

REUNIÃO ABERTA SÔBRE  
"REFRATÁRIOS PARA A SIDERURGIA" <sup>(1)</sup>

II PARTE

DOLOMITA E SUA UTILIZAÇÃO COMO  
REFRATÁRIO NA SIDERURGIA <sup>(2)</sup>

Sua crescente importância com relação ao processo LD

FRED WOODS LACERDA <sup>(3)</sup>

RESUMO

*O Autor focaliza a crescente importância da exploração, beneficiamento e utilização da dolomita em refratários siderúrgicos, mormente nos fornos L-D; indica as reservas brasileiras e mostra as técnicas atuais de preparação da matéria prima e na fabricação de tijolos e placas de dolomita; fornece outras informações interessantes sobre esse importante material.*

1. GENERALIDADES

O carbonato duplo de cálcio e magnésio que recebeu o nome de *dolomita*, em homenagem ao Conde Dolomieu, seu identificador (1791), está recebendo agora, graças ao processo LD, mais impulso em sua crescente utilização, desde que Thomas mostrou que era possível remover o fósforo do aço se o revestimento do forno fôsse constituído de refratário de dolomita.

Na prática, o termo *dolomita* é usado genêricamente para nomear as rochas compostas principalmente daquele carbonato.

As aplicações da dolomita são muito variadas e bastante conhecidas. Além da sua utilização como material de revestimento do LD, é extensamente usada nas soleiras dos fornos Siemens, usada também como um dos agentes de extração do

(1) Realizada em 16-7-1963, no anfiteatro da Escola de Engenharia da UMG, por ocasião do XVIII Congresso Anual da ABM. Ver a I Parte neste mesmo Boletim.

(2) Contribuição Técnica n.º 522. Apresentada e discutida na Reunião Aberta citada.

(3) Membro da ABM e Engenheiro da Magnesita S.A.; Belo Horizonte, MG.

MgO da água do mar; finalmente, tentativas têm sido feitas de preparação de tijolos isolantes de dolomita<sup>1</sup>, com a finalidade de tornar mais eficiente o uso do revestimento todo básico do forno Siemens.

Reunidas estas principais parcelas de consumo, verificamos a importância atual representada pela exploração, beneficiamento e utilização deste mineral. Para maior compreensão do assunto, torna-se necessária a leitura do trabalho do Dr. Hélio P. Guimarães<sup>2</sup>, indiscutivelmente um dos maiores conhecedores da matéria em nosso País.

O carbonato tem a seguinte composição para a dolomita normal  $\text{Ca Mg} (\text{CO}_3)_2$  ou  $\text{CaCO}_3 \cdot \text{MgCO}_3$ :

$\text{CO}_2$	47,9%		$\text{CaCO}_3$	54,35%
$\text{CaO}$	30,4%	ou	$\text{MgCO}_3$	45,65%
$\text{MgO}$	21,7%			

Os carbonatos de ferro e manganês freqüentemente estão presentes, substituindo o carbonato de magnésio para formar séries isomórficas de dolomita e ankerita<sup>3</sup>,  $\text{CaCO}_3 \cdot (\text{Mg, Fe, Mn})\text{CO}_3$ , ou mesmo a ankerita normal  $2\text{CaCO}_3 : \text{MgCO}_3 \cdot \text{FeCO}_3$ ; pequenas quantidades de  $\text{CaO}$  substituem  $\text{MgO}$ , ou o oposto; raramente presentes os carbonatos de cobalto ou zinco.

Existe muita informação acumulada na literatura técnica especializada sobre a dolomita. É fácil compreender que as diversas comunicações a respeito das propriedades básicas, ainda não estejam concatenadas inteiramente com as propriedades reais das diversas ocorrências geológicas de mineral. Para isso concorre em primeiro lugar, obviamente, a diversidade natural dos fatores de formação geológica, impurezas presentes, etc., pelo que raramente estamos em presença de jazidas bastante homogêneas, sendo ainda empírica a comparação de propriedade de dolomitas de procedências diferentes. Em segundo lugar, apenas com o advento do processo LD tornou-se mais imperioso um melhor conhecimento da matéria prima a ser usada, para que possamos obter um melhor refratário, pois as novas condições de trabalho são bem mais críticas.

Permitimo-nos comparar esta fase em que se encontra a dolomita com aquela ocupada pelos refratários de material sílico-aluminoso, e de sílica, antes de serem reconhecidos certos problemas, como o da destruição dos tijolos sílico-aluminosos no Alto Forno pela deposição de carbono e a diminuição de refratariedade dos tijolos de sílica pela presença de excesso de  $\text{Al}_2\text{O}_3$ .

Vários pesquisadores estão trabalhando no sentido de anular um dos fatores que mais concorrem para destruir o refratá-

rio de dolomita, fato êste que não raro ocorre sem que o tijolo chegue a entrar em serviço, ou seja, o fenômeno de *hidratação* mais ou menos rápida de grãos de CaO atacados pela umidade do ar. Êste fenômeno é, sem dúvida, conhecido em qualquer Aciaria.

Segue-se o problema da *formação de silicato di-cálcico*, com a conhecida expansão (10% de aumento no volume) durante o resfriamento do revestimento, decorrente da inversão da forma  $\beta$  para a forma  $\gamma$ , aos 675°C e que resulta na desintegração progressiva do refratário após cada ciclo de resfriamento e aquecimento. Êste segundo fenômeno não era bem aceito até poucos anos atrás, em algumas de nossas aciarias. A desintegração era mais ou menos interpretada, como por exemplo no caso de soleiras de fornos elétricos, como motivada pela má execução da socagem da referida soleira.

## 2. OCORRÊNCIAS E CARACTERÍSTICAS GERAIS DA MATÉRIA PRIMA

No Brasil, a dolomita é uma rocha relativamente abundante nas zonas calcárias do Rio de Janeiro, Minas Gerais, São Paulo e Paraná<sup>4</sup>. O mineral para ser aceito como matéria prima para refratários, deve ser relativamente puro e o teor de  $MgCO_3$  é da ordem de 35% a 37%. A sílica presente não deve exceder um máximo de 2%.

A rocha, preferencialmente, deve ter textura uniforme e bastante compacta, não sujeita à ação dos agentes atmosféricos por maneira apreciável, da qual se possa obter um produto o mais denso possível. Quanto à origem, a dolomita pode ser de origem primária ou secundária. As de origem secundária, constituem o produto da dolomitização de calcários por soluções que contenham MgO em suspensão. Esta ação pode ter ocorrido logo após a deposição do calcário ou então numa época bem posterior. No primeiro caso, a dolomitização foi capaz, na maioria dos casos, de afetar áreas e espessuras consideráveis, ao passo que no segundo o processo se desenvolveu apenas na vizinhança das falhas e outras zonas fracas da camada, onde se tornou mais fácil a penetração da solução contendo MgO.

A preparação sintética da dolomita tem sido indicada por diversos autores, como Dana<sup>3</sup> (água do mar aquecida com carbonato de cálcio em tubo fechado) e estudada, entre outros, por Medlin<sup>5</sup>. No artigo citado, êste autor comunica que obteve a síntese por precipitação de uma solução ( $MgCl_2$ ,  $CaCl_2$  e uréia  $CO(NH_2)_2$ ) sujeita a pressões de  $CO_2$  e temperaturas ambas relativamente elevadas. A pressão de  $CO_2$  não é crítica

acima de 2 ou 3 atm, mas a temperatura deve estar compreendida entre 200°C e 250°C para se obter dolomita. Abaixo de 200°C forma-se carbonato de magnésio e aragonita. Acima de 250°C produzem-se a calcita e a magnesita. Sendo a temperatura mantida a 220°C,  $\pm 10^\circ\text{C}$ , obtém-se a precipitação de dolomita. A presença de NaCl e/ou outros sais, facilitam e dilatam a faixa de temperatura ótima para a síntese acima.

Quanto à decomposição da dolomita ao ser aquecida, há bastante divergência no que diz respeito às temperaturas em que ocorrem o início e o fim do desprendimento de  $\text{CO}_2$ . A maioria dos pesquisadores dá a temperatura de início como sendo de 400°C, partindo a primeira decomposição do carbonato de magnésio e afinal como sendo de 900°C, obtendo-se a dolomita calcinada. A razão da divergência parece ser variada. A forma pela qual a dolomita é preparada para a experiência, se finamente moída (o que facilita a evolução de  $\text{CO}_2$ ) ou em grãos e pedaços maiores, seria um fator a considerar. A origem da dolomita, sua constituição química, etc., seriam igualmente causas provocadoras de desvios.

No que concerne à aplicação de dolomita como refratário, os pontos aqui abordados parecem ser de discussão puramente acadêmica, pois o produto calcinado é extremamente reativo, ainda inadequado para aplicação. Mas a pesquisa que ainda poderá ser feita nesta faixa de conhecimentos básicos, poderá de certo trazer mais esclarecimentos que possibilitarão obter melhores refratários.

Em recente trabalho, os Engenheiros Hans Schlacher e Andreh Krancj<sup>6</sup> apresentaram uma tabela (de n.º 2) em que fizeram a comparação entre duas dolomitas brasileiras e outras de origens belga e alemã. Julgamos da máxima importância as observações dos citados autores, por poderem publicar os primeiros resultados desta ordem, obtidos no nosso País, durante a operação do LD de Monlevade, único existente em operação. Os autores condenaram a dolomita das imediações de Belo Horizonte (elevado teor de sílica e óxidos metálicos), opinando pela segunda como adequada e inteiramente satisfatória para uso nos conversores. Era esta proveniente da jazida de Miguel Burnier, MG, explorada pela Magnesita S/A., com a seguinte análise, fornecida pelos autores do trabalho, em %:

SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Mn <sub>3</sub> O <sub>4</sub>	CaO	MgO	P.F.	CO <sub>2</sub>
1,49	0,23	3,47	1,59	55,05	36,72	1,45	0,28

Os próprios autores comentam os elevados teores de Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> e de Mn<sub>3</sub>O<sub>4</sub>, que determinam a coloração marron-escuro raramente encontrada nas dolomitas. Interessante também de se

notar o baixo teor de  $Al_2O_3$ , pois êste óxido é absorvido pelo silicato tri-cálcico com imediata diminuição na refratariedade <sup>7</sup>.

### 3. DISCUSSÃO DA IMPORTANCIA DA DOLOMITA COM RELAÇÃO AO PROCESSO LD

Os que ouviram a última conferência do Dr. Felipe Franceschini <sup>8</sup>, puderam conhecer, em particular, os últimos progressos realizados nos Estados Unidos sôbre o consumo e aplicação de dolomita nos conversores LD. Salvo engano, a conferência do ilustre técnico, que abrange tôdas as impressões sôbre refratários colhidas pelo mesmo na sua recente viagem àquele país, deverá ser publicada num dos próximos números da Associação Brasileira de Cerâmica.

Apresentamos agora o gráfico 1 (preparado pelo AISI) extraído de um trabalho de W. S. Debenham <sup>9</sup>, da USS. Diz êste autor em seu artigo, que é correto admitir que, por volta de 1970, nos Estados Unidos:

- I — Todos os fornos Siemens serão inteiramente revestidos de material básico.
- II — Todos os pequenos fornos que ainda poderiam usar uma abóbada de sílica estarão fora de serviço, substituídos pelo LD.
- III — Parece certo que o LD tem de ser revestido de mistura de dolomita-magnesita ou simplesmente dolomita, uma ou outra ligadas com alcatrão, pois falharam até então tôdas as tentativas para usar tijolos básicos convencionais, quando sômente o custo é considerado.
- IV — À medida que a produção de aço pelo processo LD aumentar, o consumo total de básicos convencionais atingirá um nível máximo e daí decrescerá.
- V — A produção de dolomita ligada com alcatrão poderá igualar ou passar a de tijolos básicos convencionais, assumindo no momento um consumo médio de 18 a 20 libras de dolomita/t de aço produzido pelo processo LD.

B. L. Dorsey <sup>10</sup>, de Johns & Laughlin, relatando as primeiras experiências com LD, iniciadas em Aliquippa Works, em 11 de novembro de 1957 e relatadas em 18 de maio de 1959,

comunica, entre outros fatos que, usando um revestimento de magnesita, obteve apenas 202 corridas contra 172 para um revestimento de dolomita-magnesita (60-40%), sendo ambos os números médias de diversos revestimentos postos em serviço. Conclui que, muito embora o resultado acima não é conveniente o emprêgo de revestimento de magnesita por razões econômicas.

Para a Europa continental, onde o processo LD foi desenvolvido, torna-se ocioso demonstrar aqui o papel desempenhado pela dolomita. Apenas não nos foi possível obter, em tempo para inclusão neste trabalho, resultados de experiências com revestimento de magnesita. Apenas por via indireta podemos falar sôbre o assunto, pois Dorsey, no trabalho citado<sup>10</sup>, relata o emprêgo de um revestimento feito com tijolos de magnesita importados da Áustria. Apesar de ser um resultado isolado, não deixa de ser importante, pois foram obtidas 221 corridas, 19 mais que a média obtida com magnesita ligada com alcatrão.

Dorsey conclui que também não seria econômico tal revestimento (não sabemos se por ter de ser importado o material, o custo foi excessivamente aumentado). Achamos que Dorsey fez a experiência mais a título de confrontar a magnesita austríaca com os revestimentos fabricados nos Estados Unidos, pois não haveria realmente uma diferença tão marcante que justificasse uma importação rotineira deste tipo.

Na Inglaterra, Chesters<sup>11</sup> tem sido um dos mais antigos e constantes estudiosos da matéria. Cumpre notar um fato interessante, o de que durante a última guerra, ficaram os ingleses privados totalmente de magnesita. Mesmo depois, antes do ad-

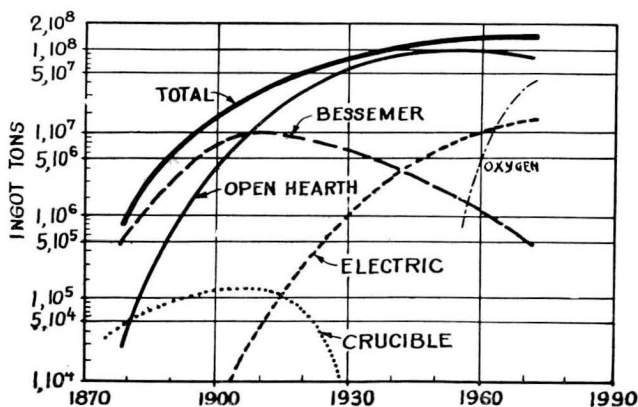


Fig. 1 — Produção de aço em lingotes nos E. U. A. segundo os vários processos, de acordo com o AISI. Publicado juntamente com artigo de W. S. Debenham em «Brick & Clay Records; Fevereiro de 1960.

vento da produção de  $MgO$  extraído da água do mar, mantiveram êles um uso bastante extenso de dolomita por falta daquele mineral em seu solo.

Deve ser lembrado que, na Europa, o famoso processo Grespi<sup>12</sup>, do qual foram requeridas numerosas patentes, já havia levado os técnicos a reconhecer melhor os diversos tipos de dolomita existentes, seu tratamento e uso. Prova disso é que não só o Siemens se beneficiou do uso extenso de dolomita na soleira, mas também as paredes dos fornos elétricos das aciarias<sup>13</sup> já estavam revestidas de tijolos de dolomita ou blocos do mesmo material, sem deixar de mencionar também o revestimento para o processo Thomas.

No nosso País, o conversor de Monlevade foi mais um marco instalado de progresso, mas também fonte de novas indagações para a nossa indústria de refratários.

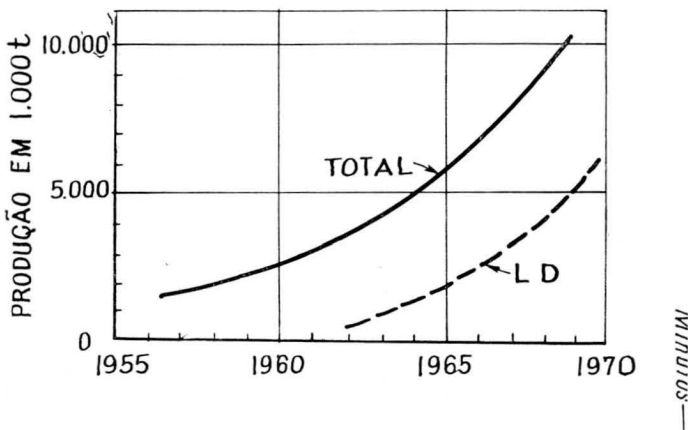


Fig. 2 — Contribuição crescente do processo L-D na produção brasileira de aços em lingotes. Dados de «Anuário Banas».

Vejamos agora a figura 2, compilada para êste trabalho com dados extraídos do Anuário Banas<sup>14</sup>. Acreditamos que no Brasil ainda estejamos longe de poder prever as condições necessárias para o declínio de produção de aço pelos fornos Siemens, tal como Debenham fêz antes para os Estados Unidos. Não é esta, aliás, a comparação cabível e sim podermos ressaltar, em primeiro lugar, o fato de que, no nosso País, a curva de crescimento de produção de aço pelo processo LD será em breve tão significativa em sua forma rapidamente ascendente, quanto à de igual crescimento apresentada pelas demais nações.

O ponto defendido por Debenham, item IV de nosso trabalho, dizendo que à medida que a produção de aço pelo processo LD aumentar, o consumo total de básicos convencionais atingirá um nível máximo e daí decrescerá, fica evidentemente, no caso do Brasil, situado para muito além do ano de 1970.

Não estamos porém colocados diferentemente no que diz respeito à importância da dolomita para com a moderna fase da Siderurgia no Brasil, sendo que esta situação perdurará, disso temos certeza, muito além do ano de 1970. Schlacher dá para o momento o seguinte dado de consumo de dolomita: 9,27 kg/t de aço.

Mesmo sujeito (como está o índice acima) a ser diminuído, estando a produção prevista para 1965 na ordem de 2 Mt de aço produzido pelo processo LD, teríamos então um consumo de dolomita oscilando entre 16.000 a 18.000, isto é, 5,5 vezes mais, aproximadamente, do que o consumo de 1961, somente para o fim específico de revestir os conversores LD. Se todos os revestimentos fossem feitos com uma parte de magnesita adicionada à dolomita, ainda assim o consumo de dolomita teria seu consumo aumentado de 3 a 3,5 vezes.

Surgem aí as indagações a que nos referimos. Produção de dolomita em quantidade e segundo especificações adequadas, para acompanhar rapidamente este surto de instalações de conversores LD. Pelas imediatas conseqüências que advirão disso, estamos certos de que a dolomita está sendo objeto da maior atenção por parte de nossos fabricantes de refratários e pelo expressivo grupo de Usinas que estarão em breve produzindo mais aço para o Brasil com o LD.

#### 4. TÉCNICAS ATUAIS DE PREPARAÇÃO DA MATÉRIA PRIMA

Ficou dito antes que os dois grandes problemas ligados à utilização da dolomita são: hidratação do CaO; inversão do silicato di-cálcico.

A fabricação de dolomita para ser aplicada como material refratário, visa também contornar os efeitos destes dois fatores, principalmente pela ação de elevadas temperaturas de calcinação aliada ao uso de "estabilizadores". O raio X constitui um meio rápido de análise para decidir qual dos dois casos tenha ocorrido. Parece-nos que a maior ênfase, de agora em diante, deva estar colocada noutro sentido, isto é, quais testes e análises devemos fazer antes, para determinar o que possa ocorrer em serviço.



Quanto à hidratação, Keim<sup>15</sup> tem um estudo (muito aceito e usado em diversos trabalhos recentes de outros pesquisadores) sobre a medida de resistência à hidratação, estabelecendo um índice de “susceptibilidade à hidratação” pelo chamado “método do vapor”. O autor faz a comparação deste com o método de imersão da amostra de dolomita em água fervendo.

Por outro lado, somente observações no microscópio petrográfico poderão dar uma boa idéia dos constituintes minerais dos refratários de dolomita. Este método pode ser usado em rotina mais pelos fabricantes do que pelas usinas. Talvez a análise termo diferencial seja mais prática.

*Fornos* — Na fabricação de dolomita para fins refratários, dois tipos de fornos podem ser usados: na Europa predomina o forno vertical (como para a fabricação de chamote sílico-aluminoso); o combustível é coque. Nos Estados Unidos o forno rotativo é muito mais empregado. O combustível em geral é carvão finamente pulverizado. No Brasil, o forno da Magnesita S/A., em Belo Horizonte, é do tipo vertical. A granulometria da carga é diferente nos dois casos.

No forno vertical, para não reduzir a tiragem necessária, trabalha-se com finos até um mínimo de 1,5 cm, dependendo muito este mínimo da aparelhagem acessória de insuflação de ar, da tiragem natural, etc. Em Acesita, tivemos oportunidade de operar um forno vertical experimental de  $\varnothing$  interno 1,50 m, altura de 4,50 m. As pedras da dolomita carregada não podiam ser inferiores a 2 cm, o máximo indo até 7-8 cm. O combustível era coque. Dolomitas com teores de  $\text{SiO}_2$  até 4% comportaram-se bem na queima, mas além disso formava-se grande quantidade de finos no interior do forno, impedindo a circulação de gases e interrompendo a marcha do forno. Constatamos que com teores altos de  $\text{SiO}_2$  livre, a rápida marcha de aquecimento imposta à carga fragmentava as pedras de dolomita, pela ação da conhecida inversão da sílica.

No forno rotativo a granulometria geralmente varia de 5 mm até 3 cm.

Ambos os fornos (vertical e rotativo) têm tido as suas performances melhoradas, conseqüentemente as temperaturas de trabalho têm sido bastante aumentadas, através de isolamentos, ar de combustão pré-aquecido, etc. A temperatura de trabalho mais alta consignada na literatura existente é igual a 1760°C para inúmeros fornos operando em boas condições.

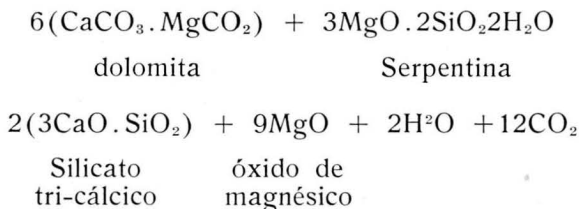
*Estabilização* — Há necessidade muitas vezes de se definir este e outros termos ligados à dolomita. Dolomita *calcificada*, é o termo empregado para dolomitas que forem sujeitas a temperaturas elevadas, acima de 1400°C, por exemplo. Esta dolomita ainda é reativa, tem algum  $\text{CO}_2$  que não se desprende, por último, não se contraiu em volume ao mínimo desejável.

A temperatura de 1400°C apontada acima é arbitrária. Aumentando ou diminuindo a mesma, variação de intensidade a reatividade, etc., daí os tēmos vagos comumente empregados, tais como bem calcinada, mal calcinada, etc. A tendência atual é a de estabelecer padrões de excelência fixados rigidamente, impostos pela prática colhida em operação direta. Assim deseja-se hoje que a dolomita seja calcinada a um mínimo estabelecido no momento em 1700°C. Daí o tēmo *calcinada à morte*, para definir o produto de maior densidade e menor reatividade, obtido sob temperatura de calcinação igual ou maior que a de 1700°C. Quanto à estabilização do material, a seguinte classificação é geralmente aceita: dolomita *semi-estabilizada*, é aquela que, depois de calcinada, é protegida do contacto com a umidade pela pintura ou mistura com alcatrão, pixe, etc., que envolvem os grãos ou partículas passíveis de ataque. Esta proteção é precária, pois assim que a temperatura se elevar, no início da campanha do forno, desaparece a película.

*Dolomita estabilizada* — A temperatura de fusão do eutético do sistema CaO-MgO é de 2300°C. Não haveria, portanto, a possibilidade de formação de um sinter dēstes dois óxidos durante a calcinação comum efetuada, se as dolomitas fossem essencialmente puras, isto é, se a sua constituição química fōsse exatamente a do carbonato duplo de MgO e CaO. Existem, no entretanto, minerais acessórios presentes ou de propósito adicionados, cujo fim é o de agir como *estabilizadores*, ou seja, manter estável o conjunto de condições alcançadas pela calcinação, entre elas a inalterabilidade do CaO em presença de umidade.

Sendo esta a função precípua dos estabilizadores, é necessário, no entanto, que os compostos necessariamente formados não sofram transformações indesejáveis em serviço, tal como a citada expansão do silicato di-cálcico. Em resumo, as principais adições de mineralizadores (também chamados) e os fatos concernentes ao processo são os seguintes:

A — Chesters, em obra já citada, indica a primeira tentativa feita com sucesso, adicionando-se sudanita (mistura de MgO e talco). Atualmente se emprega a serpentina:



J. R. Rait (citado) e colaboradores, estudaram a adição de serpentina, olivina, óxidos de ferro e de zircônio. A adição de serpentina necessária é da ordem de 15% para ter todo o CaO combinado sob a forma acima.

B — O  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  é o agente estabilizador mais em uso atualmente. Combina-se com o CaO para formar a ferrita di-cálcica  $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{CaO}$ . Harley Lee<sup>16</sup>, da Basic Incorporated, USA, apresenta os seguintes fatos:

Quando a proporção de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , para  $\text{Al}_2\text{O}_3$  é maior do que 5 para 1, a alumina provavelmente forma uma solução sólida de compostos entre a brownmillerita  $4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$  e a ferrita di-cálcica  $2\text{CaO} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$ . Quando é baixo o teor de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  a alumina forma  $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$  e o composto  $6\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$  com a brownmillerita, dependendo da proporção de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  para com o  $\text{Al}_2\text{O}_3$ .

Já havíamos ressaltado antes esta questão, quando observamos o baixo teor de alumina da dolomita de Miguel Burnier. A alumina em si é absorvida pelo silicato tri-cálcico, com conseqüente baixa de refratariedade; mais ainda: a solução sólida de ferrita di-cálcica e brownmillerita funde-se a  $1415^\circ\text{C}$ , sendo que a esta temperatura tem a propriedade de absorver silicato tri-cálcico, mais MgO e CaO, o que mais diminui o ponto de fusão da mistura.

C — Muitos trabalhos mostram que o ideal é o equilíbrio entre  $\text{SiO}_2$  e  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ . Na prática é isto que ocorre, embora varie com uma série de circunstâncias. Para algumas análises de dolomitas encontradas em utilização corrente, das mostradas por Lee, podemos ver que:

I — O teor de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  é maior,  $\pm 7\%$  ( $\text{SiO}_2$  baixo, 0,5%) para dolomitas usadas nas soleiras do Siemens, onde a ferrita di-cálcica contribui para uma fase líquida discretamente aumentada, o que facilita a sinterização de novas camadas de reparação.

II — Para fornos elétricos, sobe o teor de  $\text{SiO}_2$  (1%) decrescendo o  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  (4%).

III — Para dolomitas estabilizadas ( $\text{SiO}_2$  10% a 13%) que contenham quantidades elevadas de silicatos de cálcio, é desejável que os teores de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$

e  $\text{Al}_2\text{O}_3$  sejam os mais baixos possíveis, para termos um mínimo de fase líquida, pois o volume desta não seria somente ditado pela fusão dos aluminatos de cálcio e ferritas cálcicas, mas também porque êstes compostos agem como fluxos dos referidos silicatos.

D — Não obstante todos os cuidados, havendo  $\text{SiO}_2$ , há sempre o perigo de formação de  $2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ . A adição de certos elementos como o boro, certos fosfatos, etc., mesmo em proporções muito diminutas (1%), previnem a formação dêste silicato em favor do tri-cálcico, que não está sujeito à expansão conhecida por efeito de inversão de forma ( $\beta$  para a  $\gamma$ ).

Finalizando, concluiremos dizendo que entre a fabricação e a utilização da dolomita, os seguintes itens principais devem ser levados em consideração:

- I — Matéria prima selecionada e uniforme.
- II — Temperatura de calcinação elevada ( $1700^\circ\text{C}$  ou mais).
- III — Estabilização apropriada. Teores de  $\text{Al}_2\text{O}_3$  baixos; molhar a dolomita com óleo para maior proteção.
- IV — Como precaução, não usar os finos de uma dolomita estocada mesmo por poucos dias; separar a parte não hidratada, produzindo os finos necessários (por moagem).
- V — Proteger os blocos ou tijolos de atmosfera que contenha umidade. O uso de câmaras com atmosfera controlada é o ideal.
- VI — Não estocar a dolomita, ou tijolos e blocos dela fabricados por muito tempo; sua utilização deve ser sempre imediata.

## 5. TIJOLOS E BLOCOS DE DOLOMITA

De uma maneira geral, os revestimentos de dolomita, sejam feitos de tijolos ou de blocos, podem ser realizados com os seguintes componentes:

- Dolomita.
- Dolomita (fração grossa) + Magnesita (fração fina).

— Dolomita (fração grossa) + Dolomita estabilizada (fração fina).

Deve ser entendido que a dolomita e magnesita são calcinadas à morte. Quanto à fabricação propriamente dita, temos:

*Tijolos:*

- a) Uma das misturas acima, prensada em formatos normais ou especiais; estes tijolos são depois requeimados e pintados com alcatrão; a dolomita pode ser estabilizada neste estágio.
- b) Uma das misturas acima, misturada com alcatrão (6% a 8%); prensadas à massa em prensas de alta tonelagem; estão prontas para uso.

*Blocos:*

Uma das misturas acima, misturada com alcatrão (6% a 8%); socadores a ar comprimido comprimem a massa em moldes ou fôrmas; peças prontas para uso.

*Tijolos para o LD:*

São comumente empregados os do tipo *b*. Schlacher e Krancj, já citados, fizeram uma descrição minuciosa, levando em conta todos os detalhes de fabricação destes tijolos. Como o trabalho figura em "ABM-Boletim", deixamos de fazer aqui o que seria uma simples repetição do assunto. Lembramos, aliás, que somente Monlevade possui instalações no Brasil para prensagem deste tipo de tijolos, até o presente momento.

*Blocos de dolomita para paredes de fornos elétricos:*

Na Usina de Acesita, até o ano de 1957, os revestimentos dos fornos elétricos da Aciaria (Forno 1 de 7 t e Forno 2 de 27 t) eram constituídos de dolomita socada na soleira, tijolos de magnesita na parede e tijolos de sílica na abóbada. Não se dispunha ainda, na época, de tijolos de magnesita revestidos de chapa metálica. O revestimento era então feito com tijolos comuns de magnesita, colocando-se nas juntas verticais e horizontais, pedaços de chapa cortados previamente, em tamanhos apropriados. O assentamento era feito em sêco.

A presença em Acesita de técnicos da DEW, entre os quais o Dr. Roman Schustek, animou-nos a passar para o revestimento de blocos de dolomita na referida parede.

A instalação inicial para a fabricação de blocos era bastante precária, mas o forno 1 teve seu primeiro revestimento testado em setembro de 1957 e o do forno 2 em outubro do mesmo ano, sendo assim, acreditamos, os primeiros a serem revestidos de dolomita nas paredes.

Inicialmente, a dolomita recebida da Magnesita S/A. era moída em uma galga. Uma caixa rasa de chapa, aquecida por baixo, recebia a dolomita moída, onde então se procedia à mistura com alcatrão previamente aquecido, operação esta manual. Posteriormente passou-se a fazer a mistura do alcatrão diretamente na galga, após um período de 25 minutos de moagem da dolomita, procedimento êste de acôrdo com o indicado por Chesters. Schlacher e Krancj não estão de acôrdo com êste procedimento, em seu trabalho, o que hoje também apoiamos inteiramente, pois o emprêgo de uma curva de granulometria adequada conduz a resultados muito mais perfeitos.

As fôrmas não tiveram quase modificação até hoje. Cada forno foi dividido em tantos setores. Cada bloco depois de pronto tem uma parede vertical cilíndrica em contacto com a parede do forno. A parede de frente para o interior do forno é levemente inclinada, o pé do bloco sendo mais largo. Na realidade, entre o bloco e o forno existe uma camisa de tijolos apenas para proteção e que raramente é desmontada, mesmo quando se retira um revestimento velho.

A massa preparada da maneira acima descrita é trazida para dentro de fôrmas metálicas inteiramente desmontáveis. Nestas é comprimida com socadores a ar comprimido, dos que são usados comumente em fundição, pesados, com hastes longas que permitam o início da socagem dentro das fôrmas que são bastante altas. Posteriormente os blocos são retirados e pintados externamente de alcatrão.

Na porta de escória de cada forno pode-se optar por um pequeno arco de tijolos de magnesita suportando um bloco menor. Posteriormente êste sistema foi abandonado, colocando-se um bloco de dolomita sòzinho. Para a bica de corrida, o bloco é socado com um postigo cilíndrico de madeira,  $\varnothing$  6", que se queima quando o forno é aquecido, deixando assim um orifício para a saída de metal líquido.

Antes de se iniciar a socagem de cada bloco, colocam-se dentro da fôrma 2 alças de ferro chato de 2" de largura que vão envolver o bloco depois de socado. Estas alças facilitam a movimentação dos blocos com a ponte rolante.

Posteriormente, o forno 1 passou a ser revestido monoliticamente, sendo colocada uma fôrma cilíndrica em seu interior e

o material a ser socado era comprimido diretamente no lugar em que a parede deveria ser formada. Isto se tornou mais prático graças à reduzida dimensão do forno, mas não conduz realmente a um bloco bem denso.

As dimensões dos fornos e características gerais dos blocos são as seguintes:

FORNO 1: Monolítico;  $\varnothing$  interno: 2,06 m.

FORNO 2:  $\varnothing$  interno do revestimento: 3,60 m.  
Altura do revestimento: 1,30 m.  
13 1/2" no pé, 9" na cabeça do bloco.  
Pêso total do revestimento: 10 t.  
N.º de blocos: 7 e 1 da porta de escória.

FORNO 3:  $\varnothing$  interno do revestimento: 4,10 m.  
Altura do revestimento: 1,75 m.  
18" no pé, 9" na cabeça do bloco.  
Pêso total do revestimento: 20 t.  
N.º de blocos: 2 fiadas, 8 na fiada superior  
7 na inferior.

A Usina de Acesita tem projetada a instalação de um LD, em substituição ao Bessemer existente. Nesta ocasião poderá dispôr de instalações mais adequadas para a preparação da dolomita. O processo de socagem pouco terá de ser modificado. Outro problema que deverá estar sanado em breve, será o seguinte: uma vez completada a pavimentação da estrada de Belo Horizonte a Acesita, a dolomita será recebida em melhores condições, isto é, a duração da viagem por caminhão será menor do que a atual; conseqüentemente o uso da dolomita não estará sujeito a longas esperas. O maior problema dos blocos de Acesita reside na grande hidratação a que estão constantemente sujeitos, problema muito agravado pela grande umidade da região.

#### BIBLIOGRAFIA

1. *Ceramics Symposium*. Sociedade Britânica de Cerâmica; Stoke-on-Trent, 1953.
2. GUIMARAES, Hélio P. — *Refratários para o conversor L-D*. ABM-Boletim, volume 16 página 83.
3. *Dana's Textbook of Mineralogy*. 4.ª edição.
4. ABREU, Silvío Froes de — *Recursos Minerais do Brasil*. Instituto Nacional de Tecnologia, Rio de Janeiro, 1960.
5. MEDLIN, W. L. — *Preparation of sintetic dolomite*. Am. Mineralogist, setembro-outubro, 1959.

6. SCHLACHER, H.; KRANCJ, A. — *Dolomita calcinada e piche como matérias primas para o revestimento dos conversores LD de Monlevade*. ABM-Boletim, volume 18, página 243.
7. CHESTERS, J. H. — *Steelplant refractories*. Sheffield, 1946.
8. FRANCESCHINI, Felipe — *Refratários para a indústria siderúrgica*. Conferência na Associação Brasileira de Cerâmica, 1963.
9. DEBENHAM, W. S. — *Role of refractories in steel's future*. Brick & Clay Record, fevereiro, 1960.
10. DORSEY, B. L. — *Basic oxygen furnace refractories*. Boletim da ACS de maio de 1960.
11. CHESTERS, J. H. — na referência 1, páginas 641 e segs.
12. CRESPI, G. B. — Pat. Brit., 507.715 de 20-6-1939.
13. CHESTERS, J. H. — na referência 7, página 358.
14. *Anuário BANAS* — Editora BANAS, "Siderurgia", 4.ª edição.
15. KEIM, Owen — *A study of the hydration resistance of granular dead burned dolomite*. Boletim da ACS, julho de 1959.
16. LEE, Harley — *Dead burned dolomite. Its manufacture and uses in steel refining furnaces*. Boletim da ACS, dezembro de 1962.