 86% de carbono fixo”*. Assim sendo, a capacidade de um alto forno é a sua capacidade em queimar coque ou, em outros têrmos, em queimar carbono. Evidentemente, pois, a maior ou menor produção de gusa de um alto forno será função da menor ou maior relação *coque-gusa* (“coke-rate” ou “mise au mille”) isto é, a quantidade de coque, em quilos, *consumida para produzir uma tonelada de gusa*.

A menor relação coque-gusa (“coke-rate”) que é sempre desejada, é função de vários fatôres, tais como: cinza e enxôfre do coque, temperatura e umidade do ar soprado, volume de escória, composição química e granulométrica das matérias primas, teor de Si e S do gusa, marcha do forno, injeção de combustível, etc. É meta de todo operador de alto forno produzir a maior tonelagem de gusa com o mínimo de consumo de coque, sendo motivo de justo júbilo tôda *batida* de “record” da relação coque-gusa (“coke-rate”).

(1) Mr. Owen R. Rice — Consultant Blast Furnace — Koppers Company U.S.A.

Para que o conceito de "Rice-Rating" tenha validade é necessário que o forno tenha o seu volume útil (volume do forno compreendido entre planos do centro das ventaneiras e nível da carga ("stock-line")) proporcional ao diâmetro do seu cadinho.

Ainda é O. R. Rice³ que diz: "O volume útil, em m³, de um alto forno deve ser, no mínimo, 36,576 vezes a sua área efetiva, um metro quadrado".

Não queremos dizer, porém, que um forno tenha um "Rice Rating" (R. R.) máximo de 100%; se a finalidade primeira é produção, não levando muito em consideração a relação coque-gusa ("coke-rate"), o forno poderá trabalhar com R. R. acima de 100%; temos notícias de forno operando com R. R. médio de 128%; nós mesmos, em Volta Redonda, temos média mensal de 107% e, em vários dias consecutivos, mais de 115%.

1.2.1. *Capacidade nominal de um alto forno* — O. R. Rice, que foi o projetista do alto forno n.º 2 da C.S.N., autoridade mundial nesse assunto, considera para cálculo da capacidade nominal de um alto forno³ o seu "rating" de 96% e, para o caso particular de se utilizar hematita compacta, matérias primas semi-beneficiadas, temperatura do sôpro da ordem de 700°C e coque com 86% de carbono fixo, a relação coque-gusa ("coke-rate") de 780 kg.

Assim sendo, nas condições acima, facilmente podemos calcular a capacidade nominal de um alto forno. Com base no exposto, os altos fornos da C.S.N., em Volta Redonda, possuem as seguintes capacidades nominais:

Forno n.º 1 — 1.208 t gusa/dia

Forno n.º 2 — 1.229 t gusa/dia

Apenas como exemplo, daremos, a seguir, o cálculo da capacidade nominal do alto forno n.º 1:

Diâmetro do cadinho	— 8,38 m (27' 6")
Volume útil	— 1.168 m ³ (41.257 pés ³)
Área efetiva do cadinho	— 34,15 m ² (367,6 pés ²)
Volume útil calculado	— 1.249 m ³ (44.111 pés ³)
Volume útil real	— 93,5% do volume útil calculado
Rice-Rating de 96%	— 1.008 t de coque/dia

logo:

$$\text{capacidade nominal} = \frac{1008}{780} \times 0,935 = 1.208 \text{ t gusa/dia.}$$

Ainda, para exemplo, um alto forno de cadinho de 7 m e volume útil de 885 m³, nas condições acima descritas, teria a capacidade nominal de 916 t gusa/dia desde que sua área efetiva é de 26,26 m² e seu volume útil real é 92,1% do volume útil calculado. No quadro I apresentamos as características principais dos altos fornos da Usina Presidente Vargas.

QUADRO I

Dimensões dos altos fornos da Usina Presidente Vargas

	FORNO No. 1	FORNO No. 2
Diâmetro Cadinho.....	8,38 m (27'-6")	8,08 m (26'-6")
Diâmetro Ventre	9,14 m (30'-0")	9,09 m (29'-10")
Diâmetro Guela	6,40 m (21'-0")	6,40 m (21'-0")
Diâmetro Cone	4,57 m (15'-0")	4,72 m (15'-6")
Altura da Soleira ao F. de Gusa	0,68 m (2'-3")	0,99 m (3'-3")
Altura do Furo de Gusa ao Furo de Escória.....	1,42 m (4'-8")	1,42 m (4'-8")
Altura do Furo de Escória às Ventaneiras	1,01 m (3'-4")	1,01 m (3'-4")
Altura Ventaneiras início rampa	0,53 m (1'-9")	0,53 m (1'-9")
Altura rampa	2,79 m (9'-2")	3,35 m (11'-0")
Altura ventre	2,62 m (8'-7")	3,05 m (10'-0")
Altura cuba	16,00 m (52'-6")	16,31 m (53'-6")
Altura guela até nível cargas...	0,97 m (3'-2 5/16")	1,22 m (4'-0")
Ângulo da rampa	82° 14' 05"	81° 23' 00"
Ângulo Cone grande	51° 30' 00"	53° 00' 00"
Volume útil	1.168 m ³ (41.257 cuft)	1.253 m ³ (43.607 cuft)
Altura útil	22,91 m (75'-4 5/16")	24,46 m (80'-3")
Número de Ventaneiras	20	18
Número de colunas	7	9
Área cadinho	55,18 m ² (593,96 sqft)	51,23 m ² (551,54 sqft)
Área efetiva do cadinho.....	34,15 m ² (367,60 sqft) Cadinho e rampa com parede de carbono	32,39 m ² (348,70 sqft) Cadinho com parede de carbono

1.2.2. *Conclusão* — Como exposto, consideraremos a capacidade de um alto forno como sendo sua capacidade em queimar coque ou, em melhores termos, sua capacidade em queimar *Carbono*.

2. CARBONO EFETIVO DO COQUE EM FUNÇÃO DE SEUS TEORES DE CINZA E ENXÔFRE

2.1. *Fórmula de Flint* — São sobejamente conhecidas dos operadores de alto forno as desvantagens dos teores elevados de cinza e enxôfre no coque, tanto na operação do forno quanto na qualidade do gusa e principalmente no consumo do coque. Baseados nos trabalhos de Flint⁵, mostraremos a perda de carbono de coque com o aumento dos seus teores da cinza e enxôfre.

Antes de passarmos aos cálculos, acreditamos ser melhor apresentarmos Mr. Flint: Trata-se de um engenheiro industrial da United States Steel Corporation, que determinou uma fórmula na qual coloca a relação *carbono/gusa* em função de 21 variáveis, tais como: escória da cinza do coque; enxôfre da carga; granulometria das matérias primas; Si, S, P e Mn do gusa; temperatura e umidade do ar soprado; etc. Na execução deste estudo, Mr. Flint serviu-se, para efeito comparativo, de prática de mais de 30 anos de operação dos altos fornos e analisou dados fornecidos por aproximadamente 70 fornos, representando diversas regiões. Do início do estudo até a tomada completa dos dados foram anotadas 300 variáveis diferentes que influíam no consumo de carbono por tonelada de gusa produzida. Após a obtenção destas 300 variáveis, foram elas reunidas em grupos semelhantes e reduzidas a 50. Em seguida, usando a experiência de muitos anos dos operadores de altos fornos com relação ao problema *coque por tonelada de gusa*, escolheu judiciosamente 1/3 das mais significativas dentre as 50 variáveis para estudo da correlação múltipla. A fórmula sumariza o resultado final das soluções de correlação múltipla, mais o exame e verificação destas soluções por vários estudos complementares.

A fórmula geral deduzida foi: ⁵

$$\begin{aligned} \text{Libra de carbono por tonelada de gusa líquido} &= \\ &= K + C_1 V_1 + C_2 V_2 + \dots + C_n V_n + A \end{aligned}$$

onde K é uma constante por tonelada de gusa líquido.

Esta constante pode ser estabelecida para um forno ou grupos de fornos, dependendo do problema a ser considerado.

A constante do forno engloba as características inerentes do projeto do forno mais o efeito parcial ou total de todos os fatores não avaliados. A determinação da constante de cada forno individual consiste, ela própria, de um estudo completo.

$V_1 \dots\dots\dots V_n$ — variáveis lineares que influenciam a relação carbono-gusa;

$C_1 \dots\dots\dots C_n$ — coeficientes de carbono para as variáveis $V_1 \dots\dots\dots V_n$;

A — ajustamentos de carbono para as variáveis curvilineas simples.

Estas podem ser obtidas de uma curva ou tabela.

No quadro II, anexo, apresentamos a lista de tôdas as variáveis e, para cada uma delas: a unidade de medida, o coeficiente de carbono e a amplitude em que ela foi estudada. A fim de não perder exatidão, o quadro II é cópia fiel do original. A figura 1, também cópia fiel do original, apresenta a relação entre enxôfre no gusa líquido e a relação carbono-gusa a que se refere o quadro II.

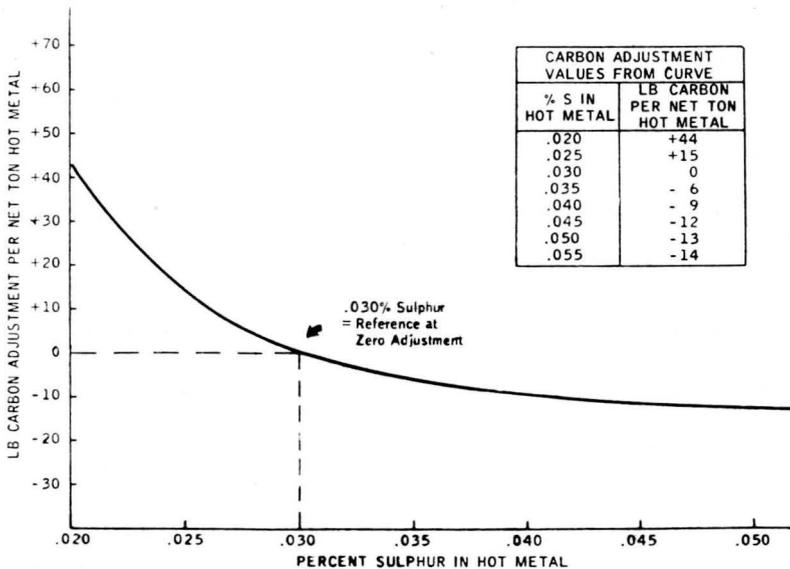


Fig. 1 — Relação entre o enxôfre no gusa e o ajustamento de carbono.

TABELA II

Fórmula do «coke-rate» — Sumário das variáveis e dos coeficientes

CATEGORY	VARIABLE		UNIT OF MEASURE	CARBON COEFFICIENT	APPROXIMATE ACTUAL PRACTICE RANGE STUDIED		
	NO.	DESCRIPTION			MINIMUM	MAXIMUM	
							1
B U R D E N V A R I A B L E S	SLAG	1	SLAG FROM COKE ASH	+ 1 LB PER NTHM	+ .60	60	350
		2	SLAG FROM UNCALCINED CaCO_3 AND MgCO_3	+ 1 LB PER NTHM	+ .60	0	1000
		3	SLAG - ALL OTHER	+ 1 LB PER NTHM	+ .15	200	1800
	METALLIC-BEARING MATERIALS SIZE CONSIST	4	MINUS 20 MESH	+ 1 LB PER NTHM	+ .08	150	1200
		5	PLUS 20 MESH, MINUS 3/8 IN.	+ 1 LB PER NTHM	+ .04	400	1800
		6	PLUS 1 IN., MINUS 2 IN.	+ 1 LB PER NTHM	+ .03	100	1500
		7	PLUS 2 IN., MINUS 4 IN.	+ 1 LB PER NTHM	+ .04	0	1500
		8	PLUS 4 IN.	+ 1 LB PER NTHM	+ .10	0	600
			NOTE: "PLUS 3/8 IN. MINUS 1 IN." SIZE FRACTION IS THE REFERENCE OR "OPTIMUM" SIZE; ALL OTHER SIZE FRACTIONS ARE LESS DESTRIABLE AND, THUS, REQUIRE PLUS CARBON COEFFICIENTS.				
	OTHER	9	CHARGED SULPHUR IN TOTAL BURDEN	+ 1 LB PER NTHM	+5.0	7	35
		10	CHARGED FREE METALLICS	+ 1 LB PER NTHM	- .45	0	700
		11	CHARGED Fe CONTAINED IN IRON SILICATES	+ 1 LB PER NTHM	+ .30	7	7
12		CHARGED COMBINED WATER	+ 1 LB PER NTHM	+ .45	0	230	
HOT METAL ANALYSIS VARIABLES	13	SILICON	+ 1 PERCENT	+ 120.	.4	3.5	
	14	MANGANESE	+ 1 PERCENT	+ 20.	.1	5.0	
	15	PHOSPHORUS	+ 1 PERCENT	+ 20.	.1	1.8	
	16	SULPHUR	+ 1 PERCENT	SEE FIGURE 1	.020	.060	
OPERATING PRACTICE VARIABLES	17	HOT BLAST TEMPERATURE	+ 1 F	- .20	600	2000	
	18	WIND RATE	+1.0 CFM PER SQ FT WV	+ 100.	1.5	2.8	
	19	BLAST HUMIDITY	+ 1 LB H ₂ O PER NTHM	+ .25	20	200	
	20	DAYS ON STACK LINING	+ 1 DAY	+ .03	15	2700	
	21	METALLIC LOSS IN RUNNER AND LADLE SCRAP	+ 1 PERCENT	+10.	0	5.0	

Nota: NTHM = tonelada de gusa líquido.

2.2. *Carbono efetivo em função dos teores de cinza e enxôfre de coque*

2.2.1. *Definição do carbono efetivo* — Como todos nós sabemos, o carbono é o único constituinte do coque capaz de efetuar trabalho térmico e de redução no alto forno. Tendo isto em mente e não levando em consideração as características físicas do coque, o *valor econômico* de um coque, para o alto forno, será:

- Carbono fixo, menos (—).
- Porção deste carbono fixo que será consumida na fusão do seu conteúdo de cinza e eliminação do seu enxôfre, menos (—).
- Porção deste carbono fixo será consumida na dissociação da umidade do ar exigido para queima do carbono fixo.

A porção de carbono resultante é chamada *Carbono Efetivo*, isto é, carbono que será realmente utilizado no trabalho térmico e de redução no alto forno. A definição anterior, para qualquer coque dado, pode ser posta sob a forma de uma expressão quantitativa, aplicando os coeficientes da fórmula de Flint. Assim:

$$CE = CF - A - B - C - D$$

onde

CE = carbono efetivo

CF = carbono fixo

A = carbono utilizado para cinzas do coque

B = carbono utilizado para calcinar o CaCO_3 e MgCO_3 que serão utilizados na escorificação das cinzas do coque

C = carbono utilizado para eliminação do S do coque

D = carbono utilizado para dissociar a umidade do ar.

2.2.2. *Cálculo do carbono efetivo do coque atualmente utilizado em Volta Redonda* — No cálculo que se segue consideraremos a análise média do coque (com 40% de carvão nacional) consumido no mês de maio de 1963:

Carbono fixo — 85,40%

Cinzas:

$\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3$	11,92
$\text{CaO} + \text{MgO}$	0,31
óxido do Fe.Mn.P	1,57
	13,80
Total	13,80
Enxôfre	0,79

1) *Cálculo das variáveis da escória*

A — Escória das cinzas do coque: 13,80 — óxido
 $\text{Fe.Mn.P} = 13,80 - 1,57 = 12,23$

B — Escória do $\text{CaCO}_3 + \text{MgCO}_3$ não calcinada:

$$b_1 \text{ — bases necessárias} = (\% \text{ SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3) \times 1 = 11,92$$

$$b_2 \text{ — bases contidas nas cinzas} = (\% \text{ CaO} + \text{MgO}) = 0,31$$

$$b_3 \text{ — bases a serem fornecidas pelo calcário} = 11,92 - 0,31 = 11,61 = \text{escória do } \text{CaCO}_3 + \text{MgCO}_3 \text{ não calcinada.}$$

2) *Cálculo do carbono efetivo*

CF — carbono fixo no coque — 85,40

A — carbono para escorificação das cinzas.

Do quadro II da fórmula de Flint, verifica-se que 1 unidade de escória das cinzas do coque exige 0,6 unidade de carbono, logo:

$$A = 12,23 \times 0,6 = 7,34\%$$

$$B = \text{Carbono da escória do } \text{CaCO}_3 + \text{MgCO}_3 \text{ não calcinado.}$$

Da fórmula de Flint, 1 unidade de escória do CaCO_3 e MgCO_3 exige 0,6 unidades de carbono, logo:

$$B = 11,61 \times 0,6 = 6,96\%$$

3) *Carbono para enxôfre do coque*

Ainda de Flint, 1 unidade de S exige 5 unidades de carbono, logo:

$$C = 0,79 \times 5 = 3,95\%$$

4) *Carbono para umidade do ar*

Sabendo-se que:

1 kg de carbono requer 3,54 m³ de ar para sua queima, ou seja, 1 lb de carbono requer 57 pés cúbicos

de ar, e que a umidade do ar é de 29,75 gramas/m³ (13 grains/cuft), para queimar 1 kg de carbono do do coque seria levado ao forno, com o ar soprado $29,75 \times 3,54 = 105,32$ gramas de água.

Logo, para queimar 100 kg de coque ou 85,4 de carbono seria levado, pelo ar, ao forno:

$$85,4 \times 105,32 = 8.994,3 \text{ gramas} = 8,994 \text{ kg, de água.}$$

Da fórmula de Flint verifica-se que 1 unidade de água exige 0,25 unidades de carbono, logo:

$$D = 8,99 \times 0,25 = 2,25\%.$$

Logo, o carbono efetivo será:

$$\begin{aligned} \text{CE} &= 85,4 - (7,34 + 6,96 + 3,95 + 2,25) = \\ &= 85,4 - 20,50 = 64,90\% \end{aligned}$$

2.2.3. *Considerações a respeito do carbono efetivo* — No cálculo do carbono efetivo, preferimos não considerar o gasto na dissociação da umidade do ar, pois a umidade do ar auxilia a operação dos fornos, tanto assim que quase todos altos fornos modernos utilizam o controle desta unidade pela injeção de vapor na linha de ar frio. É óbvio que o aumento da umidade do sopro exige maior consumo de carbono que, às vezes, pode ser compensado pelo aumento da temperatura do sopro. O uso da injeção de vapor no ar soprado⁶ melhora o controle da temperatura do cadinho, aumenta a velocidade de marcha do forno (“driving-rate”) tornando-o mais regular e produzindo, em consequência, um aumento de 5% a 7% da produção, sem ou com pequeno aumento da relação coque-gusa (“coke-rate”). Como se vê, trata-se de mais uma ferramenta utilizada na operação dos altos fornos e, como tal, consideramos que o gasto de carbono, neste caso, é perfeitamente justificável; assim sendo, devemos adicioná-lo ao carbono efetivo.

Com base no raciocínio anterior, a fórmula de carbono efetivo será:

$$\text{CE} = \text{CF} - \text{A} - \text{B} - \text{C}$$

e o carbono efetivo do coque atualmente utilizado em Volta Redonda será de 67,15%. Verifica-se, pois, que no coque da atual mistura de carvões utilizada em Volta Redonda, 18,25% do carbono fixo serão consumidos dentro do próprio coque e, assim sendo, sem valor para efetuar trabalho externo efetivo, isto é, para redução e fusão.

2.3. *Carbono efetivo de coque de várias misturas de carvões* — No quadro 3, colocamos o carbono fixo, cinzas, enxôfre, perda de carbono dentro do coque e carbono efetivo em função das diferentes porcentagens de carvão nacional e importado, utilizadas na mistura a coqueificar.

QUADRO III

Coque de mistura de		7 C. Fixo %	CINZAS				7 S %	Perda de Carbono no coque %	C. efeti- vo %
			SiO ₂ + Al ₂ O ₃	CaO + +MgO %	Óxidos	Total			
100 %	C. Nacional	74,7	20,06	.36	3.38	23,8	1.05	29,32	45,38
90 %	C. Nacional	76,4	18,58	.35	3.17	22,1	.99	27,24	49,16
80 %	C. Nacional	78,1	17,10	.35	2.95	20,4	.94	25,22	52,88
70 %	C. Nacional	79,8	15,64	.34	2.72	18,7	.88	23,17	56,63
60 %	C. Nacional	81,5	14,15	.34	2.51	17,0	.83	21,13	60,37
50 %	C. Nacional	83,2	12,67	.33	2.30	15,3	.77	19,05	64,15
40 %	C. Nacional	84,9	11,20	.32	2.08	13,6	.71	16,99	67,91
30 %	C. Nacional	86,6	9,72	.32	1.86	11,9	.66	14,96	71,64
20 %	C. Nacional	88,3	8,24	.32	1.65	10,2	.61	12,93	75,39
10 %	C. Nacional	90,0	6,76	.31	1.43	8,5	.55	10,86	79,14
0 %	C. Nacional	91,7	5,27	.31	1.22	6,8	.49	8,77	82,93

Nota:

Carvão nacional com 17,5% cinzas e 1,5% de enxôfre;

Carvão importado com 5,0% cinzas e 0,6% de enxôfre.

Como se verifica pelo quadro 3, grande é a quantidade de carbono consumido para eliminar a cinza e enxôfre do próprio coque com o aumento da porcentagem do carvão nacional na mistura a coqueificar.

3. RELAÇÃO COQUE-GUSA ("COKE-RATE") EM FUNÇÃO DO CARVÃO NACIONAL

3.1. *Valor da atual relação coque-gusa se o coque fôsse de 100 e ou 0% carvão nacional* — Tendo em vista os valores do quadro 3 e a relação coque-gusa de 746 kg (média do forno n.º 2 no ano de 1962), verificaremos quais seriam os valores desta relação quando a porcentagem de carvão nacional, na mistura para coque, fôsse de 100 e ou 0%. Como já nos referimos anteriormente, na mistura de carvões para obtenção do atual coque são utilizados 40% de carvão nacional, cujo carbono efetivo teórico é 67,91% (real — 67,15%) logo, 746 kg de coque 40% C.N. fornecerão 507 kg de carbono efetivo que, por sua vez, exigiriam:

1.117 kg de coque 100% C.N., ou

611 kg de coque 0% C.N.

ou seja, nas *atuais condições* de operação dos nossos altos fornos, se utilizássemos coque de 100% C.N. a relação coque-gusa seria de 1.117 kg e se 0% C.N. de 611 kg.

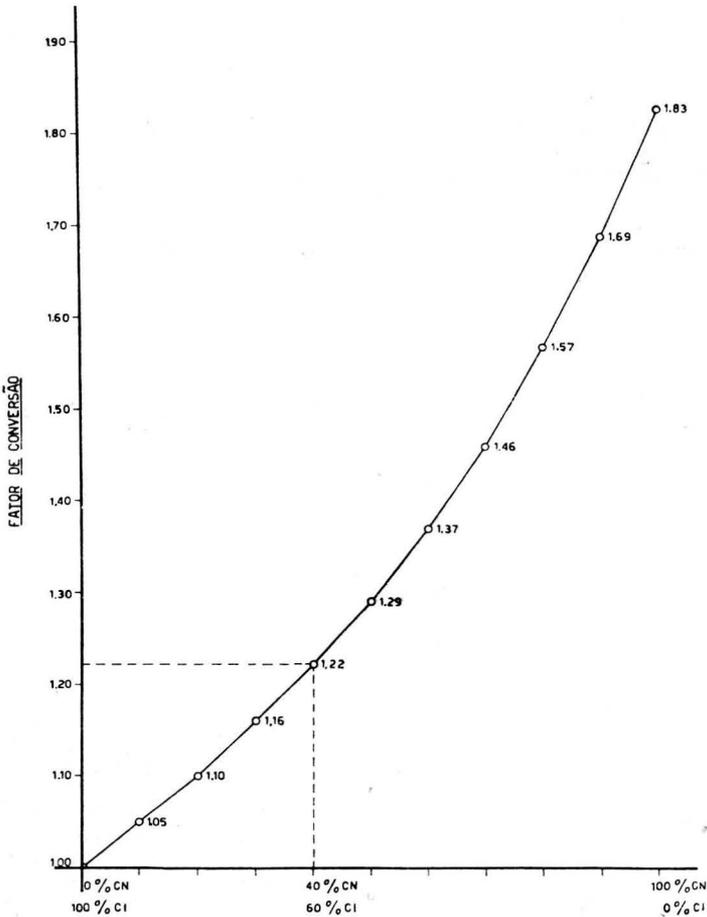


Fig. 2 — Curva do fator de conversão da relação coque/gusa.

CN = carvão nacional; CI = carvão importado.

É claro, porém, que êstes resultados só serão válidos se tôdas as demais condições que influem na relação coque-gusa fôsssem mantidas constantes, inclusive o próprio estado interno do forno e as características físicas do coque. Quanto a estas, porém, com o aumento da porcentagem de carvão nacional, quase certamente serão menos favoráveis à operação dos fornos.

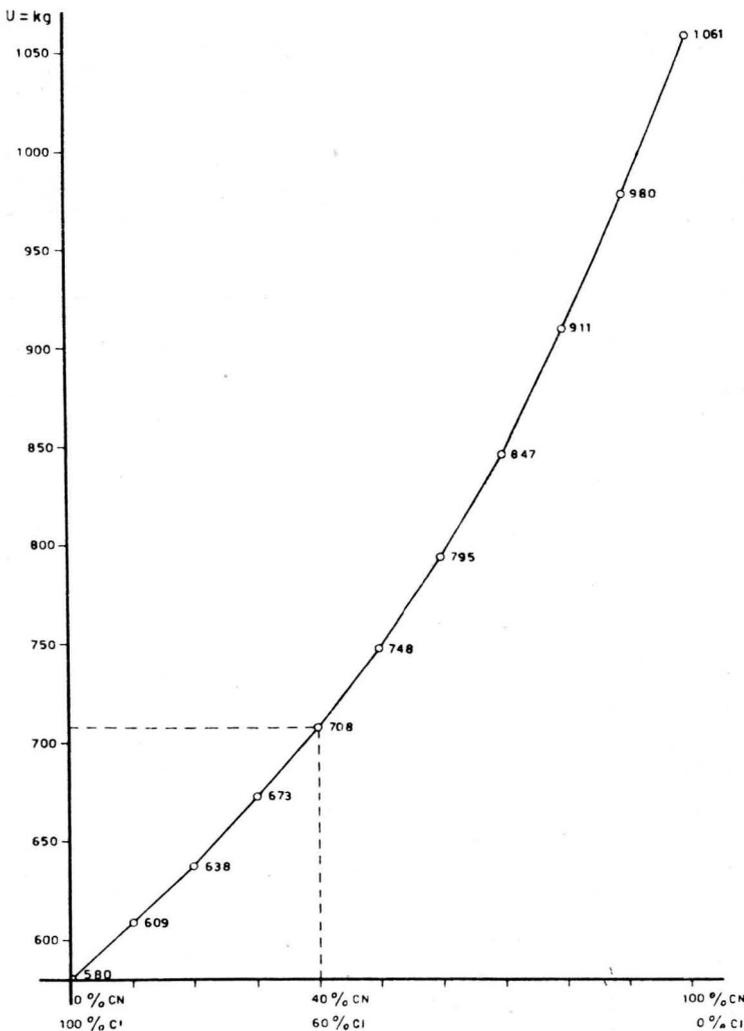


Fig. 3 — Relação coque/gusa em quilos.

CN = carvão nacional; CI = carvão importado.

O gráfico dos dados operatórios dos fornos mostra que nos anos de 1947 e 1948, quando os teores de cinza e enxôfre do coque eram altos, a relação coque-gusa era superior a 1.000 kg, atingindo média mensal superior a 1.100 kg. É verdade que as condições eram diferentes das atuais, mas não tão radicalmente diferentes que justificassem tão grande aumento da relação coque-gusa, a não ser os elevados teores de cinza e enxôfre.

3.2. *Relação coque-gusa em função do carvão nacional* — Em vista dos resultados anteriores, evidentemente, de alto valor econômico, calculamos e colocamos em uma curva (fig. 2), o *fator de conversão* da relação coque-gusa para as diferentes porcentagens de carvão nacional e importado, tomando como *fator 1* o coque de mistura de 0% C.N. e 100% C. importado.

A fórmula de cálculo da relação coque-gusa para as diferentes porcentagens de carvão nacional será:

$$\begin{aligned} & \text{coque por tonelada de gusa produzido com } x \% \text{ C.N.} = \\ & = \text{coque/t gusa produzido com } 0\% \text{ C.N.} \times \text{fator de} \\ & \text{conversão.} \end{aligned}$$

A figura 2 fornece o fator de conversão para cada porcentagem de carvão nacional. A figura 3 é um exemplo de aplicação da fórmula anterior, onde foi tomada como base uma relação coque-gusa de 580 kg (atualmente conseguida pelos altos fornos japoneses e americanos) com coque de 100% C importado. Por esta curva concluímos ser falsa a comparação da relação coque-gusa ("coke-rate") de um alto forno com outro qualquer, se não se fizer uma comparação de tôdas as matérias primas, principalmente o coque (não só de suas características químicas mas físicas também) e o processo de operação dos mesmos. Com auxílio da referida curva verifica-se que, num mesmo alto forno, mantidas constantes tôdas as demais condições, a relação coque-gusa varia entre limites extremos com a variação da cinza e enxôfre do coque utilizado.

Do exposto, é fácil concluir que os altos fornos, como os nossos, que utilizam coque com alto teor de cinza e enxôfre, não podendo evitar esta condição, terão que melhorar os demais fatores que influem na relação coque-gusa e produção. Entre êstes melhoramentos inclui-se: a injeção de óleo combustível nas ventaneiras (que já está em fase de montagem nos altos fornos da C.S.N.); o uso de sôpro com mais altas temperaturas; enriquecimento do ar; completo beneficiamento de tôdas as matérias primas⁸; uso de maior porcentagem de sinter na carga⁹ ou, se necessário, o uso das pelotas; alta pressão no tópo; etc.

Desejamos, porém, salientar que, mesmo com todos os melhoramentos possíveis, para efeito de comparação de produção e relação coque-gusa dos nossos altos fornos com outros altos fornos do Brasil ou de outros países ter-se-á que fazer cuidadoso estudo das nossas condições e das dos outros. Ainda, que a nossa relação coque-gusa é sempre mais alta e a produção simultaneamente mais baixa, quando se utiliza coque de mistura com maiores porcentagens de carvão nacional.

3.4. *Conclusão* — A relação coque-gusa (“coke-rate”) sempre aumenta quando se utiliza coque de maiores porcentagens do *atual* carvão nacional e que, se tomarmos como 1.00 o fator de conversão daquela relação com coque 0% C.N., este fator varia de 1 a 1,83 quando o carvão nacional na mistura varia de 0% a 100%, conforme figura 2.

4. CAPACIDADE DOS FORNOS EM FUNÇÃO DOS TEORES DE CINZA E ENXÔFRE DO COQUE

4.1. *Considerações* — A fim de se utilizar maior quantidade de carvão nacional na mistura para coque poder-se-ia argumentar: “*Não há importância em aumentar a relação coque-gusa (“coke-rate”), pois as despesas seriam em cruzeiros e não em dólares*”. Isto não é exato, pois o forno tem uma capacidade limitada para queimar carbono (Rice) e a *capacidade do forno*, como provaremos abaixo, seria reduzida quando queimássemos coque com mais altos teores de cinza e enxôfre ou, em outras palavras, de coque com mais alta porcentagem do atual carvão nacional. Havendo a redução da produção de gusa haveria a conseqüente redução da produção de aço e, portanto, a necessidade de divisas para compra do aço, de que necessita o país, ou investimento em novos altos fornos e coquerias. Ter-se-ia que verificar, do ponto de vista econômico, qual seria a melhor solução.

É claro que outros fatores tais como política social, estratégica, etc., poderiam influir no mesmo problema, além, evidentemente, do ponto de vista operacional. Seria necessário verificar se o coque produzido possuiria características físicas (porosidade, estabilidade, dureza, etc.) que permitissem uma operação normal dos fornos. Na solução de problemas de tal monta não se deveria esquecer de que o carvão é uma matéria prima e não um produto acabado.

4.2. *Influência da cinza e enxôfre do coque na capacidade dos altos fornos da C.S.N.* — Consideraremos, neste estudo, os fornos trabalhando com “Rice Rating” de 96% e as rela-

ções coque-gusa de 776 e 746 kg para os fornos n.º 1 e n.º 2, respectivamente (médias de 1962), e que tôdas as demais variáveis que influem na relação coque-gusa sejam mantidas constantes, inclusive as características físicas do coque. Com os dados acima e, sabendo-se que o atual coque tem 85,4% de carbono fixo, as capacidades atuais, *não mais nominais*, dos nossos altos fornos, seriam:

$$\text{Forno n.º 1} = \frac{951}{776} = 1.225 \text{ t/dia}$$

$$\text{Forno n.º 2} = \frac{965}{746} = 1.293 \text{ t/dia}$$

logo, forno n.º 1 + forno n.º 2 = 2.518 t/dia.

Sabendo-se que o atual coque possui 67,15% de carbono efetivo, com auxílio do quadro 3, construímos a curva da figura 4, na qual colocamos a produção dos fornos em função da quantidade de carvão nacional, considerando, é claro, constantes todos os demais fatores que influem na relação coque-gusa.

É óbvio, também, que a capacidade dos fornos não ficaria limitada pelos números dados na figura 4, pois podemos operar e muitas vezes operamos nossos fornos com "Rice Rating" superior a 100%, até mesmo, como já referimos anteriormente, acima de 115%. Sendo mantida a relação coque-gusa ou se a mesma aumentar pouco, podemos aumentar consideravelmente a produção. Também, é claro, esta capacidade fica aumentada com o abaixamento da relação coque-gusa ("coke-rate").

4.2.1. *Capacidade dos altos fornos da C.S.N. no caso da relação coque-gusa ser de 650 kg* — Para exemplo, suporemos, agora, o caso em que melhorássemos as condições de operação dos nossos altos fornos de modo a obtermos uma relação coque-gusa de 650 kg (que corresponderia, por exemplo, a 526 kg de coque de 100% C importado ou 565 kg de coque como o utilizado pela "Fuji-Iron" do Japão) e, além disso, que os fornos trabalhassem com "Rice Rating" de 96%. Nas condições acima, poderíamos produzir:

$$\text{Fornos n.º 1 + n.º 2} = \frac{1916}{650} = 2.947 \text{ t gusa/dia}$$

Nas mesmas condições, se o coque utilizado fôsse 100% C.N. a produção seria de 2.277 e t 0% C.N. seria de 3.385 t/dia.

Evidentemente, se melhorados, como dissemos, todos os fatores possíveis da relação coque-gusa e se os fornos operarem

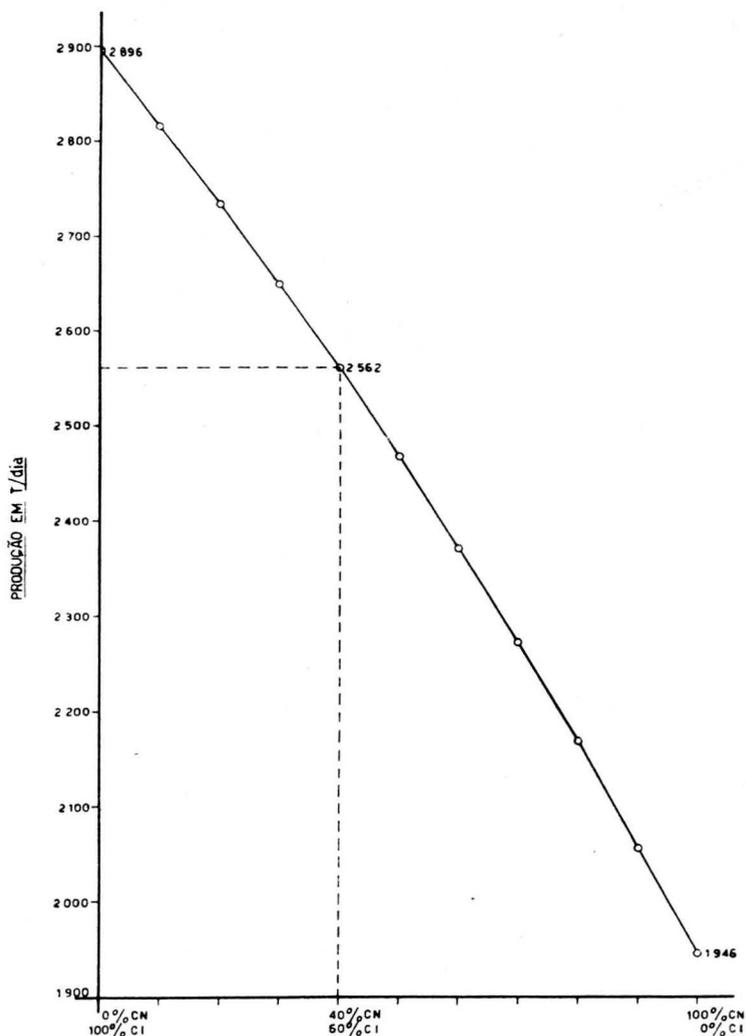


Fig. 4 — Capacidade de produção dos altos fornos da CSN em função da porcentagem de carvão nacional no coque.
 CN = carvão nacional; CI = carvão importado.

com “Rice Rating” mais alto e se fôr mantida mesma ou pouco mais elevada relação coque-gusa, a produção poderá ser muito maior que as indicadas anteriormente.

4.3. *Conclusão* — De tudo que foi exposto, se verifica que a utilização de coque de porcentagens elevadas de carvão nacional reduz a capacidade de produção e aumenta a relação coque-gusa (“coke-rate”) dos altos fornos, além de, certamente, dificultar a marcha do forno pròpriamente dita.

Como somos obrigados, quase por uma contingência nacional, a utilizar coque de mistura com 40% de carvão nacional, a fim de podermos melhorar as condições de operação dos nossos altos fornos e aumentar a sua produção, teremos que concentrar nossos esforços nos outros fatores que influem na relação coque-gusa, tais como: melhoria da composição química e granulométricas de tôdas as matérias primas; utilização de maiores porcentagens de sinter ou pelotas na carga; utilização de sôpro de mais alta temperatura; contrôle da umidade do ar; enriquecimento do ar; etc. Merece, na nossa opinião, destaque especial a injeção de óleo combustível nas ventaneiras que acreditamos será, no nosso caso particular, um excelente fator de regulamentação da marcha dos fornos.

E para concluir, mais uma vez desejamos salientar que nada é mais falso do que comparar a produção e a relação coque-gusa ("coke-rate") de dois altos fornos de mesmas dimensões, se não forem feitos estudos cuidadosos de tôdas as matérias primas e dos processos operacionais utilizados pelos mesmos.

BIBLIOGRAFIA

1. RICE, Owen, R. — *Some aspects of the Blast Furnace situation in the United States.*
2. RICE, Owen R. — *The dimensions and Rating of the Blast Furnace.*
3. RICE, Owen R. — *Survey of the Blast Furnace situation at Volta Redonda and its application to extend Blast Furnace facilities.*
4. FLINT, R. V. — *Multiple correlation of Blast Furnace variables.* Proceeding AIME, 1955.
5. FLINT, R. V. — *Effect of burden materials and practices on Blast Furnace coke-rate.* Blast Furnace and Steel Plant, January, 1962.
6. WILSON, J. Richard — *Blast Furnace operation with humidified blast.* Proceeding AIME, 1858.
7. MOTTA, W. de Almeida — *Caracteres coqueificantes do carvão nacional.* ABM-Boletim, maio de 1961.
8. MAC DONALD, N. D. — *Effect of screened sinter on Furnace Productivity.* Proceeding AIME, 1961.
9. DOY, Y. and KASAI, K. — *The making of self-fluxing sinter and the Blast Furnace Practice with 100 per cent sinter burden.* Proceeding AIME, 1959.
10. DANCY, T. E.; SADLER, A. T. and LANDER, H. N. — *Process Analysis of Blast Furnace operation with Oxygen and Steam.* Proceeding AIME, 1958.
11. BAILEY, R. David — *Burdening a Blast Furnace for minimum costs.* Proceeding AIME, 1956.
12. PHILBROOCK, W. O. — *Analysis of factors that limit the production rate and the coke-rate in the Iron Blast Furnace.* Proceeding AIME, 1954.
13. RICHARDS, Joseph W. — *Metallurgical calculation.* 1.^a edição — 1918. Mc Graw-Hill — N. Y.
14. COLPAERT, Hubertus — *Metalografia dos produtos siderúrgicos comuns.* 2.^a edição.

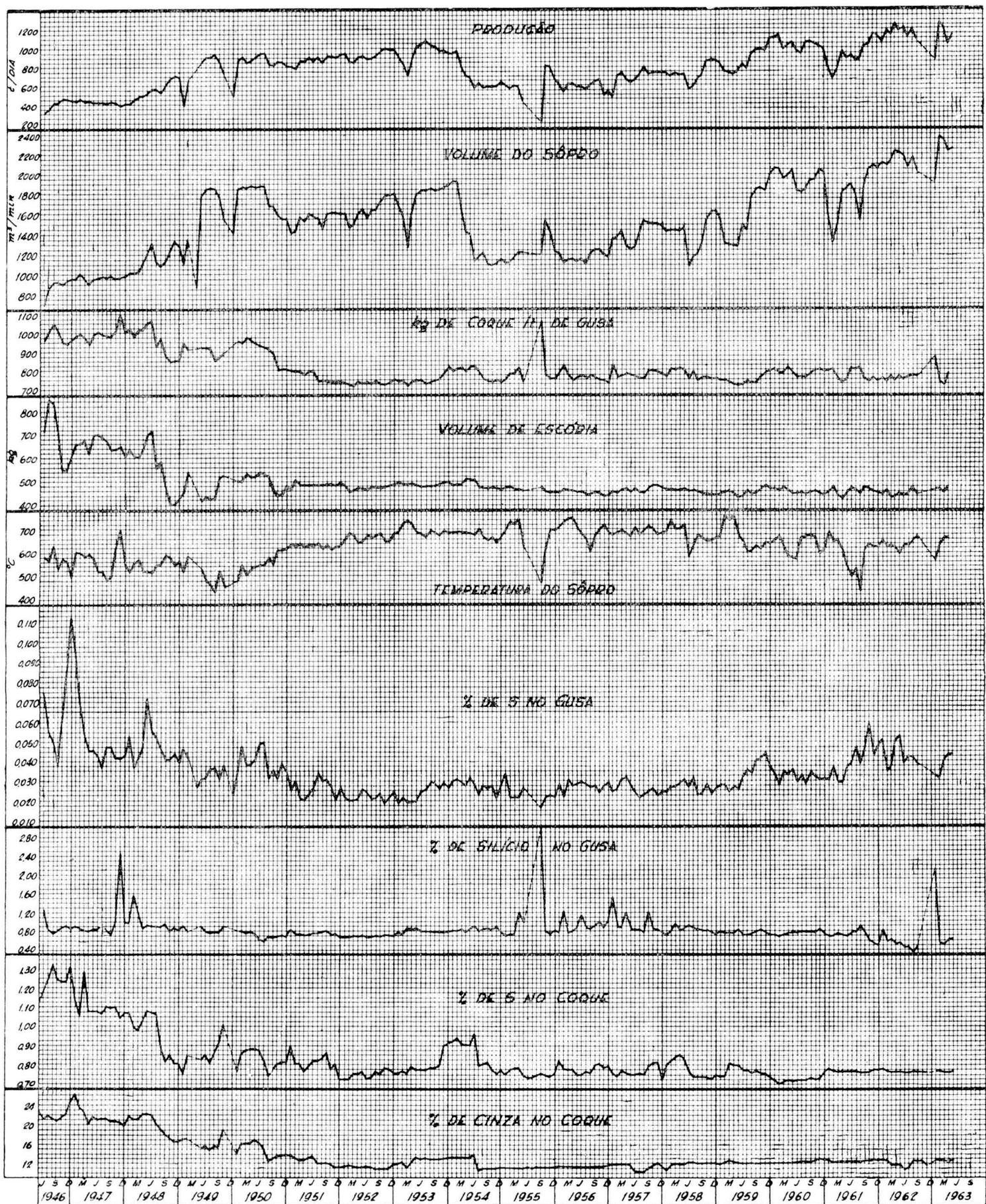


Fig. 5 — Principais dados operatórios do alto forno n.º 1 da Usina de Volta Redonda, da CSN.

1.2. *Matérias primas* — As matérias primas a serem usadas nos altos fornos são recebidas em silos; todo o tratamento anterior está a cargo da Divisão de Preparação, inclusive o de sinterização. Para cada alto forno existem 10 silos, de concreto, com 180 m³, revestidos interiormente por chapas de aço de 20 mm de espessura. A descarga para a tremonha de pesagem, situada abaixo dos silos, é feita por alimentador vibratório, com capacidade para 200 t/h.

As tremonhas são em número de cinco, uma para cada dois silos; a capacidade de pesagem é de 5 t. Das tremonhas até os “skips”, o transporte é feito por correias transportadoras, em número de duas, em série, com 1,2 m de largura e capacidade de 500 t/h.

Para cada alto forno existem quatro silos para coque, com a parte inclinada revestida de chapa de 16 mm; a descarga é feita por alimentador vibratório. Abaixo dos silos, temos duas linhas de correias, uma para cada dois silos. Cada correia alimenta uma peneira vibratória, de barras, com abertura de 10 mm. Após as peneiras, por duas correias em série, o coque é transportado até a tremonha de pesagem de coque, que fica acima do “skip”. Os alimentadores, peneiras e correias têm capacidade para 100 t/h. Características das tremonhas de pesagem (duas unidades): volume interno 10 m³; pesagem máxima 5 t; precisão das pesagens 10 kg.

Coque fino — Os finos retirados pelas peneiras vão, por correia transportadora, até um elevador de caçambas e, por este, até os silos, de onde são retirados por caminhão. Todo esse equipamento é operado por controle remoto, situado em uma sala de controle, onde também são operados os controles do “skip” e dos aparelhos de carga.

A lubrificação é centralizada. Há captação de poeira junto às peneiras de coque n.º 1 e n.º 2 e abaixo da tremonha do “skip”.

1.3. *Alto forno* — Nas figuras 1 e 2, damos cortes esquemáticos do alto forno e do regenerador; figuram as cotas principais, a espessura e natureza dos revestimentos. O alto forno é de tipo misto, entre o sistema americano e alemão. Possui “maratre” para sustentação da cuba; todo o aparelho de carregamento é sustentado por uma estrutura externa, independente. Possui um furo para corrida de gusa e dois furos para escória. As ventaneiras, em número de 16, com \varnothing 130 mm, são de cobre puro, ainda importadas do Japão.

REUNIÃO ABERTA SÔBRE
"OPERAÇÃO DE ALTOS FORNOS"

II PARTE

INÍCIO DE OPERAÇÃO DO ALTO FORNO
NÚMERO 1 DA USIMINAS ⁽¹⁾

HITOSHI SUEMATSU ⁽²⁾	TOSHINOBU NAGAOKA ⁽²⁾
JOSÉ BARROS COTA ⁽²⁾	TOSHIO KIDERA ⁽²⁾
NOBUYOSHI BABA ⁽²⁾	LAURO CESAR DE ABREU ⁽²⁾

RESUMO

Os Autores, depois de descrever os altos fornos e instalações da Usina "Intendente Câmara" da USIMINAS, em Ipatinga, MG, mostram as operações de secagem dos regeneradores e do alto forno. Dão detalhes do leito de fusão, do carregamento e do início do sôpro. Os siderurgistas japoneses responsáveis pela tarefa, traziam a experiência de operações análogas daquele país. Foi conduzida com minúcias de controles e de medidas que a USIMINAS põe à disposição de usinas irmãs que se defrontem com problema análogo.

1. OS ALTOS FORNOS E SUAS INSTALAÇÕES

1.1. *Introdução* — Para sua etapa inicial, a USIMINAS instalou dois altos fornos e cinco regeneradores. O projeto e construção estiveram a cargo da Ishikawajima Heavy Industries Co. Ltda., firma essa que supervisionou a montagem. A estrutura metálica teve início em março de 1961; os refratários começaram a ser assentes em agosto do mesmo ano. A secagem foi iniciada em outubro de 1962 e a operação teve início em 26 do mesmo mês.

(1) Contribuição Técnica n.º 524. Apresentada e discutida na Reunião Aberta citada, do XVIII Congresso Anual da ABM; Belo Horizonte, MG; julho de 1963.

(2) Membros da ABM e Engenheiros da Usinas Siderúrgicas de Minas Gerais «USIMINAS»; Usina Intendente Câmara; Ipatinga, MG.

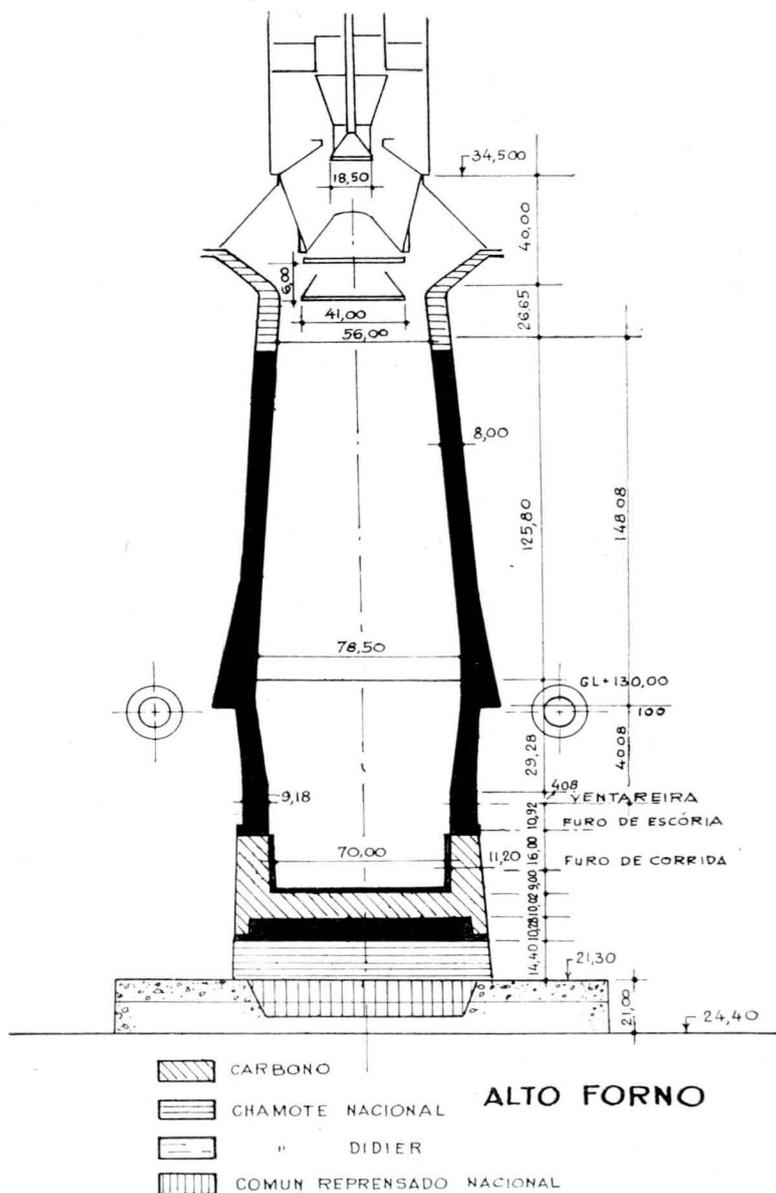


Fig. 1 — Cortê esquemático do alto forno da Usina «Intendente Câmara», em Ipatinga, MG.

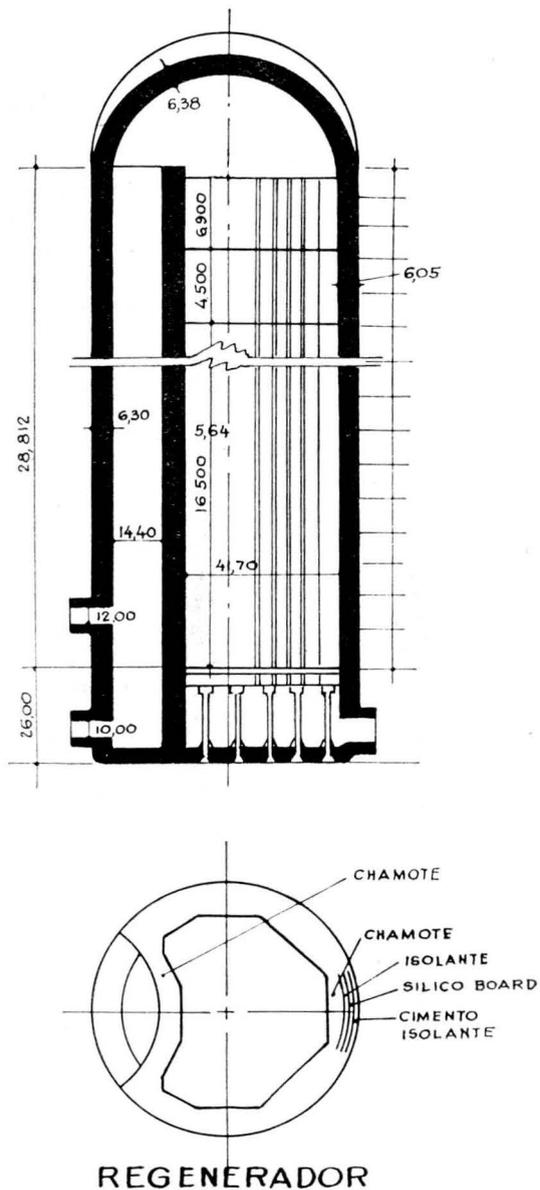


Fig. 2 — Corte esquemático do Regenerador da Usina «Intendente Câmara» da USIMINAS; Ipatinga, MG.

Caixas de resfriamento — São em número de 942 e vão até a parte superior da cuba. Estão assim distribuídas: região das ventaneiras — 30; rampa — 240; cuba — 672. Além destas, existem mais três caixas circundando o furo de corrida, sendo uma horizontal e duas verticais. A parte superior é protegida por placas de ferro fundido.

Aparelho de carga do tampo — De duplo cone, com distribuidor rotativo Mc Kee; selo de graxa, com lubrificação centralizada.

Cone pequeno: curso — 900 mm; capacidade de carga — 8,5 t normal e 10 t no máximo. *Cone grande*: curso — 600 mm; capacidade de carga — 17 t normal e 20 t no máximo.

Guinchos dos cones — Cada um é operado por motor de 50 HP com redução de 1/240; tempo de operação — 20 segundos. Os montas cargas têm capacidade média diária para 110 cargas, podendo atingir 140 cargas.

Outras características: inclinação da ponte — 50°30'; extensão da ponte — 58 m; volume do "skip" — 10 m³; capacidade normal do "skip" em minério — 8,5 t; idem para coque — 3,25 t. Uma carga se compõem de 4 "skips", isto é, minério — minério — coque — coque.

Guincho — Acionado por dois motores independentes de 200 HP; 415 r.p.m. O guincho pode ser operado por um só motor, tendo nesse caso sua capacidade reduzida de 25%. Os motores do guincho são movidos por corrente contínua, fornecida por um grupo motor-gerador.

Sondas — Em número de duas, com 6 m de comprimento, velocidade de 25 m/min; acionadas por motores de 7,5 HP de corrente alternada.

Válvulas de sangria (bleeders) — São em número de três, operadas manualmente por cabos de aço, sendo duas operadas da plataforma de corrida e a terceira da estação de tratamento de gás.

Abertura e fechamento do furo de gusa — A abertura é feita em dois períodos. Inicialmente por uma broca rotativa \varnothing 50 mm e em seguida por broca de percussão \varnothing 38 mm. Todo o equipamento é montado sobre uma única estrutura e operado a ar comprimido, a uma pressão de 7 kg/cm².

A obturação do furo de gusa é feita em três fases:

- Movimento horizontal: giro de 120°; tempo — 10 segundos; motor de 5 HP e 1.200 r.p.m.
- Inclinação: tempo — 5 segundos; inclinação — 18°; motor de 25 HP e 720 r.p.m.
- Obturação: tempo de operação — 45 segundos; motor de 25 HP e 720 r.p.m.

O cilindro do canhão tem 500 × 1050 mm, com capacidade para 0,2 m³ de pasta.

Abertura e fechamento dos furos de escória — A abertura é feita por martetele pneumático de percussão; o fechamento por tampão resfriado a água, montado em uma estrutura e operado a ar comprimido.

Granulação da escória — Existe um tanque de granulação para cada alto forno, com capacidade para 100 m³. A escória é retirada do poço para os silos de escória por meio de uma ponte com draga. A retirada da escória dos silos para a Sinterização ou outra aplicação, pode ser feita por caminhões ou vagões ferroviários.

Vapor — Temos duas linhas para injeção de vapor, nos seguintes pontos: tópo do forno (2 pontos) e balão de poeira (2 pontos).

Ar comprimido — Temos três compressores, com capacidade para 18 m³ por minuto e pressão de 8,5 kg/cm². O ar comprimido é levado para os seguintes pontos: perfurador de furo de corrida; martetele de furo de escória; obturador de furo de escória; resfriamento do canhão obturador; estampador das bicas de corrida; secagem das bicas e para limpeza em geral.

Água de refrigeração — Tôda a água de refrigeração do alto forno e válvulas de ar quente é fornecida pela estação de bombeamento n.º 2. Para alimentação da rampa, ventaneiras e válvulas de ar quente, temos um depósito elevado de emergência, com capacidade para 360 m³. Em caso de necessidade, êste depósito alimenta as referidas regiões durante 10 minutos, para cada alto forno.

Instrumentação — Temos para o alto forno os seguintes instrumentos de controle (ver Nota):

Temperatura do tampo	5 unidades
Temperatura da cuba	12 unidades
Temperatura da água das ventaneiras	17 unidades
Temperatura do cadinho	5 unidades
Pressão do ar quente	1 unidade
Temperatura do ar quente	1 unidade
Pressão do gás no tampo	1 unidade
Pressão do gás no balão de poeira	1 unidade
Nível da carga	2 unidades
Volume de ar quente	1 unidade
Volume de ar frio	1 unidade
Volume de gás depurado	1 unidade
Volume de vapor	1 unidade
Temperatura do ar frio	1 unidade
Temperatura do gás depurado	1 unidade
Contador do número de cargas	1 unidade
Porcentagem de H ₂ no gás do tampo	1 unidade
Porcentagem de CO ₂ no gás do tampo	1 unidade

Tijolos refratários — São os seguintes os tipos e a tonagem dos tijolos usados no alto forno e na tubulação de ar quente: Base — tijolo reprensado — 140 t; Soleira, rampa, ventre e cuba — tijolos sílico — aluminosos — 1.400 t; Cadinho — blocos de carbono, 237 t; Tubulação de ar quente e anel de vento, tijolos sílico — aluminosos — 190 t e tijolos isolantes — 60 t; Tubulação de tomada de ar, tijolos sílico aluminosos — 60 t.

1.4. *Regeneradores ("cowpers")* — Temos cinco regeneradores construídos e um sexto em montagem; podem ser operados manual ou automaticamente. Dados:

- Área de aquecimento: 20.000 m², com empilhamento dividido em três zonas. Capacidade dos queimadores: 25.000 + 5.000 Nm³/hora.
- Empilhamento sobre grelhas sustentadas por colunas. Todas as válvulas são da Zimmermann e da Jansen.

NOTA: O início de operação do Alto Forno N.º 1 de USIMINAS foi cercado de controles minuciosos, mediante esse conjunto de aparelhos de medida e mais os do Regenerador. Os dados especializados colhidos estão a disposição das usinas irmãs que se defrontem com operação análoga.

Tubulações — As de ar quente, inclusive as da parte que circunda o forno (anel de vento) são de \varnothing 2.000 mm e de \varnothing 1.200 mm. Revestimento, da parte interna para a periferia: chamote — 172 mm; isolante — 172 mm; “Silica board” — 25 mm; cimento isolante — 26 mm.

As demais tubulações, em função da vazão desejada, têm diâmetros que oscilam entre 800 mm e até 2.000 mm, no caso da tubulação de gás sem depurar.

Instrumentação — Para os regeneradores temos os seguintes instrumentos de controle:

Temperatura do ar quente	1 unidade
Temperatura do ar quente na saída dos regeneradores	3 unidades
Temperatura do domo	3 unidades
Temperatura da fumaça	3 unidades
Temperatura do ar frio	1 unidade
Temperatura do gás depurado	1 unidade
Pressão do gás depurado	1 unidade
Porcentagem de O ₂ na fumaça	3 unidades
Volume do gás admitido no queimador	3 unidades
Volume do ar de combustão	3 unidades

Tijolos refratários — São os seguintes os tipos e a tonelagem dos tijolos refratários usados em cada regenerador: empilhamento — 696 t de tijolos sílico — aluminosos — 815 t; argamassa refratária — 83 t; concreto refratário — 13 t; cimento isolante — 6 t; lã de escória — 3 t.

1.5. *Preparação da pasta* — As pastas destinadas ao canhão obturador e às bicas de corrida de gusa e escória, são preparadas próximo ao alto forno, contando com as seguintes instalações: duas galgas, um tanque de alcatrão com capacidade para 19 m³ e silos para estocagem de materiais. Da sala de preparação até ao alto forno e lingotadeiras, as pastas são transportadas em caminhões.

1.6. *Máquinas de lingotar (Lingotadeira)* — Foram instaladas duas máquinas de lingotar, sendo cada uma com duas cadeias de lingotamento, cada cadeia contando com 288 moldes. Capacidade de cada máquina — 100 t/hora. Características: Distância entre eixos — 45 m; tipo de rolo estacionário; velocidade entre 5 e 10 m/minuto; cada coquilha (molde) dá dois lingotes de aproximadamente 15 kg. Os lingotes são descarregados diretamente em vagões ferroviários.

1.7. *Depuradores de gás* — Tipo Cottrel úmido, dos fabricantes Bischott, Zschoke e Jungers. Para a limpeza dos gases foram instalados 3 cottrels, cada um com capacidade de 60.000 Nm³/hora. Cada cottrel é constituído de torre de lavagem e de precipitador eletrostático.

Torre de lavagem — Com \varnothing 5 m e 25 m de altura; de chapas de aço; com 10 chuveiros internos em linha vertical. Os 6 chuveiros superiores são alimentados com água da rêde, por meio de bombas. Os 4 chuveiros inferiores são alimentados com água recirculada por meio de bombas. Gás e água têm movimentação inversa na torre. Consumo de água: 240 m³/hora, por torre.

Ao entrar na torre, o gás está em média com: temperatura — 150°C a 200°C; pressão — 400 g/cm²; pó em suspensão — de 5 a 7 g/Nm³.

Ao sair da torre, o gás apresenta: temperatura — 35°C; pressão — 390 g/cm²; pó — 0,8 g/Nm³.

Bombas — Para a recirculação da água dos 4 chuveiros inferiores, existem 3 bombas de 120 m³/hora; 5 kg/cm² de pressão e motor de 50 HP. Para a água de alimentação direta dos 6 chuveiros superiores, existem 4 bombas de 270 m³/hora; pressão de 4 kg/cm² e motor de 67 HP.

Precipitador eletrostático — Constituído por eletrodos e placas, em três câmaras. Número de placas por câmara — 19; distância entre placas — 30 cm; número de eletrodos — 360; distância dos eletrodos às placas — 15 cm. Para a água que circula constantemente nos precipitadores, existem 98 bocais pulverizadores. Para água de lavagem, existem 120, 120 e 80 injetores respectivamente na primeira, na segunda e na terceira câmaras. Quanto ao consumo de água, em operação contínua é de 30 m³/hora; para lavagem — 30 m³ cada vez.

Energia elétrica — A corrente é retificada por um retificador de selênio, com 50.000 V e 0,35 A, em operação normal. O consumo de energia é da ordem de 0,35 kW por 1.000 m³ de gás. Transformadores: primário — 440 V; secundário — 180 — 510 V; retificador — 28.000 a 69.000 V; normal — 50.000 V.

Todo o equipamento do precipitador é operado de uma cabine de contrôle central. Grau de purificação a plena carga — 0,005 g/Nm³.

1.8. *Sopradores* — Um para cada alto forno e um de reserva; fabricados pela Toshiba; acionados por motores elétricos de indução, acoplamento direto e turbina axial horizontal.

Capacidade normal — 1.100 m³/minuto, pressão de 1,3 a 0,7 kg; capacidade máxima — 1.400 m³/minuto, com pressão de 1,2 a 0,7 kg.

Motor de acionamento: síncrono de 60 ciclos e 4.400 HP e 3.600 r.p.m.; limite de controle de velocidade — 30%; velocidade crítica — 1.900 r.p.m.; lubrificação forçada; resfriamento dos mancais à óleo. O controle de velocidade é feito por resistência líquida; pode ser operado manual ou automaticamente, por meio de um sistema "Askania".

1.9. *Gasômetro* — Para o gás de alto forno, existe um gasômetro de 40.000 m³.

2. SECAGEM DOS REGENERADORES

2.1. *Introdução* — Para a secagem dos regeneradores, como também para a do alto forno, os planos foram traçados de acordo com os métodos empregados, com bons resultados, nas usinas da Yawata, no Japão. Nelas, o tempo de secagem têm variado entre 30 e 50 dias, sendo a secagem geralmente feita por meio da combustão de gás de alto forno. Devido ao uso de carvão de madeira, a secagem dos nossos regeneradores foi programada para 60 dias.

2.2. *Plano de secagem* — O plano inicial de secagem levou em conta a data de 26 de setembro como a do acendimento do alto forno. Teríamos, primeiro, 60 dias de secagem com carvão de madeira; no dia 26 de agosto iniciáramos a queima de gás de coqueria nos regeneradores, iniciando-se então a secagem do alto forno com ar quente, prolongando-a até o dia 17 de setembro. Após termos iniciado a operação, a data do acendimento do alto forno foi transferida para o dia 26 de outubro. Prolongamos então a secagem até o dia 3 de outubro, dia em que começamos a queima de gás de coqueria nos regeneradores e a secagem do alto forno com ar quente.

2.3. *Secagem propriamente dita* — Foi montado um forno de secagem para cada regenerador. Os gases quentes provenientes da combustão do carvão de madeira eram introduzidos no interior do regenerador por meio de tubulações \varnothing 50 cm e 150 cm de comprimento, que ligavam o forno a uma porta de inspeção (manhole).

Com tiragem natural a quantidade de carvão queimado varia de 75 a 110 kg por hora, por metro quadrado de grelha. A quantidade máxima de carvão queimado seria então 1927 kg. Para o cálculo da elevação média diária da temperatura do dôm, empregou-se a seguinte fórmula:

$$F = \frac{P \times P_c \times \rho_c \times \rho_r}{M \times C}$$

P — Pêso do carvão queimado em 1 dia

P_c — Poder calorífico do carvão

ρ_c — Rendimento da combustão

ρ_r — Rendimento do regenerador

M — Pêso total dos tijolos

C — Calor específico dos tijolos

$$\bar{t} = \frac{800 \times 6000 \times 0,7 \times 0,9}{1600 \times 10^3 \times 0,27} = 7^\circ\text{C}$$

Levando-se em consideração a unidade e os finos, tomou-se 20% a mais no pêso do carvão, isto é: 1.000 kg/dia. Teríamos então para 60 dias de secagem, uma elevação da temperatura do dôm de $60 \times 7 = 420$. Tomando a temperatura inicial do dôm e somando à elevação de temperatura durante a secagem, teríamos, aproximadamente, 450°C .

Colocação do pirômetro do dôm — O pirômetro do dôm foi colocado de modo a não ficar em contacto directo com os gases quentes durante a combustão. Para a medida diária da dilatação, fêz-se uma marca no pirômetro, sendo a medida da dilatação, a distância existente entre a marca (G) e a parte superior do flange de colocação do pirômetro.

Início e contrôle de secagem — Dia 25/06, às 15 horas — queimamos lenha na chaminé (5 m³). Dia 26/06, às 9 horas e 30 minutos, foram acesos os fornos, tendo-se queimado 1 m³ de lenha em cada um. Dia 27/06, queimou-se 2 m³ de lenha em cada forno e dia 28/06, 3 m³. Dia 29/06 começamos a usar carvão de madeira (500 kg por dia). Esta quantidade foi aumentada gradativamente.

Para o contrôle da temperatura do dôm e da chaminé, fêz-se o seguinte:

- a) Temperatura do dômô e da chaminé subindo muito rapidamente; diminuía-se a combustão.
- b) Temperatura do dômô e da chaminé baixando; aumentava-se a combustão.
- c) Temperatura da chaminé normal e a do dômô subindo muito rapidamente; aumentava-se a abertura da válvula da chaminé.
- d) Temperatura do dômô normal e a da chaminé subindo muito rapidamente; diminuía-se a abertura da válvula da chaminé.

2.4. *Conclusão* — Devido ao adiamento do acendimento do alto forno, dia 17/08 paramos a combustão nos fornos. Uma vez marcada para o dia 26/10 esta data, reiniciamos a combustão nos fornos, dia 6/09, tendo a mesma ido até o dia 23/09. Foram gastos 395.700 kg de carvão, dando para cada regenerador uma média de 132 t. Devido à grande quantidade de carvão fino, chegamos a gastar 3.000 kg de carvão por dia.

As grelhas, inicialmente de ferro fundido, foram substituídas por grelhas de cano de ferro de 3/4" resfriadas a água, com grande vantagem.

Devido ao tempo de secagem, houve um grande acúmulo de cinzas dentro dos regeneradores, tendo sido necessário fazerem-se limpezas nas válvulas da chaminé. Dia 3/10 iniciamos a queima de gás de coqueria nos regeneradores, quando então iniciamos a secagem do alto forno.

3. SECAGEM DO ALTO FORNO

3.1. *Introdução* — A secagem de nosso alto forno foi feita com ar quente, seguindo, conforme já dissemos, métodos empregados com êxito no Japão. Consistem em injetar ar quente no interior do aparelho, com um volume e a uma temperatura determinados, variáveis com o volume do alto forno e o tempo previsto para a sua secagem.

3.2. *Secagem pròpriamente dita:*

Dispositivos de secagem — As ventaneiras de número par foram fechadas; nas de número ímpar foram colocados tubos \varnothing 5" com a finalidade de levar o ar quente até o fundo do cadinho. Na extremidade inferior de cada tubo, foram assentes chapas de proteção, a fim de evitar que o ar quente entrasse em

QUADRO 1

	Volume do Alto Forno (m ³)	Dias de secagem	Temperatura do ar soprado (Máxima) (°C)	Temperatura do tópo (Máxima) (°C)	Elevação diária da temperatura (°C/dia)	Volume do ar (m ³ /min.)	Pressão do ar (g/cm ²)	Observação
Kukioka N.º 1	736	24	700	200	33 — 125	—	150	Pres. Const.
Kukioka N.º 2	783	20	600	300	38	300 — 400	150	Pres. Const.
Kukioka N.º 3	1.063	26	700	300	27 — 75	—	150	Pres. Const.
Kamaishi N.º 1	905	14	650	400	61	900	—	Volum. Const.
Kobe N.º 1	673	30	500	250	23 — 11	500	—	Volum. Const.
Usiminas N.º 1	890	14	600	350	61	600	200	Volum. Const.

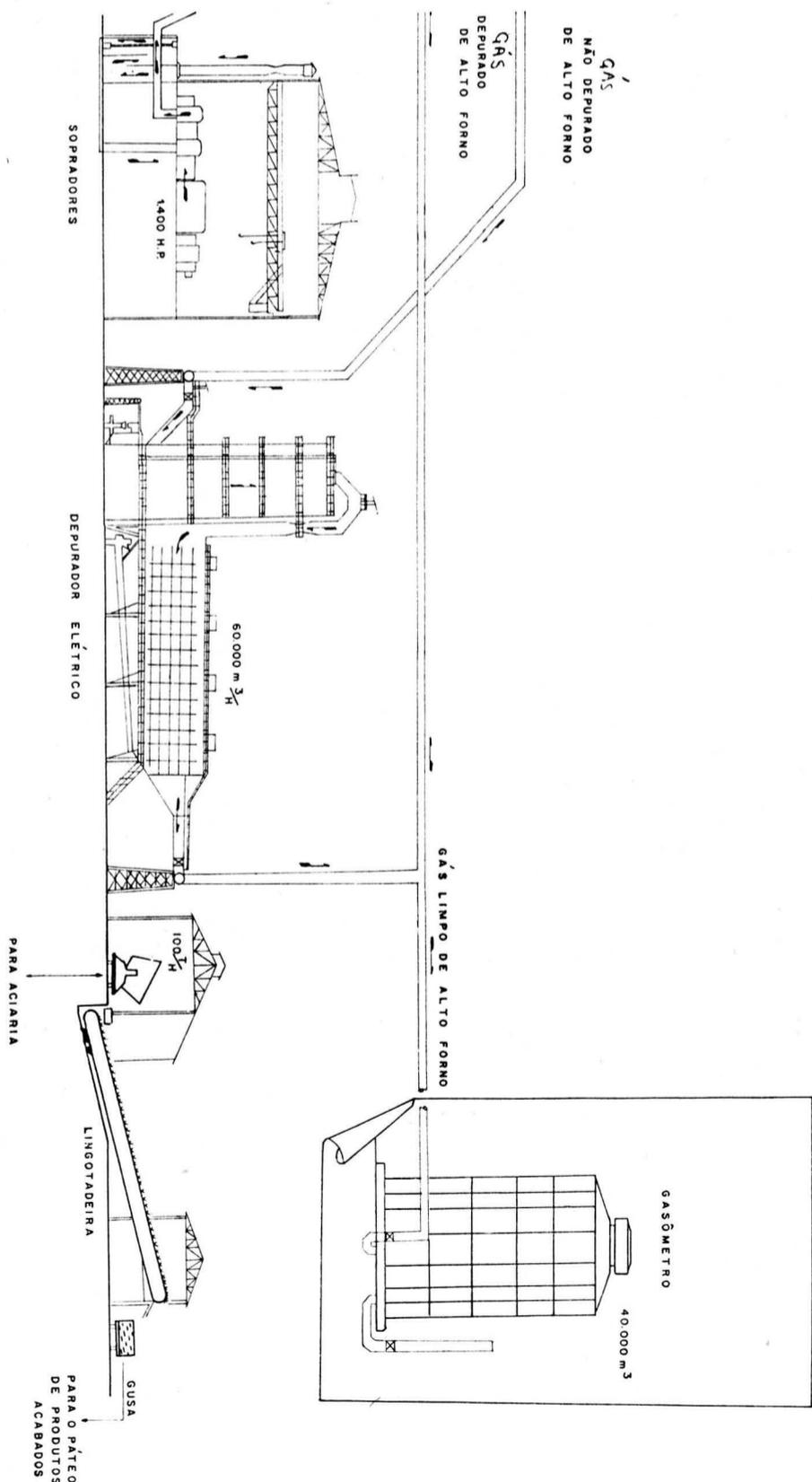


Fig. 3-B — Indicação esquemática da operação do Alto Forno N.º 1 da Usina Intendente Câmara, da USIMINAS; Ipatinga, MG.

contacto direto com a sola do forno. Acima das ventaneiras foram colocadas chapas curvas, para obrigar o ar ascendente a subir ao longo das paredes do forno.

Para a medida de temperaturas no interior do forno, foi colocado um pirômetro na ventaneira n.º 4, com uma penetração de 600 mm. No dia 3 de outubro teve início a secagem, com o envio de 500 m³ de ar por minuto, a 32°C.

Contrôle da secagem — Foram sendo medidos e registrados os volumes e as temperaturas do ar quente soprado e a temperatura no tópo do alto forno. Esta era controlada por meio da abertura das válvulas de sangria e também pelo volume de ar injetado. A pressão média do ar soprado foi de 200 g/cm².

O aquecimento do refratário foi registrado por 8 pirômetros na cuba, sendo 4 montados na parte superior e os outros 4 na parte inferior. Foram medidas e consignadas em gráficos as temperaturas da cuba e as do interior do alto forno.

Resfriamento — Dia 17/10, às 6 horas, paramos de enviar ar quente para o alto forno. O seu resfriamento foi feito por tiragem natural, regulando-se a mesma pela abertura das válvulas de sangria e a retirada gradativa das ventaneiras. Damos na quadro 1 os dados de secagem de 5 altos fornos japoneses e o Alto Forno n.º 1 da Usiminas.

Como podemos ver, no quadro 1, somente um deles teve tempo de secagem igual ao nosso, porém, com um volume de ar bem maior. Todos os outros tiveram um tempo de secagem maior. Temos, porém, de considerar que o término do revestimento refratário de nosso alto forno deu-se em dezembro de 1961. Tivemos, portanto, dez meses de intervalo entre o término da colocação do refratário e o início da secagem. Por isto, o tempo de secagem de 14 dias foi julgado suficiente.

Os resultados obtidos foram muito bons, tendo a temperatura da parte inferior da cuba atingido a 110°C durante a secagem.

4. LEITO DE FUSÃO E CARREGAMENTO

4.1. *Introdução* — Um ponto importantíssimo no início de marcha de um alto forno, é o balanço térmico da carga inicial. Uma parte do calor produzido pela combustão do coque, é gasta no aquecimento do alto forno e o restante na fusão da carga. No cálculo do leito de fusão visamos a obtenção de gusa de fundição.

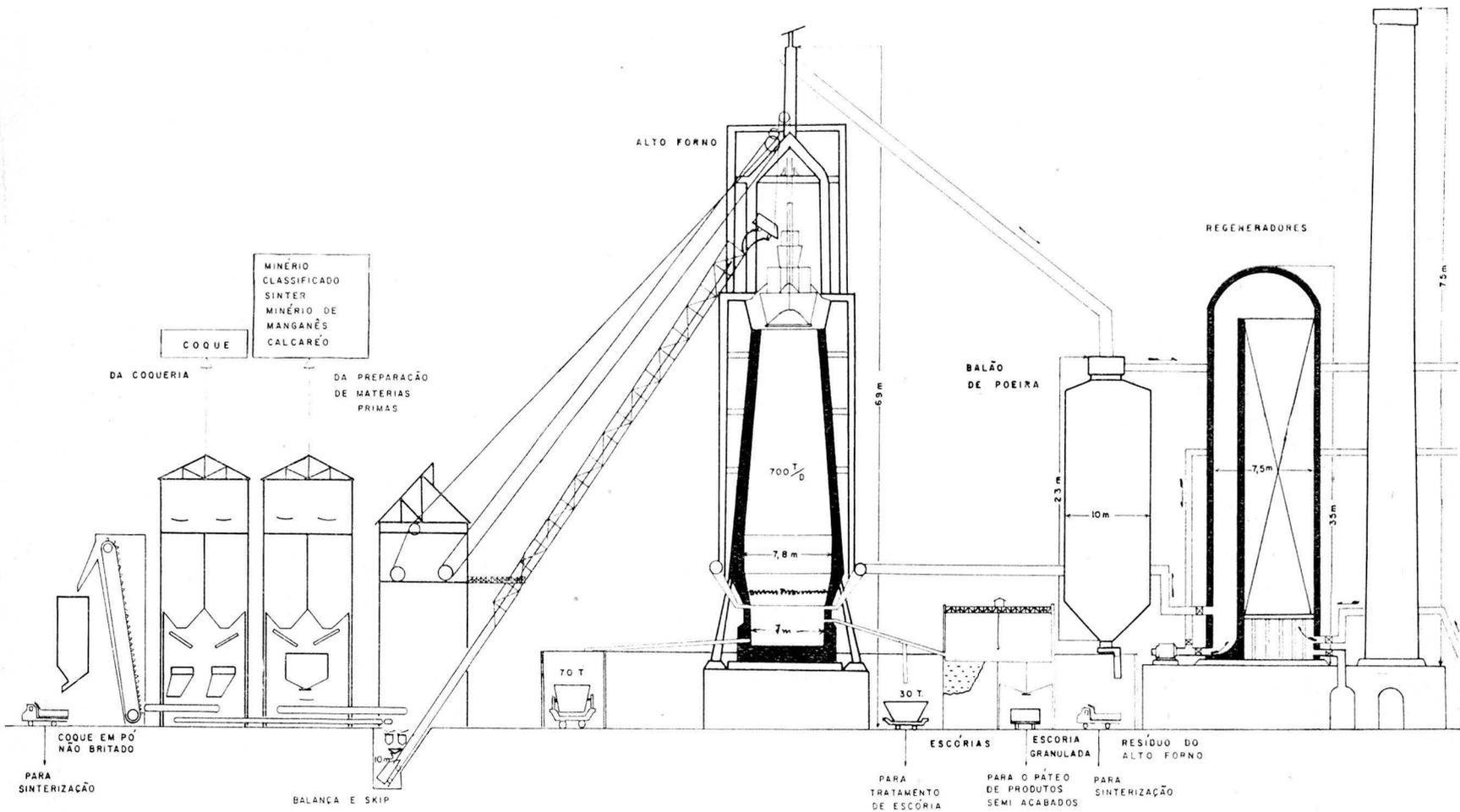


Fig. 3-A — Indicação esquemática da operação do Alto Forno N.º 1 da Usina Intendente Câmara, da USIMINAS; Ipatinga, MG.

Em geral, após o acendimento de um alto forno, produz-se gusa de fundição durante 1 a 2 semanas, passando-se depois para o gusa de baixo silício. Na Usiminas, somente por 3 dias tivemos gusa com Si acima de 2%. Fizemos isto com o intuito de evitar a formação de grande quantidade de cascões nas panelas de gusa.

4.2. *Dados para o cálculo do leito de fusão e do carregamento* — Análise do gusa:

Fe	C	Si	Mn	P	S
93,0%	3,50%	2,50%	0,6%	0,2%	0,05%

O alto forno foi dividido em 9 zonas, sendo: 1.^a o cadinho; 2.^a a rampa; 3.^a o ventre e as 6 restantes a cuba. Na primeira foi feito um empilhamento de dormentes. Nas 2.^a e 3.^a carregamento de coque e calcário somente. As 4.^a, 5.^a, 6.^a, 7.^a e 8.^a receberam 6 cargas cada uma.

Tomando como 100 a quantidade de minério de ferro carregado na carga do tampo (9.^a zona), foram os seguintes os pesos de minério de ferro nas outras zonas:

Zona	4. ^a	5. ^a	6. ^a	7. ^a	8. ^a	9. ^a
Minério de ferro ..	5	24	43	62	81	100

A quantidade de escória na carga do tampo (9.^a zona) foi calculada como sendo igual a 50% do gusa produzido pela mesma carga. A percentagem de escória nas várias zonas em relação à 9.^a foi:

Secção	2. ^a	3. ^a	4. ^a	5. ^a	6. ^a	7. ^a	8. ^a	9. ^a
%	55	70	85	100	100	100	100	100

A compressibilidade da carga nas várias zonas, foi tomada como:

Zona ...	2. ^a	3. ^a	4. ^a	5. ^a	6. ^a	7. ^a	8. ^a	9. ^a
Compressibilidade	15%	14%	12%	11%	9%	8%	6%	5%

O Fe para a escória foi tomado como 0,5%. O Mn para o gusa como 70%. As análises dos componentes do leito de fusão estão dadas no quadro 2.

QUADRO 2

	T.Fe	FeO	SiO ₂	CaO	Al ₂ O ₃	Mn	MgO	TiO ₂	P	S	Unid.
Min. de Fe	68,70	0,36	0,38	0,04	0,82	0,03	0,02	0,03	0,019	0,003	0,5
Min. de Mn	4,76		6,79	0,81	7,74	44,52	0,15	0,26	0,112	0,063	1,8
Escória Aces.		3,68	44,88	32,28	12,03	0,96	4,14	0,16	0,010	0,146	0,3
Calcário			0,93	55,01	0,05		0,22		0,031	0,051	0,53

Percentagem de cinza no coque: 13,4%; S total no coque — 0,81%.

Análise da cinza do coque, %:

Fe ₂ O ₃	CaO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	MgO	TiO ₂	P ₂ O ₅
7,72	2,0	54,5	28,5	1,0	0,88	0,32

4.3. Verificação de Al₂O₃ e MgO na escória; S, P. e TiO₂ no gusa, nas várias zonas (quadro 3).

QUADRO 3

Al₂O₃ na escória

Zona	2	3	4	5	6	7	8	9
Pêso de escória ..	1492	1899	2306	2713	2713	2713	2713	18,26
Al ₂ O ₃	17,32	15,51	15,04	15,42	15,93	16,41	17,36	2713

S no gusa

Zona	2	3	4	5	6	7	8	9
Pêso do gusa	42	42	333	1279	2370	3389	4407	5526
			140,2	37,1	20	14	10,8	8,8

P no gusa

Zona	2	3	4	5	6	7	8	9
P na carga	1,56	1,56	1,73	2,05	2,34	2,61	2,9	3,16
P %	3,56	3,56	0,52	0,16	0,098	0,077	0,066	0,058

TiO₂ no gusa

Zona	2	3	4	5	6	7	8	9
Pêso do gusa	42	42	333	1279	2370	3389	4407	5426
TiO ₂ na carga	6,66	6,71	8,5	9,72	10,22	10,69	11,35	11,96
TiO ₂ kg/t gusa ...	158	159	25,5	7,6	4,3	3,16	2,57	2,2

MgO na escória

Zona	2	3	4	5	6	7	8	9
MgO %	1,73	2,02	2,4	2,81	2,83	2,83	2,99	3,15

QUADRO 4

Zona	Altura		Volumes	Pêso em uma carga (kg)					Produção prevista por carga (kg)		N.º de cargas (calculado)		N.º real de cargas feitas	
	da zona à S.L.	da zona		Coque	Minério de ferro	Minério manganês	Escória de Acesita	Calcário	Gusa	Escória	por zona	Acumulado	por zona	Acumulado
9	0.7	3.5	94.9	5500	4400	100	1800	900	5426	2713	6	58	7	59
8	4.2	2.9	90.2	5500	6000	90	1700	950	4407	2713	6	52	6	52
7	7.1	2.3	87.1	5500	4600	60	1600	1000	3389	2713	6	46	6	46
6	9.4	2.1	81.2	5500	3200	40	1600	1050	2370	2713	6	40	6	40
5	11.5	1.8	76.4	5500	1700	20	1600	1100	1279	2713	6	34	6	34
4	13.3	1.5	70.3	5500	400	10	1100	1050	333	2306	6	28	6	28
3	14.8	2.3	109.6	5500			700	950	42	1899	10	22	10	22
2	17.1	2.9	126.7	5500			400	870	42	1492	12		12	
1	20.0	0.4	6.81											
Total Carregado				319 t	139.8 t	1.920 t	68.2 t	56.240 t	104.246 t	132.114 t				

4.4. Dados da carga inicial do Alto Forno (quadro 4 retro).

4.5. O empilhamento de dormentes no cadinho (1.^a zona), foi feito até a parte inferior das ventaneiras, em 20 camadas. Da 1.^a à 10.^a os dormentes de uma mesma camada foram colocados separados, com um intervalo de 80 cm. Da 11.^a à 14.^a o intervalo entre os dormentes de uma mesma camada foi de 60 cm. Da 15.^a à 17.^a, 40 cm. Na 18.^a e 19.^a, 20 cm. Finalmente na 20.^a, os dormentes foram colocados unidos uns aos outros.

Em frente cada ventaneira foi colocado um saco de carvão de madeira. Em seguida, colocamos aproximadamente 20 m³ de lenha, em pedaços de 1 m a 1,5 m, foi colocada inclinada, ficando apoiada na parede da rampa. Acima desta lenha e também inclinados, foram colocados dormentes. Com esta disposição as ventaneiras ficaram completamente protegidas, não recebendo o impacto da queda das primeiras cargas.

Os dormentes empregados tinham 200 mm de largura por 160 mm de altura, tendo sido usados em vários comprimentos. Damos no quadro abaixo o número de dormentes usados em cada camada do empilhamento, de acôrdo com o seu comprimento.

Comprimento camada	2,1 m	1,7 m	1,5 m	1,0 m	0,7 m	0,5 m	Total
1	6		14	2			22
2	10		5	1		2	18
3	6		14	2			22
4	10		5	1		2	18
5	6		14	2			22
6	8		8	3			19
7	6		14	2			22
8	8		8	3			19
9	6		14	2			22
10	6		11	3			20
11	10	4	6		4		24
12	10	4	6		4		24
13	10	6	6		4		26
14	10	4	6		4		24
15	12		14	4		2	32
16	26		2	2		4	34
17	26		2	2		4	34
18	38		6	2		6	52
19	38		6	2		6	52
20	73	2	6	2	2	30	115
Total	325	20	167	35	18	56	621

Dormente para a proteção das ventaneiras: 45 de 2,1 m.

5. INÍCIO DO SÔPRO E RESULTADOS DA OPERAÇÃO

5.1. *Incio de sôpro* — Dia 26/10, às 14,00 horas, teve início o sôpro de ar. O volume de ar foi de 450 m³/min e a temperatura 600°C. O carvão de madeira colocado em frente às ventaneiras, entrou em combustão imediatamente. Dois minutos após começou a sair gás nas ventaneiras de escória e nas válvulas de sangria. Aos três minutos o gás começou a sair no furo de corrida.

Foram colocadas duas reduções em cada ventaneira; uma de 110 mm e uma de 80 mm. As várias operações feitas nas primeiras 40 horas após o início do sôpro foram:

- (1) 12 h 30 min após — retirada dos anéis de redução de 80 mm das ventaneiras 5, 8 e 11.
- (2) 13 horas após — obturação do furo de corrida.
- (3) 14 h 30 min após — retirada dos anéis de redução de 80 mm das ventaneiras 2, 13 e 15.
- (4) 17 h 15 min após — abertura para teste do furo de corrida. Novo fechamento.
- (5) 17 h e 45 min após — retirada dos anéis de redução de 80 mm das ventaneiras 3, 4, 6, 12, 14 e 16.
- (6) 19 h após — gás para os lavadores.
- (7) 20 h após — obturação das ventaneiras de escória números 8 e 12.
- (8) 24 h e 10 min após — abertura da ventaneira de escória n.º 8 — produção 20 t.
- (9) 25 h após — abertura da ventaneira de escória n.º 12; produção 5 t.
- (10) 26 h após — gás depurado, para os regeneradores.
- (11) 26 h e 40 min após — primeira corrida de gusa — produção 60 t; escória 35 t.
- (12) 27 h após — gás depurado chegou na tubulação de gás do regenerador n.º 1.
- (13) 29 h após — início da combustão no regenerador n.º 1, com gás do alto forno.
- (14) 30 h após — segunda corrida de escória na ventaneira de escória n.º 8 — 35 t.
- (15) 31 h e 30 min após — segunda corrida de gusa — produção 60 t.

- (16) 36 h e 30 min após — terceira corrida de escória na ventaneira de escória n.º 8 — 30 t.
- (17) 38 h após — terceira corrida de gusa — produção 99 t.

5.2. *Resultados da operação* — Iniciada a operação, os dados respectivos até março foram tabelados. Em 4 de fevereiro começámos a usar sinter no alto forno; sua percentagem foi sendo gradativamente aumentada. A partir de 14 de março, passámos a operar com 100% de sinter na carga. Nessa ocasião, o gasto de coque baixou de 90 kg/t gusa com relação ao consumo de janeiro. Também a pressão média do ar soprado passou de 1.060 g/cm², que era a de janeiro, para 740 g/cm².(*)

(*) A operação da Usina «Intendente Câmara» foi se processando na medida que as várias unidades foram sendo concluídas e terminados serviços auxiliares, tais como os do Cais Carvoeiro do Paul, no Pôrto de Vitória, ES. Contudo, a produção referente ao ano de 1963 foi a seguinte: 217.790 t de gusa; 187.219 t de coque; 73.417 t de aço em lingotes; 43.451 t de placas; 18.150 t de blocos; 19.035 t de chapas grossas e 312.125 t de sinter.

REUNIÃO ABERTA SÔBRE
“OPERAÇÃO DE ALTOS FORNOS”

III PARTE

INJEÇÃO DE CARVÃO EM ALTO FORNO ⁽¹⁾

VICENTE FALCONI CAMPOS ⁽²⁾

WILSON TIBURCIO NOGUEIRA ⁽²⁾

OCTAVIO NEVES ⁽²⁾

ARGOS SOARES MATOS ⁽²⁾

RESUMO

Um grupo de quatro alunos, engenheirandos do Curso de Engenheiros de Minas e Metalurgistas da Escola de Engenharia da UMG, realizou um estágio de 2 meses (janeiro e fevereiro de 1963) na usina de WEIRTON STEEL CO., em Weirton, West Virginia, sob o patrocínio da Hanna Mining Company e da Cia. de Mineração Novalimense. Tiveram êles a oportunidade de ver as primeiras experiências que eram feitas sôbre a injeção de carvão granulado, nas ventaneiras do alto forno, apresentando à Reunião Aberta uma comunicação suscinta sôbre o que lhes foi dado observar.

1. INTRODUÇÃO

Os autores desejam ressaltar que as experiências estavam sendo feitas há apenas 20 dias e, devido a isto, como é natural, aquêle departamento não foi incluído no programa do estágio, por motivo de segurança industrial. Os dados aqui relacionados foram obtidos em rápidas visitas ao Alto Forno n.º 4, por iniciativa própria, e em conversas informais com técnicos e operários da KOPPERS COMPANY INC. Lamentam por isso não estarem em condições de apresentar dados mais completos.

(1) Contribuição Técnica n.º 525. Apresentada na Reunião Aberta citada do XVIII Congresso Anual da ABM; Belo Horizonte, julho de 1963.

(2) Sócios Estudantes da ABM; do 5.º ano do curso de Engenheiros de Minas e Metalurgistas da Escola de Engenharia da UMG; Belo Horizonte, MG.

O que aqui se descreverá é apenas a parte inicial de um programa de pesquisas naquele forno. Já estavam previstas várias modificações.

O fluxograma do carvão, bem como o esquema de uma ventaneira e de uma máquina alimentadora, foram obtidos por observações pessoais.

Antes de entrar-se no assunto referente à injeção de carvão, serão apresentados alguns dados concernentes às características operatórias e de construção do forno em questão.

2. CARACTERÍSTICAS DE OPERAÇÃO

1) *Ar* — O ar injetado no alto forno é enriquecido de 20,6% de O_2 para 22,4%. Usa-se ainda misturar no ar 16 grãos de vapor (7.000 grãos = 1 libra-pêso) por pé cúbico de ar. São injetados 76.000 pés cúbicos por minuto desta mistura. Os técnicos encarregados do Alto Forno, nos informaram que a injeção de vapor aumenta em profundidade a ação das ventaneiras, ao passo que o O_2 a diminui. Determinaram assim uma proporção ótima da mistura. Esta mistura é injetada a uma temperatura constante de 910°C. Esta sai dos Cowpers (quatro) a uma temperatura de 1.150°C e é adicionada à mistura fria por intermédio de uma válvula operada automaticamente por um par termoeletrico. Desta maneira a temperatura do ar injetado é mantida 910°C, o que torna a marcha do forno mais regular.

2) *Carga metálica* — A carga metálica é feita com 80% de sinter e 20% de dois tipos de minérios, de acôrdo com os dados abaixo.

	MINÉRIOS		
	Sinter	Labrador	Weir
Porcentagem na carga	80%	12%	8%
Ferro	55,59	55,32	52,70
Fósforo	0,125	0,061	0,390
Mn	0,51	0,73	0,20
SiO ₂	7,79	6,78	5,24
Al ₂ O ₃	1,45	0,66	2,84
CaO	9,44	0,15	0,65
MgO	1,75	0,02	0,89
S	0,026	0,006	0,18

O minério constitui-se do “oversize” da sinterização e apresenta uma granulometria maior que 3/8”. Procura-se ter uma escória com a basicidade de 50/47.

3) *Características do forno:*

- Diâmetro interno cadinho — 27
- N.º de ventaneiras — 20
- N.º de ventaneiras usadas na injeção — 10 (alternadas)
- Altura da sola às ventaneiras — 11’
- Refratário usado no cadinho — carbonô
- Altura do cadinho — 14’
- Diâmetro externo do codinho — 30’9”

3. INJEÇÃO DE CARVÃO

1) *Instalação de tratamento e bombeamento do carvão* (fig. 1) — O carvão é levado à usina em caminhões que o descarrega em uma tremonha de alimentação. Desta é levado a um britador por meio de uma correia transportadora. O carvão após a britagem é levado a uma peneira por meio de um elevador. O “oversize” desta peneira retorna à tremonha de

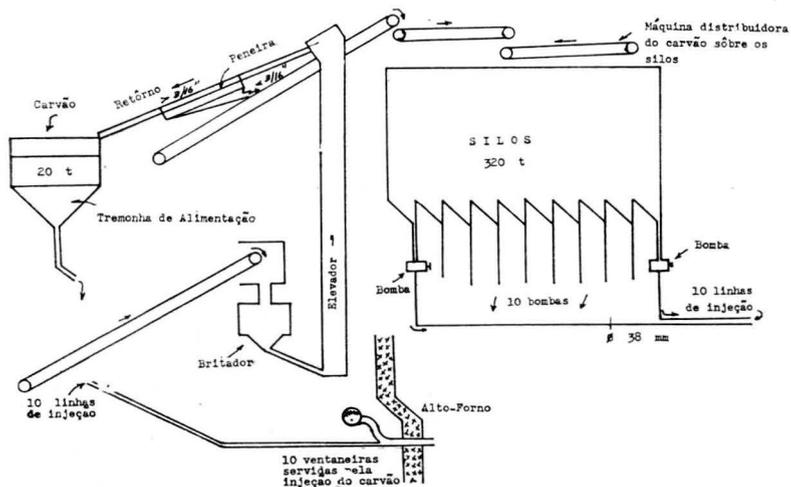


Fig. 1 — Aspecto esquemático do conjunto que precede à alimentação: tremonha de alimentação; correia transportadora; britador, peneira e elevador; silos que alimentam as máquinas denominadas «alimentadoras de carvão».

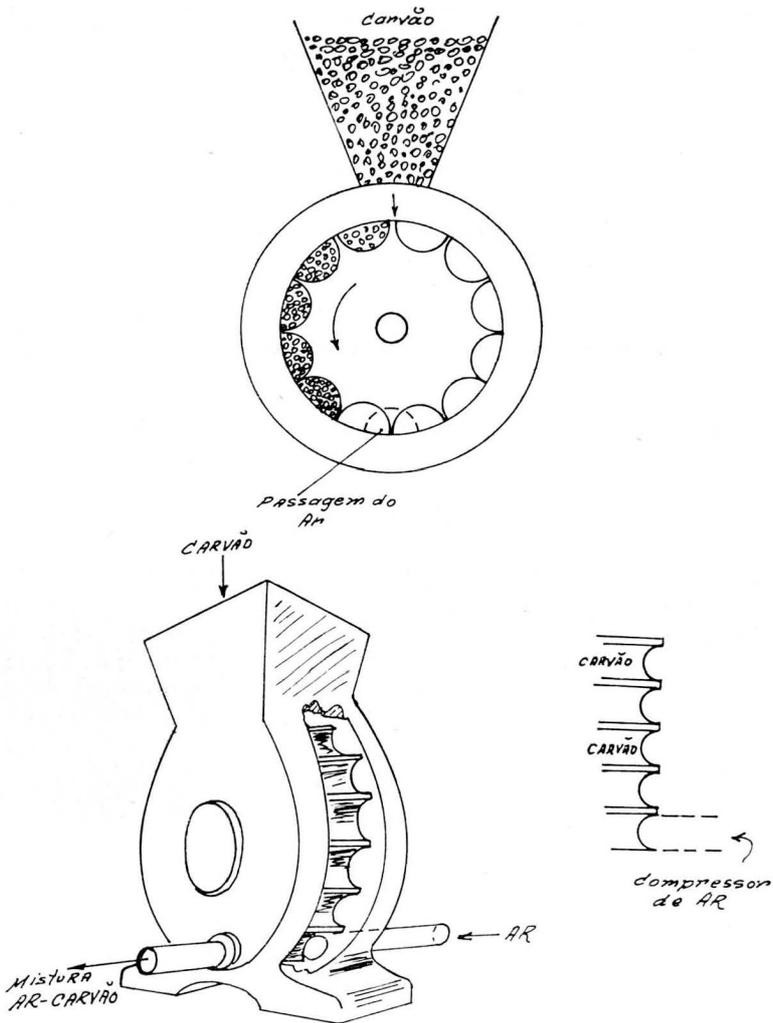


Fig. 2 — Aspecto esquemático das máquinas denominadas «alimentadoras de carvão», nas quais se prepara a mistura ar:carvão.

alimentação e o “undersize” ($< 3/16''$) é levado a uma máquina especial, que distribui êste carvão nos silos, que alimentam as máquinas denominadas “Alimentadoras de carvão” (fig. 2). Desta maneira, o carvão, já em granulometria abaixo de $3/16''$, é injetado em quantidades medidas, nas diversas tubulações que o leva às ventaneiras. Dizemos “Quantidades Medidas” porque pode-se variar a quantidade de carvão em cada ventaneira pela variação da velocidade do alimentador.

A tubulação que conduz o carvão desde a casa de injeção até o alto forno tem $1\frac{1}{2}$ " de diâmetro, sendo que pouco antes das ventaneiras ela passa a ser de $\frac{3}{4}$ " e penetra diretamente nas ventaneiras na região do visor (fig. 3). Esta tubulação entope frequentemente e para um rápido conserto é dotada de luvas em toda sua extensão.

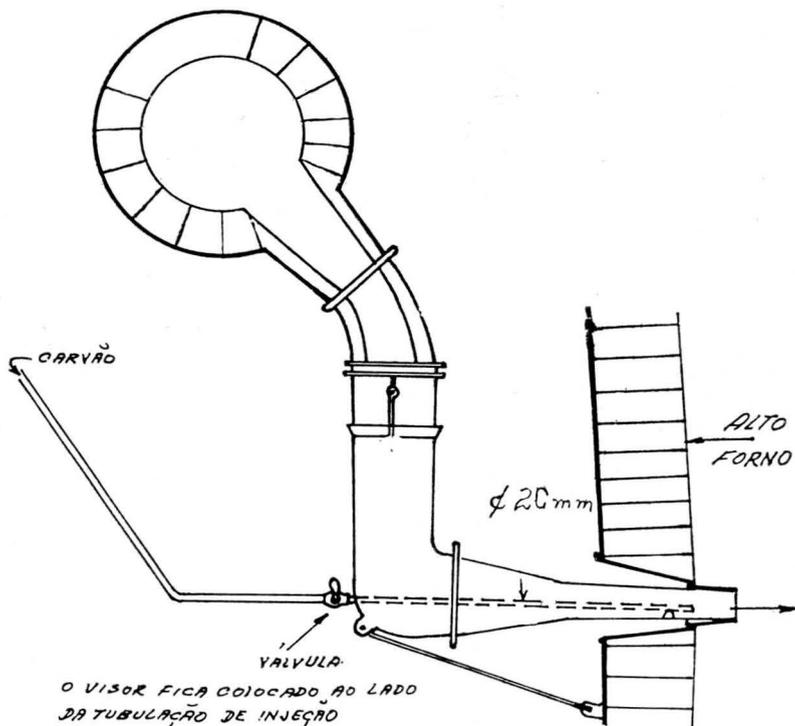


Fig. 3 — Esquema de uma das instalações de injeção da mistura ar:carvão no alto forno. Das 20 ventaneiras do aparelho, 10 são usadas na injeção.

O ar injetado para carrear o carvão é previamente tratado, sendo por isso livre de impureza e totalmente sêco. O carvão usado é de alto volátil; a análise média do mesmo é, em %: Matéria volátil — 38; carbono fixo — 56; cinzas — 6; S — 1,5; umidade — 3% a 4%.

A pressão da mistura ar-carvão a ser injetada deverá ser duas vezes à pressão de injeção do ar no Alto Forno. No caso particular do forno n.º 4 da WEIRTON STEEL CO. a pressão é de 50 psi sendo a pressão no alto forno de 25 psi. A quantidade de carvão injetado é de 7,6% do coque enforado.

II) *Resultados acusados em 20 dias de experiências:*

- 1) Coke Rate anterior ao uso = 617 kg/t de gusa.
Coke Rate posterior ao uso = 494 kg/t de gusa.
- 2) Melhor controle da temperatura na região das ventaneiras.

4. CONCLUSÕES

Em conversa com Mr. Taylor, chefe dos Altos Fornos da-que Companhia, procuraram os autores conhecer as razões econômicas desta operação. Foram então informados de que o custo da tonelada de coque naquela usina é de aproximadamente 15 dólares, e que o carvão sairia a um preço insignificante, já que as jazidas são de propriedade da Companhia e situam-se nos arredores desta.

Para o problema americano, no qual a indústria carboquímica não consegue concorrer com a petroquímica, acreditam pelos dados fornecidos que a solução é economicamente praticável. Entretanto, para o caso brasileiro, em que a carboquímica ainda tem um mercado promissor, barateando assim o coque, pergunta-se se seria esta a solução indicada ou se dever-se-ia partir para a injeção de Fuel-Oil, que tem, também, trazido resultados animadores.