

# OPERAÇÃO DE PEQUENO CONVERTOR L. D. E SUA APLICAÇÃO AO REFINO DE GUSA NIQUELÍFERO <sup>(1)</sup>

EGBERTO FRANCO <sup>(2)</sup>

LUIZ C. CORRÊA DA SILVA <sup>(2)</sup>

## RESUMO

*Descreve a operação de refino de gusa por oxigênio (processo L.D.) em pequena escala e com equipamento muito simples. Relata-se a aplicação da técnica ao refino de gusa níquelífero, permitindo a obtenção de liga ferro-níquel com baixos teores de outros elementos, liga esta de maior interesse para uso na indústria metalúrgica.*

## 1. INTRODUÇÃO

É bem conhecido o processo L. D. de produção de aço, processo que veio revolucionar a grande siderurgia; consultar, por exemplo, o excelente trabalho de Meyers e Schlacher publicado em "ABM-Boletim" (Ref. 1). Pela sua simplicidade e pelas suas características fortemente oxidantes, o processo poderá vir a ter grande interesse, não só para o refino de gusa comum mas também para o refino de outras ligas ferrosas e não ferrosas.

Assim, por exemplo, o gusa níquelífero produzido por redução de minérios oxidados de níquel (do tipo das nossas garnieritas) normalmente contém teores elevados ou apreciáveis de C, Si, Mn e Cr, o que restringe sua aplicação como liga de adição. Seu refino por um processo simples, como o processo L. D., teria muito interesse para os produtores nacionais desse gusa, pois aumentaria a sua aplicabilidade e o seu valor comercial. O refino por outros processos, embora possível, não é plenamente satisfatório já pela complexidade do processo (Ref. 2 e 3), já pelas características do produto obtido e do equipamento usado (Ref. 4).

(1) Contribuição Técnica n.º 388. Discutida na Comissão «G» do XV Congresso da ABM; São Paulo, julho de 1960.

(2) Sócio Estudante da ABM; do Curso de Minas e Metalurgia da EPUSP; assistente aluno da Seção de Aços do IPT; São Paulo, SP.

(3) Membro da ABM; Professor interino da Cadeira de Metalurgia Geral e Siderurgia; Professor de Física dos Metais e Físico Química Metalúrgica da EPUSP; Chefe da Seção de Aços do IPT; São Paulo, SP.

Em vista dessas possibilidades de extensão da aplicação do processo L. D. decidimos, na Secção de Aços do IPT de São Paulo, experimentar a construção e operação de uma pequena unidade L. D. que tornasse viável a realização de experiências sem que isso implicasse em custos proibitivos. As duas questões principais que se nos apresentaram foram, então, as seguintes:

- É possível a operação L. D. de refino por oxigênio em escala reduzida, com cargas líquidas da ordem de apenas 20 kg ou 200 kg?
- Qual o resultado da aplicação do refino por oxigênio aos gusas níquelíferos?

O presente trabalho relata as soluções encontradas e usadas nas experiências já realizadas.

## 2. EQUIPAMENTO E TÉCNICA EXPERIMENTAL

De início consideramos a possibilidade de projetar e construir um aparelho especial: um L. D. em miniatura com lança resfriada a água. Tornou-se evidente, porém, que isto implicaria em grande atraso e elevado custo das experiências projetadas. Decidimos, por isso, tentar uma solução mais simples:

- Como aparelho de refino: usar uma panela comum (de fundição ou de vazamento de aço) eventualmente com um cone superior postiço, visando evitar projeções.
- Como lança: usar simplesmente um tubo de aço, protegido externamente por uma camada de refratário.
- Como carga líquida: começar com cargas de gusa comum (ou ferro fundido) de 20 kg aproximadamente; prosseguir com cargas de 20kg de gusa níquelífero; terminar a primeira serie de experiências com cargas de 200 kg de gusa níquelífero.
- Para o suprimento de oxigênio, usar cilindros comuns de 6 a 7 m<sup>3</sup> de capacidade.

Estas simplificações permitiram uma realização quase imediata das experiências e, conforme relatado mais adiante, foram inteiramente bem sucedidas.

*Suprimento de oxigênio* — O oxigênio usado em tôdas as experiências foi recebido em cilindros ("tubos") de tamanho comum (capacidade entre 6 e 7 m<sup>3</sup> cada, sob pressões da ordem de 150 kg/mm<sup>2</sup>). Nas experiências com cargas de 20 kg de gusa, o oxigênio de 1 cilindro era mais do que suficiente para o refino. Nas experiências com cargas de 200 kg (para cada uma das quais foi necessário usar o oxigênio de mais de 2 cilindros), tornou-se necessário interromper a insuflação de oxigênio durante as experiências para mudar a ligação de um cilindro para outro. Esta interrupção foi sempre muito curta, da ordem de 20 segundos. Esta interrupção não será necessária se se

dispuser de conjunto (“manifold”) apropriado para ligação simultânea de vários cilindros. Para controlar a injeção de oxigênio, usamos válvula comum, simples, com manômetro de pressão graduado até 200 kg/cm<sup>2</sup>. A ligação da lança ao cilindro de oxigênio foi feita por mangueira de borracha de 1/2”, reforçada.

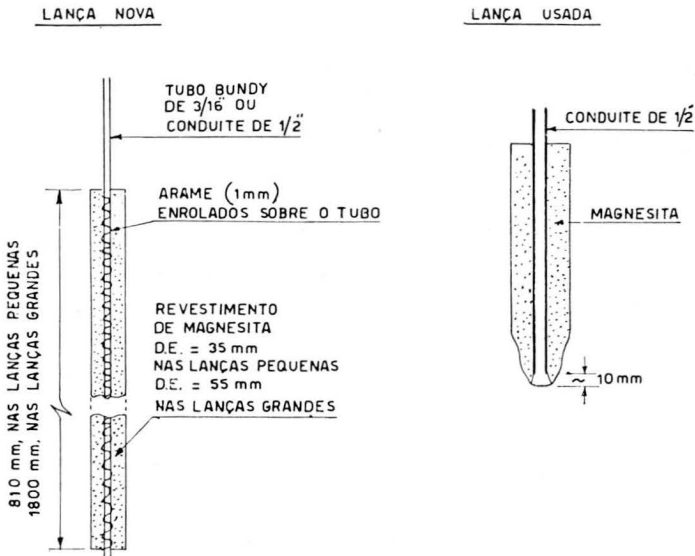


Fig. 1 — Lanças novas e usadas.

*Lanças* — A fig. 1 mostra os tipos de lança utilizados nas experiências. No caso das lanças pequenas, usamos um tubo Bundy de 3/16”, protegido por revestimento externo de magnesita, conforme indicado na figura. Nas lanças maiores (para o refino de cargas de 200 kg), usamos conduit de 1/2” revestido do mesmo modo (mas com maior espessura de magnesita).

A confecção das lanças é bastante simples: começa-se enrolando no tubo uma espiral de arame, que ajuda a segurar a massa refratária de proteção. Faz-se em seguida um molde tubular que possa ser retirado facilmente ou que seja deixado na própria lança; no nosso caso usamos uma lâmina de madeira, de 1 mm de espessura (tipo usado para confecção de contraplacado), enrolado simplesmente, amarrando-se com arame. Em seguida, o tubo e o molde são posicionados com auxílio de um modelo simples de madeira, após o que se despeja no intervalo entre os dois a massa de magnesita apropriada. Esta massa é preparada da seguinte maneira: mistura-se uma parte de magnesita granulada fina (—5 mm + 0,5 mm) e uma parte de

magnesita em pó (moinho de bolas, seguindo-se peneiramento a — 100 mesh); junta-se cêrca de 1% de argila; acrescenta-se a quantidade necessária de uma solução de silicato de sódio em água (a cêrca de 50% em volume), quantidade essa que deve dar à massa a plasticidade conveniente para permitir um bom enchimento do molde. Para auxiliar êste enchimento soca-se com vareta à medida em que se vai despejando a massa. Deixando-se de um dia para outro a massa endurece o suficiente para se poder manusear a lança, que é então levada a uma estufa, onde se completa a sua secagem.

As lanças feitas do modo acima descrito funcionaram satisfatòriamente. No transcorrer das experiências ficou patente que a duração das lanças depende quase que exclusivamente da manutenção de uma distância conveniente entre a sua extremidade e o banho metálico: a distância deve ser a maior possível, compatível com a manutenção das reações de refino e com um bom rendimento do oxigênio. Nas primeiras experiências com cargas de 20 kg, tivemos um consumo apreciável das lanças usadas; posteriormente, nas últimas experiências da série de 20 kg. constatamos que, mantida uma distância adequada, praticamente não há consumo da lança. A distância deve ser variada no transcorrer do refino: no seu início, para perfurar a escoria e agitar o banho, ainda frios, era necessário aproximar mais a lança (cêrca de 5 cm); com o aquecimento e maior violência das reações era aconselhável levantar a lança até distâncias de 10 e depois 15 cm do banho. Dêste modo, como já dissemos, a lança sòmente perdia alguns centímetros por refino.

Nas experiências com cargas de 200 kg (apenas duas), não chegamos a determinar as distâncias ótimas de operação. Nessas duas experiências, também, temerosos de que as reações entre o oxigênio e o banho não se estivessem processando convenientemente, por várias vezes durante o transcorrer da operação, descemos a lança mergulhando-a no banho (ver descrição das experiências noutra secção dêste trabalho). Acreditamos porém que, do mesmo modo que com as cargas de 20 kg, seja possível chegar-se a determinar uma técnica de injeção que reduza o consumo da lança a poucos centímetros por carga refinada.

As lanças, após o uso, apresentavam o aspecto típico ilustrado na fig. 1, ficando o revestimento refratário ligeiramente avançado em relação ao tubo de aço interno. Mesmo as lanças que, nas experiências com cargas de 200 kg, foram mergulhadas durante tempo apreciável (cêrca de 2 a 3 minutos sem interrupção no fim da segunda experiência com 200 kg) até o fundo do banho líquido, o tubo de aço ficou recuado apenas de cêrca de 1 cm em relação ao refratário externo. Isto só pode ser explicado pelo fato que o próprio oxigênio que passa pelo tubo atua como refrigerante, ajudando sua conservação.

Acreditamos que o uso de lanças sem resfriamento a água, tal como usamos nas nossas experiências, seja perfeitamente econômico e prático em pequenas usinas, para o tratamento de cargas até 1 tonelada (pelo menos). Sua simplicidade é um fator que as torna especialmente atraentes para pequena produção ou para pesquisa.

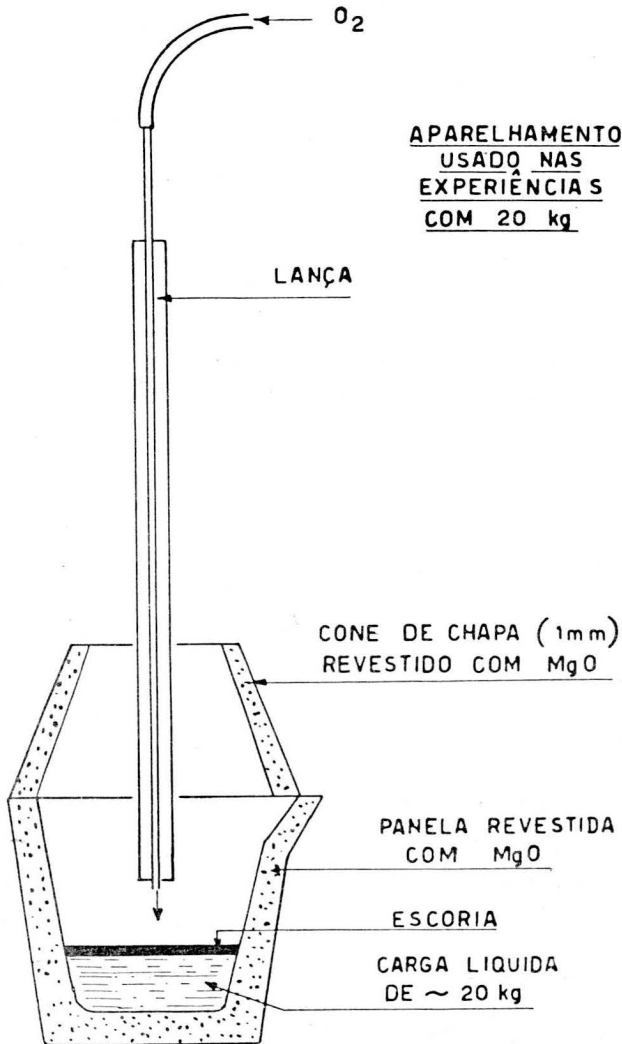


Fig. 2 — Recipiente para o refino (panela, cone e lança para cargas de 20 kg).

*Recipiente para o refino* — A fig. 2 mostra o recipiente que foi usado nas experiências com cargas de 20kg aqui descritas. Para o refino das cargas de 20 kg, usamos uma panela comum de fundição, capaz de conter 100 kg de ferro quando cheia. Nas primeiras experiências usamos a panela tal como estava, revestida com “chamote” comum, apropriado para o uso na fundição de ferro fundido. Visto que, como era de esperar, êsse revestimento era corroído rapidamente, nas experiências posteriores (com cargas de 20 kg) mudamos o revestimento para magnésita. Para evitar as possíveis projeções, durante a injeção de oxigênio, usamos em tôdas as experiências com cargas de 20 kg um cone colocado sôbre a panela, revestido também com magnésita (ver fig. 2).

Nas experiências com cargas de 200 kg, usamos uma panela de 1.000 kg de capacidade, normalmente usada para o vazamento de aço ou ferro fundido pelo bico (sem haste e válvula). O revestimento refratário era o normalmente usado, de placas de tijolo sílico-aluminoso. No refino das cargas de 200 kg não usamos qualquer cobertura sôbre a panela.

Tanto nas experiências com 20 kg como nas com 200 kg o gusa líquido sômente ocupava cêrca de 1/4 a 1/5 de volume disponível da panela. Isto era necessário, para que a violenta agitação produzida no banho pela insuflação de oxigênio e pela reação de eliminação do carbono não causasse perdas de material (em todos os fornos LD a carga de metal líquido ocupa apenas uma fração pequena do volume total do aparelho).

Nas duas experiências com cargas de 200 kg de gusa, o desgaste da panela foi pequeno, apesar do seu revestimento pouco adequado, de baixa refratariedade. Evidentemente, para série maior de operações seria imprescindível revestir a panela com magnésita ou dolomita.

Em tôdas as experiências procuramos preaquecer bem a panela de refino, como medida preventiva.

*Fusão do gusa para as experiências* — O gusa para as experiências com cargas de 20 kg foi fundido em forno de indução de alta freqüência, da Secção de Ligas Não-Ferrosas do IPT. Não se fez qualquer adição, metálica ou não metálica. Uma vez líquido o gusa, foi vazado diretamente na panela destinada ao refino.

Nas experiências com cargas de 200 kg o gusa necessário foi derretido no forno elétrico básico tipo Heroult da Secção de Aços do IPT (capacidade nominal de 1 t), também sem qualquer adição. Uma vez líquida, a carga de 200 kg de gusa era vazada diretamente na panela de refino (capacidade normal da panela: 1.000 kg).

*Vazamento de ferro-níquel obtido* — Ferro-níquel resultante do refino por oxigênio foi vazado em tarugos pequenos, em areia; ou em lingoteiras normais para aço ( $5'' \times 5''$ ) no caso das experiências com cargas de 200 kg. Não houve dificuldade nesse vazamento, o metal apresentando-se suficientemente quente; na verdade, em certas experiências foi preciso esperar esfriar um pouco antes de vaziar.

### 3. EXPERIÊNCIAS REALIZADAS

Inicialmente realizamos uma série de 4 experiências com cargas de 20 kg (aproximadamente) de ferro fundido comum. Essa série inicial teve por objeto verificar se o processo L. D. funcionaria em escala tão reduzida, bem como acertar detalhes da operação, da lança, etc. Nessa série de experiências verificamos que o processo L. D., mesmo em tão pequena escala, funciona sem dificuldades especiais. Verificamos também a importância do controle da distância lança-banho, conforme já mencionado anteriormente.

Foi então realizada uma segunda série de 5 experiências, usando cargas líquidas de cerca de 20 kg de gusa níquelífero. Também essas experiências foram bem sucedidas. Seus resultados estão condensados na tabela I. Passou-se então a uma escala maior, realizando duas experiências com cargas líquidas de 200 kg de gusa níquelífero. Os seus resultados acham-se também indicados na tabela I.

As duas últimas experiências foram particularmente interessantes, pois mostraram a extrema simplicidade do processo, ao alcance de qualquer empresa que disponha de ferro fundido ou gusa líquido e panela de tamanho conveniente, desde que possa obter o oxigênio necessário.

Em nenhuma das experiências relatadas tivemos a preocupação de fazer qualquer adição de fundente ou liga ao metal, durante ou após o refino. Na realidade, em duas experiências fizemos adições de cal; mas como não chegamos a acertar a quantidade e o momento dessas adições, não incluímos essas experiências neste relato. O efeito de adições de cal ficará para ser estudado posteriormente; tem interesse porque certamente permitirá obter teores de P mais baixos.

O refino propriamente dito desenvolveu-se segundo as características do processo L. D., com formação gradativa de escória e elevação gradativa da temperatura. Esta elevação da temperatura resulta na fluidificação da escória e, em certo momento (após a eliminação dos outros elementos como Si, Mn, Cr) no característico "boil" ou "fervura" de eliminação de carbono.

Este "boil", é naturalmente, acompanhado de abundante evolução de CO que queima com a conhecida chama azulada. Terminado o "boil", sabe-se que os elementos como Si, Mn, Cr e C foram eliminados ou reduzidos a teores muito baixos.

As experiências em escala de 200 kg foram especialmente interessantes, também, porque permitiram acompanhar, melhor que num L. D. industrial, a evolução do refino. Julgamos experiências desse tipo e nessa escala extremamente interessantes do ponto de vista didático, para instrução de estudantes de engenharia metalúrgica. Embora as experiências que realizamos tenham partido de gusa níquelífero, não pode restar dúvida que serão reprodutíveis com gusa comum.

As figs. 3 e 4 mostram fotos do aparelhamento usado nas experiências com 20 kg e da operação de refino correspondente.

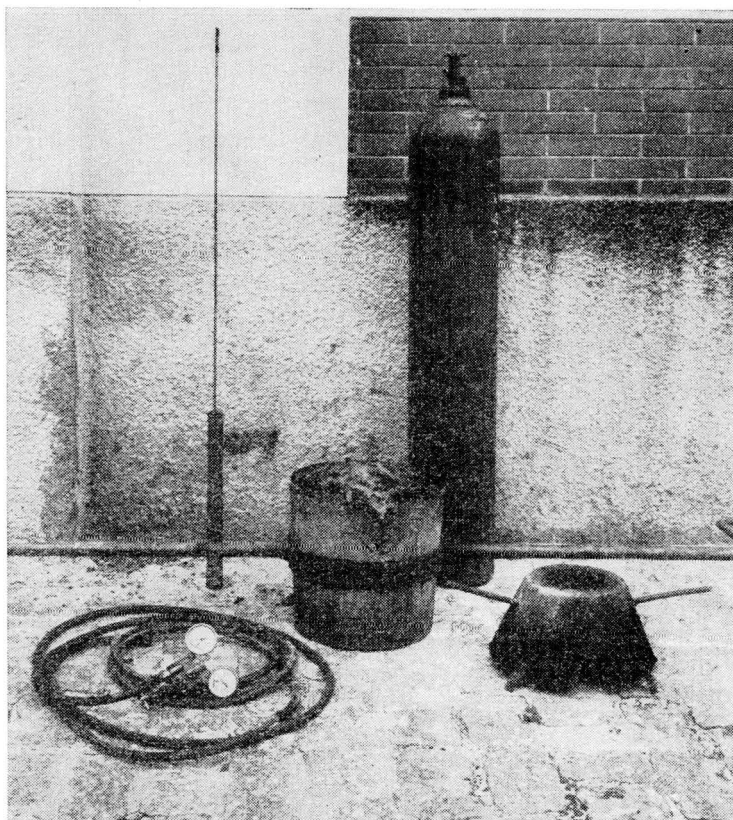


Fig. 3 — Equipamento necessário para as experiências na escala de 20 kg.



Com os dados do tipo acima indicado é possível, também, estimar o oxigênio que seria necessário teoricamente para oxidação dos elementos C, Si, Mn, Cr e Fe. Para esta estimativa admitimos que o ideal é eliminar, por tonelada, os teores indicados no quadro abaixo, onde também indicamos as quantidades de oxigênio correspondentes:

Elemento	Pêso a oxidar por tonelada (kg)	Pêso de O <sub>2</sub> necessário (kg)
C .....	26	34,6
Si .....	20	22,8
Mn .....	1,5	0,4
Cr .....	15	7,0
Fe .....	150	42,8
Total .....	212,5	107,6
m <sup>3</sup> de O <sub>2</sub> .....	—	75

Dêsse quadro se vê que o consumo mínimo de oxigênio para eliminar, Si, Mn e Cr, e para baixar o teor de Fe, enriquecendo a liga a cerca de 30% de Ni, é da ordem de 75 m<sup>3</sup>/t. Nota-se que o consumo real de oxigênio foi bem maior que o teórico; mas isto não é de admirar, dada a pequena escala das experiências. Nota-se que nas experiências de 200 kg o consumo de O aproximou-se mais do teórico. Não deve restar dúvida que um maior número de experiências conduziria a um abaixamento apreciável no consumo de oxigênio, aproximando-o mais do teórico.

O ferro-níquel obtido não contém senão centésimos de por cento dos elementos indesejáveis, tendo mais de 99,5% de Fe + Ni.

O consumo de lança foi diminuto, como se vê. Note-se que a mesma lança foi usada para as experiências 6, 7, 8 e 9. No caso das experiências de 200 kg, o consumo foi maior porque mergulhamos a lança no banho, na parte final da operação.

## 5 CONCLUSÕES

1. É perfeitamente possível refinar gusas comuns e especiais pelo processo L. D. mesmo em escala extremamente reduzida (cargas líquidas de 20 kg ou de 200 kg, por exemplo).

TABELA I  
Dados experimentais (\*)

	LD-5		LD-6		LD-7		LD-8		LD-9		LD-12		LD-13	
	Início	Fim	Início	Fim	Início	Fim	Início	Fim	Início	Fim	Início	Fim	Início	Fim
Carga nominal -(kg)	20		20		20		20		20		200		200	
-Composição do metal -(%)														
C	2,59	0,04	2,52	0,02	2,63	0,05	2,63	0,49	2,61	0,02	1,80	0,26	1,96	0,03
Si	2,20	0,02	2,04	tr.	2,01	0,05	2,09	0,01	2,04	tr.	0,74	0,02	1,15	0,11
Mn	(0,15)	(0)	0,15	n.e.	0,10	n.e.	0,13	n.e.	0,16	n.e.	0,19	n.e.	0,20	n.e.
P	0,11	0,11	0,18	0,18	0,27	0,13	0,10	0,08	0,10	0,07	0,09	0,08	0,09	0,10
S	0,03	0,03	0,04	0,04	0,03	0,04	0,03	0,03	0,03	0,02	0,04	0,03	0,04	0,03
Ni	24,3	50,1	24,6	50,7	25,0	27,2	25,2	27,7	24,8	30,3	22,2	23,3	24,5	27,7
Cr	1,85	n.e.	1,53	n.e.	1,65	0,12	1,53	n.e.	1,52	0,15	0,88	n.e.	1,01	n.e.
-Composição da escória -(%)														
SiO <sub>2</sub>	35,1		15,6		28,4				22,8		28,3		26,8	
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	7,7		11,0		16,4				1,0		8,2		3,7	
FeO	34,2		43,8		33,2				53,7		33,5		47,0	
CaO	0,4		1,4		1,2				tr.		7,4		3,2	
MgO	2,5		23,4		18,6				tr.		4,5		9,2	
NiO	0,54		0,54		1,73				10,9		4,5		9,2	
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	n.d.		n.d.		n.d.				0,89		1,5		0,4	
-Peso de metal ( inicial e final ( kg)	18	13	19,2	14,2	19,4	16,0	19,2	15,0	19,3	15,5	200	185	200	168
-Variação de peso (kg)	-5		-5		-3,4		-4,2		-3,8		-15		-32	
-Rendimento metálico - %	72		74		82		78		80		92		84	
-Peso total da escória ( kg )	6,5		2,1		0,5		1		3,5		20		23	
-Variação total de peso da panela , mais lança, mais cone de proteção	-4,5		1,6		1,7		2,2		0,2		?		?	
-Escória formada por oxidação do banho	2		3,7		2,2		3,2		3,3		20 (?)		23 (?)	
-Tempo total de refino	8 min		7 min		5 min		8 min		7 min		30 min		25 min	
-Vol. aproximado de oxigenio injetado ( m <sup>3</sup> )	2,4		1,8		1,8		2,4		2,2		13		15,4	
-Comprimento da lança (parte revestida) (m.)	0,69	0,47	0,81	0,77	0,77	0,63	0,63	0,63	0,63	0,44	1,80	0,50	1,80	0,30
-Pressão de injeção (kg/cm <sup>2</sup> ) do oxigenio (kg/cm <sup>2</sup> )	5 depois 3		5 depois 3		5 depois 3		6,5 caindo a 1		5 depois 3		-5		-5	
-Panela ( capacidade e revest.)	100 kg (silico-aluminoso)		100 kg (magnesita)		100 kg (magnesita)		100 kg (magnesita)		100 kg (magnesita)		1000 kg (sili-co-al)		1000 kg (sili-co-al)	
-Distancia lança banho ( cm )	-10		-10		-10		-10		-10		15, depois imersa		15, depois imersa	
-Vol. teorico aproximado de O necessário por tonelada ( m <sup>3</sup> /ton)	75		75		75		75		75		60		60	
-Vol- real consumido / ton.	133		94		93		125		118		65		77	
-Niquel contido ( kg )	4,380	3,920	4,760	4,360	4,850	4,350	4,840	4,150	4,750	4,700	44,4	43,2	49,0	46,6

(\*) Não incluímos aqui os resultados das experiências preliminares em que usamos cargas líquidas de gusa comum.

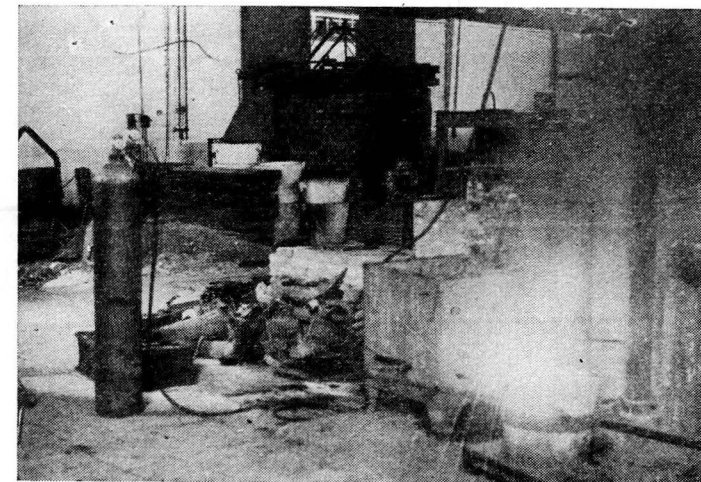


Fig. 4 — Refino em curso (20 kg).

4. COMENTÁRIOS SÔBRE OS DADOS EXPERIMENTAIS APRESENTADOS NA TABELA I

Com os dados apresentados é possível calcular os pesos dos diversos elementos efetivamente oxidados no refino. Assim é que, por exemplo, na experiência n.º 6 os pesos dos elementos presentes eram os seguintes (em kg), levando-o em conta o pêso inicial e final de metal:

Elemento	Pêso no início (kg)	Pêso no fim (kg)	Diferença (kg)
C .....	0,474	0,003	— 0,471
Si .....	0,392	0	— 3,392
Mn .....	0,029	0	— 0,029
P .....	0,034	0,026	— 0,008
S .....	0,008	0,006	— 0,002
Ni .....	4,760	0	— 0,400
Cr .....	0,303	4,360	— 0,400
Fe .....	13,220	9,805	— 3,395
Total .....	19,200	14,200	— 5,000

Cálculos análogos podem ser feitos para outras experiências.

2. É possível realizar o refino L. D. com *equipamento muito simples* e disponível em quase qualquer usina. Se necessário, para diminuir investimentos, para economizar água ou por simplicidade de operação, é possível usar lanças de conduíte comum revestidas de refratário, sem qualquer resfriamento; o consumo dessas lanças é suficientemente reduzido para não constituir problema.
3. O refino de gusas níquelíferos é possível na escala e pela técnica indicadas, resultando numa liga ferro-níquel *enriquecida em Ni* e com baixos teores de outros elementos, ficando ampliado seu campo de aplicação e seu valor comercial. A perda de Ni na escoria resultante do refino é pequena, visto que o Fe se oxida preferencialmente em relação ao Ni.

### OBSERVAÇÕES

O presente trabalho foi desenvolvido com a colaboração do Engdo. Egberto Franco, como parte normal de seu estagio como Assistente-aluno na Secção de Aços do IPT de São Paulo, sendo seu orientador o Chefe dessa Secção, co-autor deste trabalho. Os autores agradecem a colaboração dos funcionários da Secção de Aços; à Bundy Tubing, na pessoa do seu Eng. Dr. Jarbas de O. Nascimento, pelo fornecimento de alguns dos tubinhos usados para as lanças; à Oxigênio do Brasil S/A., na pessoa dos seus Diretores e de seu Eng. Dr. Emilio Wainer, agradecemos especialmente a colaboração prestada a esta pesquisa com o fornecimento de todo o oxigênio necessário; à Secção de Análises de Produtos Metalúrgicos, do IPT, chefiada pelo Dr. Venâncio Ferreira Alves, agradecemos especialmente a colaboração prestada na análise de grande número de amostras de metal e escória; finalmente, agradecemos à Cia. de Nickel do Brasil, na pessoa do seu Presidente. Comte. Claudio Lins de Barros, pelo fornecimento do gusa níquelífero usado nas experiências.

### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. MEYERS, SCHLACHER — *“Fundamentos teóricos, descrição e resultados de operação da aciaria L. D. de Monlevade”*. Conferência Científica do XV Congresso Anual da ABM. Bol. ABM, n.º 57, vol. 15, outubro de 1959.
2. COLEMAN, VEDENSKY — *“Ferro-nickel production in Oregon”*. J. Metals, março de 1960.
3. THURNEYSSSEN, SZCZENIOWSKI, MICHEL — *“Ferro-nickel smelting in New Caledonia”*. J. Metals, março de 1960.
4. SOUZA SANTOS — *“Refino experimental de gusa níquelífero em forno elétrico”*. Bol. ABM, vol. 15, pág. 332.

## DISCUSSÃO (1)

**Francisco Pinto de Souza** (2) — Felicito os autores pelo trabalho magnífico que apresentaram e que teve, entre outros, também um objetivo didático. Deixo a palavra franca para quem quiser fazer comentários sobre o assunto.

**Nelson Betim Paes Leme** (3) — Desejo felicitar vivamente os Autores por esse trabalho, realmente interessantíssimo. Conheço pessoalmente as dificuldades práticas da realização do refino por oxigênio em pequena escala; desde 1952 tentámos fazê-lo em painéis, visando possibilitar às fundições a produção de pequenas quantidades de aço fundido para consumo imediato. Sei da dificuldade que isso representa. Portanto, o sucesso obtido pelo IPT nesse setor deixa-nos mais uma vez bem entusiasmados com o trabalho de pesquisa que vem sendo lá realizado. Desejaria perguntar: como foi controlado o fim da operação de injeção de oxigênio?

**Egberto Franco** (4) — Como dissemos no trabalho, o processo decorreu normalmente, como o do LD comum. Após a eliminação do silício e do manganês, temos o desenvolvimento da «fervura» do carbono; controlámos o fim da operação pela observação da chama.

**N. B. P. Leme** — Qual é a composição da escória obtida nesse gusa níquelífero?

**L. C. da Silva** (5) — Pediria ao Engenheiro Egberto Franco que desse o resultado das corridas de 200 kg, que são mais representativas.

**E. Franco** — Esta foi a última corrida realizada; os resultados são os seguintes:  $\text{SiO}_2$  — 26,8;  $\text{FeO}$  — 47,0;  $\text{CaO}$  — 3,2, além destes outros constantes aqui do quadro. Essa escória foi obtida sem nenhuma adição.

**N. B. P. Leme** — Os autores não encontraram nenhuma dificuldade com os salpicos, com projecções de metal pela ação do jacto de oxigênio?

**E. Franco** — Não houve nenhuma dificuldade especial.

**N. B. P. Leme** — Os Senhores tiveram ocasião de medir a vazão de oxigênio nessas suas experiências? Qual o tempo de corrida?

**E. Franco** — Medimos apenas a vazão média de oxigênio. Tivemos tempos de corrida de 5 a 8 minutos no caso das cargas pequenas; no caso das cargas grandes, tivemos tempos de corrida da ordem de 20 a 25 minutos.

**Finn Malm** (6) — Qual o rendimento metálico em peso?

(1) Contribuição Técnica n.º 388. Discutida na Comissão «G» do XV Congresso da ABM; São Paulo, julho de 1960.

(2) Membro da ABM e Presidente da Comissão; Professor Catedrático da Escola de Engenharia da UMG; Belo Horizonte, MG.

(3) Membro da ABM; Engenheiro da Eletrometalúrgica Saudade e da S. A. White Martins; São Paulo, SP.

(4) Sócio estudante da ABM; Engenheiro do Curso de Metalurgia da EPUSP e estagiário do IPT; São Paulo, SP.

(5) Membro da ABM; Engenheiro Metalurgista; Doutor em metalurgia e Docente da EPUSP; do Instituto de Pesquisas Tecnológicas; São Paulo, SP.

(6) Membro da ABM; Engenheiro da CSBM; Monlevade, MG.

**E. Franco** — Tivemos, nas corridas pequenas, um rendimento variável de 72% a 92%; no caso das corridas efetuadas com 200 kg obtivemos um rendimento de 84% a 92%.

**F. Malm** — Acho interessante o fato de os Senhores terem usado essa lança, de tubos de aço.

**E. Franco** — No caso das cargas de 20 kg utilizamos tubos do tipo Bundy, que são tubos de aço; no caso das experiências com 200 kg usamos «conduit» comum.

**F. Malm** — E a ponta desses tubos, então, não terá atingido a temperatura de fusão?

**E. Franco** — Durante a operação, a ponta do tubo ficava só uns 10 mm recuada em relação à ponta do refratário. Já contávamos com essa possibilidade: o oxigênio, escoando a alta velocidade no tubo, agiu como agente resfriador.

**N. B. P. Leme** — Qual era a posição relativa do tubo em relação à superfície do banho?

**E. Franco** — No caso das cargas de 20 kg, como disse, começávamos com cêrca de 5 cm para a distância lança-banho, depois passávamos para 10 cm e terminávamos com 15 cm. No caso da experiência com 200 kg chegamos, algumas vèzes, a introduzir a lança no banho.

**N. B. P. Leme** — No caso de introdução da lança no banho, não observaram um aumento de projeções e de respingos?

**L. C. da Silva** — Permitam-me algumas considerações. Em primeiro lugar, queria declarar que o objetivo dessas experiências não foi didático; visávamos resolver o problema do gusa níquelífero, que é produzido em Minas Gerais, havendo emprêsas (Nickel do Brasil) que estavam interessadíssimas nesse refino. Naturalmente há grande interesse didático nas experiências, porque qualquer escola de engenharia pode reproduzir essas experiências sem dificuldade. Os alunos poderão assistir a um Processo LD em miniatura.

Entre os nossos objetivos tivemos: em primeiro lugar, verificar se era possível trabalhar com o Processo LD em diminutas dimensões; em segundo lugar, refinar gusa níquelífero, do interesse da «Nickel do Brasil», que gentilmente nos forneceu o gusa-níquel que foi utilizado nas experiências; obtivemos um produto inteiramente satisfatório, que permite a adição a aços especiais, sem preocupação com quaisquer teores de silício, de carbono e de todos os outros elementos que estão presentes no gusa níquelífero original.

A terceira observação referia-se à prática da corrida, principalmente das corridas com 200 kg. Constatamos que é facilimo, até, realizar-se êsse refino de gusa com os métodos indicados; não há nenhuma complicação. Os salpicos existem, mas são só fogos de artifício que para os metalurgistas não têm maior significação; mesmo nas panelas de 200 kg e sem qualquer proteção, não constituíram problema.

Quanto ao fim da corrida, é fácil de verificá-lo pelo fim do «boiling» do carbono. Nas corridas de 200 kg, no final da corrida, mergulhamos a lança até o fundo da panela. Êsse mergulho durou vários minutos e acabou por consumir a lança. Mas o interessante foi constatar que, quando terminou a eliminação de carbono e a lança estava mergulhada dentro do banho até o fundo da panela, com injeções normais de oxigênio, a aparência era de que não estava havendo

injeção de oxigênio: não havia salpicos, não havia fumos, não havia nada, tanto que nossos funcionários, que estavam ajudando na experiência disseram: «Acabou-se o oxigênio». Puxamos a lança do forno e o jacto de oxigênio era evidente. De modo que, quando termina a eliminação de carbono, a fervura cessa completamente; a explicação que pudemos dar é a seguinte; que o oxigênio que penetra no aço nesse momento combina-se com o ferro e o níquel, que não dão salpicos nem bôlhas de gás. A reação é totalmente sossegada; nem parece que está havendo injeção de oxigênio.

Mais uma observação: é que em experiências dêsse tipo podemos observar o processo LD de maneira melhor ainda do que mesmo num conversor LD normal; tínhamos uma panela aberta e podíamos ir observando o andamento da operação. É sumamente instrutivo para o metalurgista observar a evolução de uma corrida, vendo tudo o que está acontecendo, inclusive nessa fase final quando, cessado o «boiling» do carbono, não há fumaça nem coisa nenhuma.

Quanto ao rendimento metálico: quanto mais baixo fôsse o rendimento metálico da corrida, tanto melhor, porque no caso queríamos um enriquecimento em níquel, que foi obtido até certo ponto, pois passamos de 25% para 30% de níquel. Nos quadros que estão no trabalho, demonstrámos que a quantidade de níquel que existia inicialmente apareceu no fim também, com pequenas variações. Quer dizer que a perda metálica que houve foi de ferro; quanto maior essa perda, tanto melhor.

**N. B. P. Leme** — Parece-me que a grande originalidade dessas experiências foi a de não se ter usado escória inicialmente. A tendência é fazer uma escória inicial e injetar oxigênio em baixo da escória. Parece que o fato de não se usar a escória facilita muito o processo, porque a escória também é uma causa de dificuldade na utilização do processo LD em pequena escala. De forma que essas são realmente pesquisas novas feitas no Brasil. Não tenho nenhuma referência de que tenham sido feitas em outros lugares do mundo. De maneira que, mais uma vez, felicito os autores.

**F. J. P. Souza** — Ao felicitar os A. pelo trabalho, mais uma vez confirmo minha opinião de que, se a didática não foi objetivo proposto, pelo menos foi consequência das mais notáveis e talvez a mais importante. A própria exposição do Eng. Luiz Corrêa da Silva, destacando que num pequeno forno era mais fácil observar-se o desenvolvimento da operação do que num grande LD, vem confirmar o meu ponto de vista. Quando destaquei o valor didático não quis menosprezar outros interesses do trabalho, mas vi o modo mais indicado e objetivo da formação de pesquisadores. No nosso ver, mesmo que os resultados de pesquisa fossem negativos, ou a prática contra-indicada, o resultado didático da pesquisa perduraria.