

# PROJETO, CONSTRUÇÃO E OPERAÇÃO DE UMA INSTALAÇÃO PILÔTO PARA EXTRAÇÃO DE MAGNÊSIO PELO PROCESSO PIDGEON <sup>(1)</sup>

JOSÉ DE ANDRADE GOUVÊA <sup>(2)</sup>

RAUL OSCAR RAUTER <sup>(3)</sup>

DALTON LINNEU VALERIANO ALVES <sup>(4)</sup>

RUBEN RUIZ <sup>(5)</sup>

WALDIMIR PIRRÓ LONGO <sup>(6)</sup>

## RESUMO

*São focalizados de maneira sucinta os fundamentos do processo; são apresentados os principais dados de uma instalação industrial. Descrevem-se os trabalhos executados pelos autores, então engenheirandos, nos laboratórios da Escola Técnica do Exército. São descritos os principais pontos do projeto, da execução e operação da instalação pilôto e apresentados os resultados. Embora tenham apenas iniciado a operação, os autores sentiram-se animados a publicar estas notas, com o intuito de contribuir para a divulgação da interessante metalurgia do magnésio, o único dos seis chamados "metais industriais" ainda não produzido no Brasil.*

## 1. INTRODUÇÃO

Constituem matérias-primas a dolomita e o ferro-silício, este geralmente a 75%. A dolomita é calcinada, moída e misturada ao ferro-silício, também moído. Esta mistura é briquetada, e os briquetes são carregados em retortas cilíndricas, de aço Cr-Ni, horizontalmente colocadas em fornos e tendo a extremidade aberta voltada para fora do forno. As retortas são

(1) Contribuição Técnica n.º 409. Apresentada ao XV Congresso Anual da ABM; São Paulo, julho de 1960.

(2) Membro da ABM; Capitão Engenheiro Metalurgista; Fábrica do Realengo, Rio de Janeiro, GB.

(3) Membro da ABM; Capitão Engenheiro Metalurgista; Fábrica de Itajubá; Itajubá, MG.

(4) Membro da ABM; Capitão Engenheiro Metalurgista; Fábrica de Juiz de Fora; Juiz de Fora, MG.

(5) Membro da ABM; 1.º Tenente Engenheiro Metalurgista; Academia Militar das Agulhas Negras; RJ.

(6) Membro da ABM; 1.º Tenente Engenheiro Metalurgista; Arsenal de Guerra de São Paulo, SP.

fechadas; realizado o vácuo em seu interior, sob temperaturas da ordem de 1.200°C na carga, o magnésio é liberado de acordo com a reação:



O magnésio é destilado e vai condensar-se sobre u'a manga removível, no interior da parte fria da retorta. Terminada a destilação, as retortas são abertas e o ciclo é repetido.

O sódio e o potássio, se presentes na carga, também são reduzidos, destilados e vão depositar-se sobre um "condensador de alcalinos" colocado na extremidade fria da retorta, junto à boca, sendo assim separados do magnésio. Se a concentração destes alcalinos nos cristais de magnésio for maior que 0,10%, a coroa deste metal queimar-se-á espontaneamente ao ser rompido o vácuo. Para evitar isto, é necessário que o magnésio se condense sobre paredes quentes para expulsar os alcalinos para as regiões mais frias.

A presença de gases (principalmente CO, CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O, N<sub>2</sub>), determina a formação de um depósito pulverulento. Para maior compacidade do depósito, a pressão no interior da retorta não deve ser maior que 0,5 mm de mercúrio. Como catalizador, é incluída na mistura cerca de 2% a 4% de fluorita finamente pulverizada.

As retortas industriais são feitas de "aço Pidgeon" (15% de Ni; 28% de Cr; menos que 0,3% de C), fundidas, com capacidade de 100 kg de briquetes por ciclo, produzindo cerca de 15 kg de metal. Sua parte externa ao forno é revestida por uma camisa d'água; entre o laboratório e o condensador da retorta é colocado internamente um anteparo destinado a proteger a parte fria do calor radiante proveniente da carga (fig. 1).

Um diagrama de seqüência das operações é apresentado na figura 2; aqui são resumidos alguns dados referentes a uma instalação industrial.

Numa usina de produção de magnésio pelo processo Pidgeon, em Manteca, Califórnia<sup>7</sup>, existem 1.024 retortas em dois galpões para fornos, cada galpão com duas alas de fornos, sendo 16 fornos por ala e 16 retortas por forno. A carga da retorta consiste de 90 a 113 kg de briquetes comprimidos até 1,17 g/cm<sup>3</sup>. Estas compõem-se de 4,5 partes de dolomita calcinada e moída até 80% a — 100 mesh; uma parte de ferrosilício (75% Si) moído até 70% a — 200 mesh e 0,1375 de uma parte (2,5% em peso) de fluorita. Após o carregamento, é colocada a máscara contra a radiação a 60 cm da extremi-

dade aberta. A manga vazia, com cêrca de 45 cm de comprimento, é inserida e nela é acoplado o condensador de alcalinos, junto à bôca da retorta.

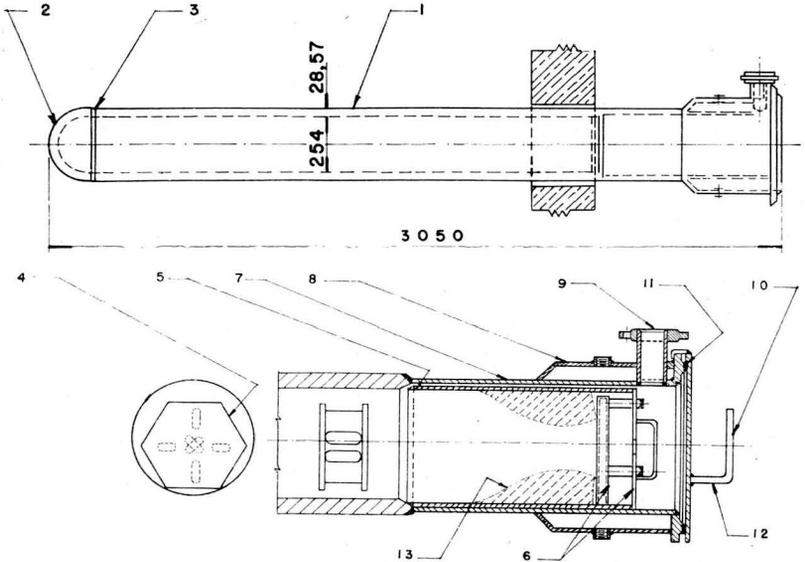


Fig. 1 — Detalhes da retorta utilizada na usina da Magnesium Reduction Co.: (1) Tubo de aço Ni-Cr fundido; (2) Calota de aço Ni-Cr fundida, soldada de tópo; (3) Solda de aço Ni-Cr; (4) Máscara de radiação 35% Cr; (5) Manga removível, conificada; (6) Condensador de metais alcalinos; (7) Tubo sem costura; (8) Camisa d'água; (9) Conexão de vácuo; (10) Tampa; (11) Junta de vedação da borracha; (12) Puxador; (13) Forma usual do depósito de magnésio.

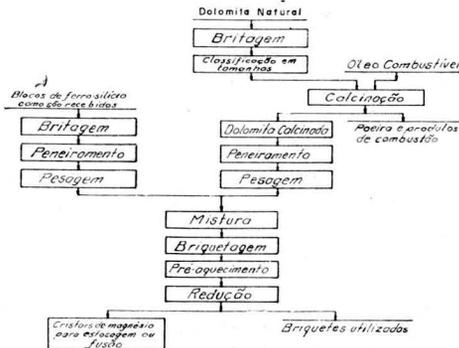


Fig. 2 — Diagrama de seqüência das operações.

O processo leva 9 h 45 min e é separado em três estágios: período de secagem, baixo vácuo e alto vácuo. O primeiro dura 15 minutos; a maior parte da água combinada é eliminada antes do fechamento e da vedação. Durante os 30 minutos iniciais após a vedação, a pressão é reduzida a 650 mm de mercúrio e, depois, durante 9 horas, é reduzida a 100-150 microns, enquanto a temperatura é de cerca de 1.170°C, obtida em forno de gás.

O resíduo resultante das operações na retorta consiste principalmente de silicato dicálcico e óxido de ferro, com algum ferro-silício e dolomita calcinada (que não reagiram), tudo com a mesma forma dos briquetes carregados. Este resíduo tem emprêgo limitado a acondicionamento do solo e é considerado material isolante; é matéria-prima para cimento e tijolos, porém, não se tem notícia de que estas aplicações sejam economicamente aconselháveis.

Apesar de sua simplicidade aparente e de seus fundamentos serem conhecidos há muito tempo, a redução pelo ferro-silício, na fase anterior a Pidgeon, não obteve sucesso comercial devido às dificuldades impostas pela alta temperatura, pelo vácuo e elevado preço dos agentes redutores.

Segundo Kroll<sup>2</sup>, a questão de reduzir a dolomita calcinada pelo ferro-silício, no vácuo e por fornecimento de calor produzido por combustão, visando reduzir o consumo de energia elétrica em confronto com a eletrólise ígnea (5 kWh contra 9,2), encontrou a solução incompleta de Pidgeon. Os processos futuros, segundo o mesmo autor, deveriam operar no vácuo de maneira contínua, sob uma temperatura em torno de 1.300°C, na qual a produção de magnésio é bem mais rápida, restando verificar a temperatura de sinterização da carga, sendo o calor fornecido por combustão. Uma tal solução não está à vista.

Tornou-se praxe definir o completamento da reação de redução em termos de percentagem do silício utilizado. A isto se deu o nome de "*eficiência de silício*", que é medida pela relação entre o peso do magnésio coletado e o peso do magnésio equivalente ao silício presente na carga:

$$\text{Ef. Si} = \frac{\text{Mg coletado}}{\text{Mg equivalente ao Si presente}} \times 100$$

Esta prática é mantida mesmo quando o silício está em excesso. Embora não caiba descer a detalhes neste breve relato, vale a pena citar que o efeito das variáveis do processo na eficiência do silício foi exaustivamente estudado por Pidgeon,

seus colaboradores e seus continuadores. Na compilação da literatura (1.º vol. do Projeto apresentado pelos autores)<sup>11</sup>, são reproduzidos, em detalhe, os resultados encontrados pelos pesquisadores sobre os efeitos das seguintes variáveis: temperatura, velocidade da reação, pressão, composição da dolomita, temperatura de calcinação da dolomita, tamanho das partículas do calcinado, agentes de adição, composição do ferro-silício, tamanho das partículas do ferro-silício, relação molar, finos na retorta e briquetes fraturados, pré-aquecimento da carga e pêso da carga.

## 2. PROJETO E EXECUÇÃO DA INSTALAÇÃO PILÓTO

*Retorta* — Lamentavelmente, as disponibilidades de tempo não permitiram aguardar o prazo pedido por uma fundição especializada para atender à encomenda de uma retorta de aço Pidgeon. Passou imediatamente à procura e seleção de um material já existentes no comércio, sob a forma de tubo ou chapa, e que atendesse às condições de tarabalho.

Após rigorosa verificação de suas possibilidades, foi achado satisfatório um tubo sem costura, de Inconel, com 54 mm de diâmetro interno e 1,47 mm de espessura de parede. Foi projetada uma retorta, cuja característica interessante é a de ser destinada a atravessar o forno de destilação de fora a fora. É dotada de dois condensadores, portanto. Tal fato é proveniente do receio de um fracasso devido às severas condições a que estaria sujeita qualquer solda existente na parte aquecida da retorta. A tubulação de vácuo foi acoplada a uma das tampas. O condensador do lado desta tubulação pode ser visto na figura 3.

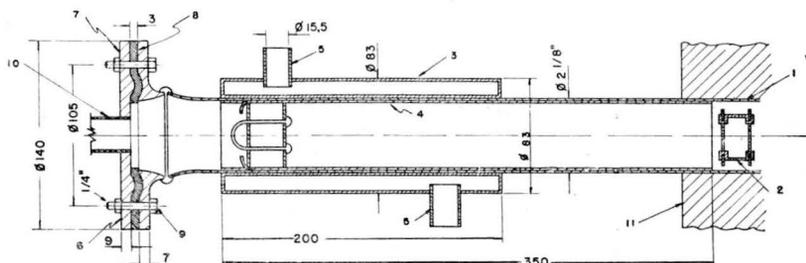


Fig. 3 — Retorta construída pelos autores para realização das experiências: (1) Tubo de Inconel; (2) Blindagem do calor radiante, de Inconel; (3) Camisa d'água deslocável; (4) Condensador, de chapa de aço 18-8 USG20; (5) Conexões para circuito d'água; (6) Tampa de aço comum; (7) Flange de aço comum; (8) Borracha; (9) Oito parafusos, de 1/4"; (10) Para o sistema de vácuo; (11) Porta do forno.

As camisas d'água são deslizantes, para permitir maior flexibilidade. A retorta possui o comprimento de 1.800 mm, sendo 1.000 mm dentro do forno. Levantada a curva de temperatura através de seu eixo, verificou-se que 600 mm centrais permaneciam acima de 1.100°C, ao ser estabilizada a temperatura de 1.150°C no centro.

A máscara de radiação é de Inconel; a manga do condensador aço de 18-8. A vedação foi feita com uma coroa de borracha, untada com tinta resinosa "Glyptal" e apertada ao flange pela tampa aparafusada.

*Fornos* — O forno de destilação empregado foi um projetado e construído pela turma da Escola Técnica do Exército, em 1953, para um trabalho de metalurgia do pó. Possui as seguintes características: aquecimento por resistores de Kanthal, de 13,5 kW; câmara horizontal de secção hexagonal e que atravessa todo o corpo do forno; temperatura máxima da câmara: 1.250°C.

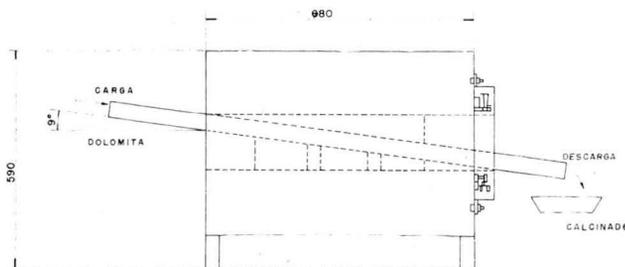


Fig. 4 — Forno de calcinação construído, mostrando colocação do tubo utilizado para receber a dolomita.

O forno de calcinação foi projetado e construído com aquecimento por resistores de Kanthal A-1, e câmara também horizontal atravessando todo o forno; potência é de 6 kW e temperatura máxima da câmara de 1.350°C. Um tubo, idêntico ao utilizado para a confecção da retorta, foi colocado atravessando o forno, com uma inclinação suficiente para permitir uma tiragem natural através seu interior; nele foi processada a calcinação de cargas com cerca de 350 g de dolomita, por processo descontínuo (fig. 4).

*Sistema de vácuo* — Foi empregada uma bomba mecânica "Cenco Megavac" com motor de  $\frac{1}{2}$  HP e vazão nominal de 57 litros/min. Entre a retorta e esta bomba, foi adaptado um coletor de poeiras, improvisado; a êle foram ligados um manô-

metro (tipo "Pirani", de fabricação da "Distillation Products Inc.") e uma válvula para rompimento do vácuo. Para tornar mais efetiva a filtragem dos gases, encheu-se o tubo de ligação entre a retorta e o coletor com uma fina esponja comum, de aço. Tôdas as peças de borracha (especial para vácuo) foram untadas com graxa também indicada para o emprêgo em sistemas de vácuo, de fabricação "Leybolt". Êste sistema pode ser visto na figura 5.

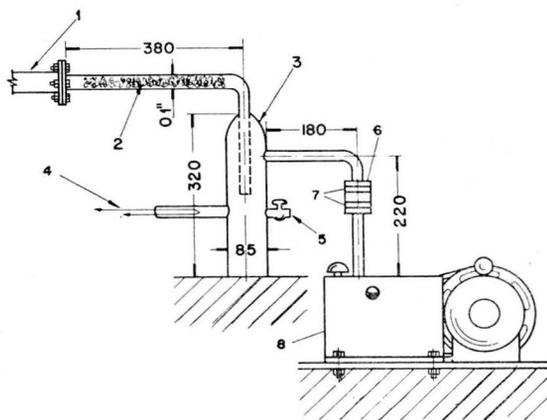


Fig. 5 — Sistema de vácuo utilizado: (1) Retorta; (2) Esponja de aço; (3) Filtro; (4) Para o medidor Pirani; (5) Válvula; (6) Conexão de borracha; (7) Braçadeiras; (8) bomba de vácuo.

### 3. OPERAÇÃO

*Matéria-prima* — A dolomita empregada, procedente de Miguel Burnier e fornecida pela CSN, tinha a seguinte composição, em %:

Perda ao fogo .....	46
Umidade .....	0,35
SiO <sub>2</sub> .....	1,97
R <sub>2</sub> O <sub>3</sub> .....	3,82
CaO .....	54,93
MgO .....	37,53

O exame espectrográfico revelou a ausência de sódio e potássio. Como se vê, é uma dolomita de alta pureza, o que se verifica comparando os teores acima com os da dolomita

teórica ( $\text{MgCO}_3 \cdot \text{CaCO}_3$ ). O ferro-silício empregado foi do tipo 75% Si, comercial; a fluorita utilizada continha cêrca de 92% de  $\text{CaF}_2$ .

*Beneficiamento* — A moagem foi efetuada em moinho de discos “Braun Pulverizer”, tipo UA. A separação granulométrica foi feita em peneiras de escala “Tyler”. Para a briquetagem foi empregada uma prensa hidráulica, de acionamento manual, “Simplex”, fabricação de “Buehler Ltd.”, com medidor de pressão graduado até  $1.054 \text{ kg/cm}^2$  para diâmetro de 25,40 mm, e até  $703,1 \text{ kg/cm}^2$  para 39,75 mm.

Após uma série de experiências, em que se procurou melhores resultados na briquetagem, combinando-se as operações de moagem, peneiramento, calcinação e briquetagem, chegou-se às seguintes conclusões: a dolomita deveria ser peneirada apenas antes da calcinação, porque os grãos do calcinado são extremamente friáveis, resultando em grande quantidade de finos depois de peneirada. Levando-se em consideração que, durante a operação de calcinação, os grãos fragmentam-se, foi determinada uma distribuição granulométrica de dolomita que resultasse num calcinado com a granulometria ótima para a briquetagem. O calcinado que melhor briquetabilidade apresentou, possuía a seguinte distribuição granulométrica:

70 %	.....	—	20 +	48 mesh
7,7%	.....	—	48 +	65 mesh
4,5%	.....	—	65 +	100 mesh
6,0%	.....	—	100 +	150 mesh
5,0%	.....	—	150 +	200 mesh
5,5%	.....	—	200 +	270 mesh
1,3%	.....	—	270	

A distribuição do ferro-silício que apresentou os melhores briquetes foi:

10%	.....	de	—	100 a +	200 mesh
80%	.....	de	—	200 a +	270 mesh
10%	.....	de	—	270 mesh	

A fluorita foi sempre empregada a — 270 mesh.

Os briquetes possuíam a forma de pastilhas cilíndricas, com 15 g de mistura, diâmetro de 25,4 mm, cêrca de 15 mm de altura, e de pêsso específico entre 1,84 e 1,98  $\text{g/cm}^3$ . Em sua confecção utilizaram-se pressões de  $703 \text{ kg/cm}^2$  a  $984 \text{ kg/cm}^2$ .

Os principais cuidados com o manuseio e o preparo da matéria-prima são os de evitar:

- a hidratação e a recarbonatação do calcinado;
- a oxidação do ferro-silício após sua pulverização;
- a fragmentação do calcinado (muito acentuada numa operação de peneiramento, por exemplo), e
- a fragmentação dos briquetes.

Bons resultados foram obtidos:

- conservando a matéria prima em recipientes hermêticamente fechados;
- realizando imediata e sucessivamente as operações de calcinação, briquetagem e destilação;
- obtendo uma granulometria da dolomita que, segundo um procedimento uniforme de calcinação, resulte numa distribuição granulométrica favorável à briquetagem.

A dosagem dos componentes da carga e a relação molar são vistas na tabela 1.

TABELA 1

**Resumo das operações**

Ciclo	Carga (kg)	Rel. Calc.: Fe-Si		Rend. (%)	Ef. Si (%)	Duração	Temp. °C	Pressão mínima Hg (mm)	Pêso de Mg (g)
		Molar	Em pêso						
1	1,0	1:1,16	5:1	22,2	19,2	1 h 30 m	1050* e 1150	30	40
2	1,5	idem	idem	44,4	38,4	2 h 00 m	1150	50	120
3	1,3	idem	idem	43,0	36,7	3 h 30 m	1150	40	100
4	1,15	1:1,25	4,71:1	53,3	43,6	idem	1150	40	110

\* Sòmente durante os 13 minutos iniciais.

#### 4. RESULTADOS OBTIDOS

Foram realizados somente quatro ciclos de operação, em virtude de se ter esgotado o tempo previsto no calendário escolar. O primeiro ciclo foi uma verdadeira tomada de contacto com o equipamento; nos dois seguintes, procurou-se acertar a zona de condensação do magnésio, variando-se as condições determinantes da temperatura do condensador, o que foi obtido no último ciclo.

A bomba de vácuo foi mantida sempre ligada, a fim de se ter os melhores resultados de compacidade dos depósitos. Desta forma a pressão mínima nunca foi pré-estabelecida; resultou das condições de vedação e dos gases contidos na carga.

No último ciclo foi substituída a tampa do condensador oposto ao sistema de vácuo por um disco de vidro, apertado de encontro ao flange por um anel de aço e perfeitamente vedado por meio de juntas de borracha. Tal dispositivo permitiu a observação do interior da retorta durante todo o ciclo e assistir à formação gradativa da coroa de magnésio.

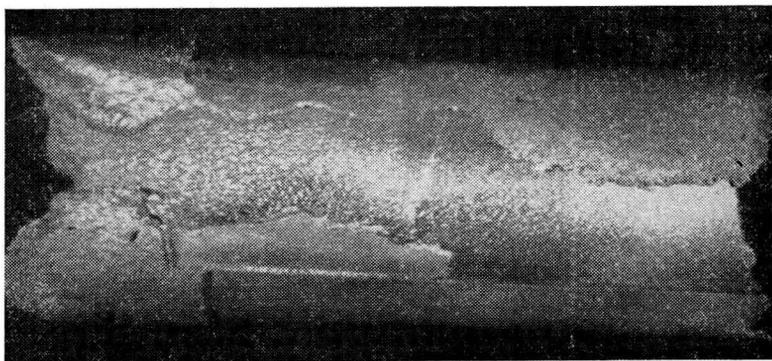


Fig. 6 — Aspecto de uma das coroas de magnésio obtidas.

O resíduo das duas primeiras operações mostrou ao ser quebrado, que grande parte do briquete não reagira; êsse fato foi muito atenuado nos dois ciclos subseqüentes, quando foi dilatada a duração da operação. Numa das operações, em razão de terem sido deixados os briquetes durante algum tempo ao ar (2 a 3 horas), foi observada grande evolução de vapor d'água por ocasião da fase de pré-aquecimento, retardando o início do vácuo.

As coroas de magnésio obtidas eram muito compactas, com cristais bem formados e de belo aspecto (fig. 6). Não foi observada qualquer diferença entre as coroas obtidas no condensador (do lado ligado à tubulação de vácuo) e as obtidas no condensador oposto.

## 5. CONCLUSÕES

Logrou-se aumentar o rendimento da extração e a eficiência do silício. Entretanto, melhores resultados podem ser obtidos; entre outras, podem-se indicar as medidas seguintes:

- a) melhoria da briquetagem, no sentido de se conseguir mais firmeza dos briquetes;
- b) aumento da densidade dos briquetes;
- c) mudança do tamanho e forma dos briquetes, visando melhor enchimento da retorta e completamento da reação.

Crêm os autores que a instalação está em condições de ser operada, a fim de cumprir uma segunda finalidade (após o cabal desempenho de sua primeira, que foi a didática), qual a de permitir a colheita de dados referentes ao processo, em escala reduzida, e contribuir para a divulgação do processo Pidgeon entre nós.

## AGRADECIMENTO

Os autores agradecem, na pessoa do Tte. Cel. Hésio de Mello e Alvim, à Chefia e aos Professores do Curso de Metalurgia da Escola Técnica do Exército. Formulam agradecimentos aos srs. Prof. Tharcisio D. de Souza Santos, Prof. Mário Rennó Gomes e Gen. Odyr Pontes Vieira, pela valiosa ajuda recebida na execução deste trabalho.

## BIBLIOGRAFIA

1. PIDGEON, L. M. e ALEXANDER, W. A. — *Thermal production of Magnesium — Pilot-plant studies on the retort ferrosilicon process.* Trans. of the Am. Inst. of Min. Met. Eng., vol. n.º 159, 1944.
2. KROLL, W. J. — *Le magnésium silicothermique.* Révue de Metallurgie, tomo 48, n.º 12, 1951.
3. PIDGEON, L. M. — *Thermal production of magnesium.* Trans. of the Can. Inst. Min. Met., vol. XLIX, 1946.
4. PIDGEON, L. M. — *New methods for the production of magnesium.* Trans. of the Can. Inst. Min. Met., vol. XLVI, 1944.
5. RENNÓ GOMES, M. — *Magnésio, sua significação.* 1953.

6. AZBE, V. J. — *Cacining behavior tests of dolomits, magnesite and calcite*. Rock Products, vol. 47, n.º 9, 1944.
7. SCHRIER, E. — *Silicothermic Magnesium comes back*. Chemical Engineering, abril de 1952.
8. HUMES, W. B. — Vacuum engineering as related to the dolomite ferro-silicon process. Trans. of the Am. Inst. of Min. Met. Eng., vol. 159, 1944.
9. YARWOOD, J. — High vacuum technique. Chapman & Hall Ltd., Londres, 1955.
10. SEYBOLT, A. U. e BURKE, J. E. — *Procedures in experimental Metallurgy*. John Wiley & Sons, Nova York, 1953.
11. ENGENHEIRANDOS DO CURSO DE METALURGIA DA E. T. E. — *Magnésio, obtenção pelo processo Pidgeon*. Projeto, 2 vol., 182 págs. Rio de Janeiro, 1959.



## DISCUSSÃO <sup>(1)</sup>

**H. A. Hunnicutt** <sup>(2)</sup> — Agradeço ao Eng. Pirró e Longo e seus companheiros a contribuição que trouxeram. Abro os debates.

**T. D. S. Santos** <sup>(3)</sup> — Ouvimos com grande atenção o relato feito pelo Eng. Pirró e Longo sobre esse interessante trabalho apresentado pela equipe composta por ele e seus colegas José Andrade Gouvêa, Raul Oscar Rauter, Dalton Valeriano Alves e Rubens Ruiz. Tinha conhecimento desse desenvolvimento desde a fase inicial, por gentileza dos autores do trabalho. Não posso deixar de congratular-me vivamente com a Escola Técnica do Exército, na pessoa do orientador desse projeto, o Sr. Coronel Hésio e com todos os que dêle participaram. Conforme pudemos verificar, trata-se de um trabalho experimental bem desenvolvido e que constitui uma comprovação da capacidade técnica e persistência desse grupo de colaboradores, que souberam muito bem conduzi-lo no sentido da obtenção dos resultados aqui apresentados.

**W. P. Longo** <sup>(4)</sup> — Quero tornar público um agradecimento ao Prof. Souza Santos; disse S. Excia. apenas ter tomado conhecimento da realização do trabalho. Isso não é exato; nos auxiliou, e muito, na sua realização.

**T. D. S. Santos** — É bondade do Eng. Longo. Forneci-lhes a literatura de que dispunha. O crédito todo pelo trabalho desenvolvido

(1) Contribuição Técnica n.º 409. Discutida na Comissão «F» do XV Congresso Anual; São Paulo, julho de 1960.

(2) Membro da ABM e Presidente da Comissão; Engenheiro e Representante da «International Nickel Inc.»; São Paulo, SP.

(3) Membro da ABM; Professor Catedrático da EPUSP; São Paulo, SP.

(4) Membro da ABM; Engenheiro pela ETE; do Arsenal de Guerra de São Paulo, SP.

deve ser levado, em primeiro lugar, ao seu orientador, coronel Hésio, e, em segundo lugar, à equipe da Escola Técnica do Exército. Desejo fazer uma ligeira observação à margem do tema desenvolvido pela contribuição, que é a referente ao interesse potencial próximo que representa essa investigação. Salientou muito bem o relator que o magnésio é o único, entre os metais de importância industrial, que não é ainda produzido no País. Dentro em breve, temos a certeza de que deverá sê-lo, principalmente em consequência do próximo incremento dos trabalhos sobre o urânio. Temos trabalhado no IPT, nos últimos meses para sermos exatos, na obtenção desse metal; decidimo-nos, ao contrário de outras orientações, pela solução que lança mão precisamente do magnésio como redutor.

Ao se utilizar o magnésio como redutor da produção de urânio metálico, têm-nos mostrado experiências estrangeiras, norte-americanas em particular, que há decisiva vantagem do emprêgo do metal oriundo do processo Pidgeon sobre o de quaisquer outros processos.

Outra circunstância muito feliz para o emprêgo potencial, dentro em breve, do magnésio pelo processo Pidgeon para esse fim, é a da descoberta recente de uma jazida de dolomita de excepcional pureza no sul do Estado de São Paulo. Trata-se de dolomita com menos de 0,3% de sílica e menos de 0,4% de  $\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{Al}_2\text{O}_3$ . Certamente, com dolomitas tão puras quanto as dessas novas ocorrências, ter-se-á magnésio de alta pureza, que é, de resto, imprescindível para a produção de urânio de pureza nuclear.

**W. P. Longo** — Outro esclarecimento é o de que o magnésio obtido pelo processo Pidgeon não necessita de qualquer outro estágio de purificação; é obtido já em teor de 99,8% ou mais, de pureza.

**Nelson B. Paes Leme** <sup>(5)</sup> — Há alguma investigação econômica sobre esse processo?

**W. P. Longo** — Fazia parte da missão apresentada pela Chefia do Curso aos alunos, um estudo técnico-econômico do processo, visando principalmente a verificação da conveniência ou não de seu emprêgo, para solução do problema nacional. Infelizmente, na elaboração desta análise, seriam ultrapassados os limites de tempo disponível, por requerer inúmeras consultas a órgãos técnicos, levantamento de dados sobre importação, pesquisa de possibilidades do mercado, estudo da localização mais conveniente da indústria, e, principalmente, a comparação do processo em causa com outros, como o de extração a partir da água do mar, tema do projeto da turma de 1958 da ETE.

Temos porém conhecimento de um trabalho do Prof. Mario Rennó Gomes, da Universidade de Minas Gerais; trata-se de uma publicação que tece considerações econômicas sobre a produção de magnésio no Brasil. Dêle nos utilizamos.

Duas parecem ser as soluções viáveis para o nosso caso: 1.º) Processo Pidgeon, na região de Belo Horizonte e 2.º) Processo eletrolítico, esquema tipo Dow, na região de Cabo Frio, entrosado com a Companhia Nacional de Alcalis.

Contra a segunda solução pesa o fato da mesma não possuir flexibilidade operatória, por conseguinte, não ser passível de rápidas expansões à medida que a demanda o exigir. Sua associação com a CNA, desdobra a restrição de que o processo eletrolítico só se torna aconse-

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

lhável para produções superiores a 5.000 t, quando em instalações independentes.

Possibilitando rápidas expansões, com investimentos menores, parece ser a primeira solução a mais indicada, para iniciar a produção de magnésio no Brasil.

**G. Moraes** <sup>(6)</sup> — Queria secundar o que disse o Prof. Tharcisio nos meus cumprimentos a essa equipe de jovens colegas da Escola Técnica do Exército, que levantaram esse problema do magnésio. Queria perguntar qual a porosidade do briquete, o grau de compactação. Observaram correlação entre o grau de compactação dos briquetes, ou seja, porcentagens baixas, e os resultados obtidos?

**W. P. Longo** — Não tivemos tempo para observações dessa natureza; mas a literatura consultada fornece dados precisos a esse respeito.

Os reagentes em questão, não passam ao estado líquido, nem há tampouco sinterização da carga. A reação se dá por contacto, havendo interesse, portanto, em que haja íntima ligação entre os reagentes. Assim sendo, quanto mais compactos os briquetes, melhores os resultados.

A literatura cita também que, despreendida certa quantidade de magnésio, os briquetes se tornam porosos e, em consequência, duvidosa a reação, não havendo o seu completamento.

Obtivemos briquetes até com 2,02 g/cm<sup>3</sup>. Melhores resultados poderiam ser obtidos calcinando-se a dolomita já misturada com a fluorita. Assim procedendo, conseguem-se briquetes em torno de 2,5 g/cm<sup>3</sup>.

---

(6) Membro da ABM e Engenheiro do Centro Técnico de Aeronáutica de São José dos Campos; São Paulo, SP.