

REFRATÁRIOS NÃO MOLDADOS:  
APLICAÇÃO NAS ACIARIAS DA USIMINAS<sup>(1)</sup>

José Andrade de Souza<sup>(2)</sup>

Maurício Gallo<sup>(3)</sup>

Julio César Vasconcellos Castro<sup>(4)</sup>

R E S U M O

Tendo em vista a importância que a utilização de refratários não moldados vem assumindo na indústria siderúrgica, proporcionando economia de energia e mão de obra, e contribuindo para o aumento da vida dos revestimentos refratários, são feitas considerações sobre a aplicação desses produtos nas aciarias da USIMINAS. Destaca-se principalmente o emprego de massas de projeção a quente e concretos refratários, salientando-se aspectos relacionados à qualidade desses materiais.

- 
- (1) - Contribuição Técnica do Simpósio COREF; Vitória - ES; outubro, 1982.
- (2) - Membro da ABM. Chefe da Seção de Manutenção de Refratários da Aciaria nº 2 da USIMINAS; Ipatinga - MG.
- (3) - Membro da ABM. Engenheiro Mecânico da Unidade de Metalurgia de Aciaria da USIMINAS; Ipatinga - MG.
- (4) - Membro da ABM e ABC. Engenheiro Metalurgista da Unidade de Pesquisa do Aço da USIMINAS; Ipatinga - MG.

## 1. INTRODUÇÃO

Refletindo a demanda de economia de energia e mão de obra nestes últimos anos, a proporção de fabricação de refratários não moldados em relação aos tijolos vem aumentando gradativamente. Essa tendência, no caso do Japão, é mostrada na Figura 1, onde se compara a produção dos dois tipos de produtos na década passada.

Os produtos não moldados oferecem várias vantagens sobre os conformados, entre elas:

- Economia de energia durante o processo de fabricação;
- Grande flexibilidade quanto às possibilidades de projeto;
- Rápida instalação e baixo custo de aplicação;
- Isenção de juntas e boa resistência ao choque térmico.

Por outro lado, não se pode ignorar o fato de que a durabilidade dos revestimentos monolíticos, em contacto com gusa ou aço líquido, é inferior, se comparada com a de tijolos. Também deve-se ter em conta a quantidade de energia gasta para secagem dos monolíticos, geralmente misturados com água. Na Tabela I apresenta-se uma comparação entre monolíticos e tijolos, no Japão.

Numa aciaria, esses materiais destinam-se, geralmente, ao uso como massas de reparos à quente ou como concretos de revestimentos de partes metálicas. Neste trabalho são feitas algumas considerações sobre as aplicações mais importantes de não moldados nas aciarias da USIMINAS.

## 2. MASSAS DE PROJEÇÃO À QUENTE

A projeção de massa refratária à quente é uma prática que vem sendo largamente utilizada em aciarias, no sentido de aumentar a vida do revestimento refratário dos convertedores LD.

As matérias primas das massas comerciais para este uso consistem de magnésia, dolomita ou uma mistura de ambas, aglutinadas com diferentes tipos de ligantes, sendo os fosfatos e silicatos alcalinos os mais comumente empregados.

A resistência dessas massas depende, após sinterização, da natureza do material e das condições da projeção. Estas condições de-

TABELA I - Comparação entre monolíticos e tijolos (2)

ITEM	UNID.	TIJOLOS	MONOLÍTICOS
Área necessária para fabricação mensal	m <sup>2</sup> /t	30 - 50	10 - 15
Produtividade da mão de obra	t/homem - ano	60 - 240	480 - 1200
Consumo combustível*	l/t	200-600	20 - 30
Consumo energia	MJ/t	560-1080	108 - 180
Automação do sistema produtivo	/	difícil	fácil
Mecanização de instalação	/	difícil	fácil

\* Não inclui combustível para beneficiamento da matéria prima.

vem ser bem controladas, sendo os principais parâmetros: distribuição e quantidade de água, regularidade no transporte do material, espessura da camada projetada e temperatura da parede do forno.

Na USIMINAS, a utilização da projeção a quente, para reparos de convertedor, foi introduzida a partir de 1977, tendo sido usada então, uma massa à base de MgO adquirida no mercado externo, devido a inexistência de um produto nacional. Após vários testes com massas importadas e não, atualmente é usado somente um material de fabricação nacional, cuja composição química é mostrada na Tabela II. A Figura 2 mostra a evolução do consumo de massa de projeção e tijolos dos convertedores da aciaria número 2 da USIMINAS.

TABELA II - Composição química das massas de projeção usadas na USIMINAS (3)

COMP. QUÍMICA (%)	MATERIAL	A	B	C
	MgO	85,3	52,2	82,28
	CaO	3,61	32,7	2,38
	SiO <sub>2</sub>	1,08	1,72	9,38
	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,17	0,63	1,51
	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1,85	4,15	1,65
	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	< 0,03	< 0,03	0,06
	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	4,10	2,03	-
	PPC	3,03	5,67	2,94

A - Nacional (usado atualmente) B e C - Importados.

Os principais controles realizados na USIMINAS para manutenção da qualidade destas massas são:

- **Análise química** - Necessária para se controlar a percentagem de MgO e a natureza do ligante, sendo que, para massas de ligação fosfática, a relação  $\text{CaO/SiO}_2$  tem uma grande influência sobre a resistência de aderência na temperatura de  $1200^\circ\text{C}$  e sobre a refratariedade sob carga. O efeito da relação  $\text{CaO/SiO}_2$  sobre as propriedades acima citadas é mostrado nas Figuras 3 e 4.
- **Análise granulométrica** - As massas de projeção devem apresentar um tamanho máximo de partículas menor de que as misturas usadas na fabricação dos tijolos, a fim de reduzir o rebote excessivo. Também menor quantidade de partículas extremamente finas, facilitando o fluxo do material e uma distribuição granulométrica mais uniforme. A Figura 5 mostra resultados de análises granulométricas de massas testadas na USIMINAS.
- **Análise de fases** - O exame por difração de raios-X permite a identificação da composição mineralógica do material, concorrendo para que se tenha uma avaliação mais completa de sua qualidade.
- **Testes físicos** - O maior obstáculo ao desenvolvimento de estudos sobre as massas de projeção, vem sendo a confecção dos corpos de prova. A falta de rigidez do corpo de prova deve-se provavelmente ao fato do material não apresentar pega hidráulica.
- **Testes industriais** - Na USIMINAS, o acompanhamento da utilização industrial dessas massas, visa, principalmente, a determinação da pega ou aderência dos mesmos durante aplicação no revestimento e sua duração após cada corrida.

Uma perspectiva interessante é a projeção de massa em um painel revestido com tijolos de MgO e preaquecido. Nestas condições poderiam ser estudados os aspectos de rebote, densificação, porosidade e sinterização em escala piloto.

### 3. CONCRETO PARA RECOBRIMENTO DE DISTRIBUIDOR

As características exigidas para o bom desempenho desse material são:

- boa trabalhabilidade e propriedade de "pega" antes da utilização;
- boa resistência à erosão pelo aço líquido;
- refratariedade suficientemente elevada;
- pouca aderência aos tijolos do revestimento de desgaste para facilitar a retirada do cascão após uso.

Os produtos mais comumente usados são: concretos de alta e média alumina, de magnésia e de magnésia-cromo. Esses materiais são utilizados em todo o distribuidor numa espessura de 15 a 30mm, sobre o tijolo de desgaste.

Na USIMINAS, no primeiro ano de operação do lingotamento contínuo, utilizou-se um material importado de alta alumina ( $Al_2O_3 \geq 80\%$ ) substituído posteriormente por concretos de fabricação nacional de composição química similar. A pega ou aderência desses concretos durante assentamento é uma característica imprescindível. Alguns materiais fornecidos à USIMINAS para esta aplicação, não puderam sequer ser testados industrialmente, devido não apresentarem em sua constituição quantidades apropriadas de agentes plasticizantes. O agarramento excessivo no tijolo de desgaste, especialmente na linha de escória, é um fator negativo observado durante o uso do concreto de alta alumina.

A partir de meados de 1979, baseando-se em informações bibliográficas e conhecimentos adquiridos em treinamentos técnicos realizados no exterior, a USIMINAS solicitou aos seus fornecedores um concreto básico, alegando as seguintes vantagens em relação ao material aluminoso: maior refratariedade e resistência à erosão, maior facilidade na retirada de cascão, redução das inclusões não metálicas no aço e custo menor, por ser de fabricação mais barata. Superadas as primeiras dificuldades, devido a problemas de "pega" e acerto de composição química e granulométrica, atualmente todos os distribuidores são concretados com material básico. A Tabela III apresenta características dos materiais usados no recobrimento do distribuidor na USIMINAS.

Problemas relacionados com estouro e desmoronamento de concreto durante o aquecimento do distribuidor foram resolvidos com um controle mais rígido da percentagem de água a ser adicionada.

TABELA III - Composição química dos concretos usados no recobrimento dos distribuidores na USIMINAS.

FORNECEDORES COMP. QUÍMICA (%)	TIPO			BÁSICOS	
	ALTA ALUMINA			D	E
	A	B	C		
$Al_2O_3$	72,25	78,11	89,5	10,0	7,0
$SiO_2$	12,9	5,2	2,0	3,3	4,5
CaO	5,7	6,35	4,45	4,1	4,5
$Fe_2O_3$	1,11	0,79	0,49	3,7	2,7
MgO	0,17	0,18	0,11	72,0	82,0
$K_2O$	0,55	0,19	0,04	0,04	0,08
$Na_2O$	0,04	0,02	0,18	0,04	0,08
$Cr_2O_3$	-	-	-	3,0	<0,06
PPC	0,21	0,2	1,63	2,0	1,61

Também já foi verificado que a granulometria exerce influência no fenômeno de estouro. Portanto, a distribuição granulométrica dos materiais de recobrimento deve ser controlada, principalmente, observando-se a participação da fração fina. A Figura 6 apresenta a distribuição granulométrica de produtos básicos usados atualmente.

Visando o desenvolvimento da qualidade desses materiais para atender condições futuras de maior solicitação, tais como: aumento da capacidade do distribuidor e maior número de corridas, a USIMINAS, tem procurado trabalhar em conjunto com os fabricantes. Por outro lado, está também em fase avançada de desenvolvimento, um produto que reúne propriedades de resistência ao aço e proporciona também um melhor isolamento térmico, com conseqüente menor queda de temperatura do aço líquido no distribuidor.

#### 4. CONCRETO PARA LANÇAS

A idéia de fabricar lanças com concreto refratário surgiu da necessidade de se substituir a lança de grafite usada na dessulfuração do gusa, que além da dificuldade de importação e alto custo, apresenta vida relativamente baixa, com grande frequência de troca.

Assim, em meados de 1977, iniciavam-se na USIMINAS as primeiras experiências com lanças revestidas com concreto refratário, usando-se uma tecnologia de fabricação própria.

Um estudo detalhado comparando os custos dos dois tipos de lança, grafite e concreto, serviu de base para estabelecer a meta a ser atingida quanto ao número de utilizações para emprego economicamente viável da lança de concreto. Os estudos de desenvolvimento conduziram ao projeto de lança atualmente em uso, composta basicamente de um concreto de alta alumina reforçado com fibras metálicas.

As Figuras 7 e 8 mostram respectivamente a evolução de recordes obtidos com lanças de concreto e uma comparação da vida média das lanças de grafite e concreto, desde o início de seu desenvolvimento.

Os resultados das primeiras utilizações deixaram claro que deviam ser tomadas providências com relação à resistência do material ao choque térmico e à fragmentação. O conhecimento do uso de concreto reforçados com fibras metálicas nesta aplicação, direcionou os esforços nesse sentido, baseando-se no fato de que a adição das fibras de aço (2 - 5% em peso), aumenta a resistência à flexão do concreto (Figura 9). Uma resistência à flexão mais elevada significa que em situação de serviço, o esforço mecânico e térmico necessário para provocar trincas no refratário será mais elevado.

Resultados de aplicações práticas confirmaram o benefício do uso destas fibras em concretos, uma vez que aumentam a resistência ao aparecimento e propagação das trincas, ocasionadas por choque térmico. Por outro lado, fatores limitantes no uso destas fibras são a temperatura e a atmosfera, responsáveis pela fusão ou oxidação das mesmas, tornando-as quebradiças e de fácil desagregação.

Uma precaução a ser tomada é, durante a operação de mistura do concreto com água, evitar o empelotamento e segregação das fibras.

A granulometria do concreto também desempenha um papel importante, estabelecendo-se em torno de 70 - 80% a proporção de grãos grossos (> 1mm), para se obter uma boa resistência à termoclasse<sup>(5)</sup>.

Concluindo, o controle dos parâmetros de fabricação (percentagem de água, tempo de conformação, cura e aquecimento) deve ser ob-

servado rigidamente, uma vez que muito podem afetar o desempenho das lanças em operação.

Devido aos bons resultados obtidos com as lanças monolíticas na dessulfuração do gusa, a mesma sistemática de fabricação vem sendo adotada na USIMINAS para confecção de lanças para tratamento do aço na panela. Anteriormente, as lanças de injeção de argônio eram constituídas de luvas silico-aluminosas e cabeça de alumina-grafite (importada).

## 5. EQUIPAMENTO RH DE DEGASEIFICAÇÃO

Materiais não moldados são empregados no equipamento de degaseificação a vácuo (RH), no revestimento refratário dos bicos de circulação do aço e como massas de reparo à quente.

Devidos às severas condições a que são submetidos os refratários usados nos bicos de circulação: variação brusca de temperatura e efeito erosivo do aço e escória a temperatura elevada ( $\approx 1600^{\circ}\text{C}$ ), foram selecionados para revestir a parte externa dos bicos, concretos refratários de alta alumina. Materiais com teor de  $\text{Al}_2\text{O}_3$  em torno de 93% estão sendo testados na USIMINAS.

Para reparar as partes inferiores do vaso RH estão sendo desenvolvidas duas técnicas distintas: reparo por injeção e por projeção. No reparo por injeção (Figura 10), propõe-se utilizar inicialmente um material de alta alumina. Essa massa deve ser tal que além de reunir características que permitam sua injeção, apresente endurecimento rápido após aplicada e elevada resistência à erosão pelo aço líquido. Já o reparo por projeção, vem sendo feito na parte externa dos bicos com massas básicas. O material projetado não deve apresentar grãos muito grossos a fim de evitar sua perda por rebote. Devido a dificuldade de se reparar a parte interna dos bicos, vem sendo desenvolvido um sistema de lança especialmente para esta finalidade.

## 6. CONCLUSÕES

Observa-se o gradativo aumento da participação dos refratá -



rios monolíticos nas aciarias da USIMINAS, em substituição aos produtos moldados.

A utilização, em maior escala, dos reparos por projeção a quente, têm nitidamente contribuído para o prolongamento da vida do revestimento dos convertedores LD, obtendo-se campanhas acima de 1000 corridas e atingindo níveis de consumo da ordem de 2,3kg/t. aço.

O uso de uma camada de concreto refratário sobre os tijolos de desgaste dos distribuidores, entre outras vantagens, tem possibilitado melhor desempenho do revestimento, alcançando-se vidas da ordem de 300 corridas.

A fabricação de lanças monolíticas, a partir de um refratário nacional, além de evitar emprego de produto importado, permitiu pela maior duração do revestimento, uma operação mais contínua, eliminando-se as trocas frequentes da lança.

Face às condições operacionais altamente agressivas a que o revestimento é exposto, a fabricação de materiais não moldados para uso no equipamento RH de desgaseificação constitui ainda, um grande desafio para a indústria nacional de refratários.

Concluindo, a tendência é usar mais aqueles refratários que apresentem versatilidade de emprego. Deve-se ressaltar, entretanto, que esta tendência ficará cada vez mais dependente do desenvolvimento de técnicas de aplicação que resultem em melhor desempenho do revestimento refratário dos equipamentos.

## BIBLIOGRAFIA

- 1 - TAIKABUTSU OVERSEAS - Vol. 1 nº 2 - 1981, pg. 104.
- 2 - SUGITA, K. et alii - "Refractories and Energy Savings in the Steel Industry. Intercceram; nº 5; 1981.
- 3 - CASTRO, J.C.V. et alii - Relatório final de estudo sobre "Avaliação de material refratário para projeção em convertedores" Dez. 1979. (Interno; USIMINAS).
- 4 - NAMEISHI, N. - "Recent status of steel plant refractories in Japan" - Internationales Feuer-fest Kolloquium. Aachen ; Germany - Oct. 1976.
- 5 - CASTRO, J.C.V. - Relatório final de estudo sobre "Desenvolvimento de lança refratária para dessulfuração de gusa".Dez/1981. (Interno - USIMINAS).
- 6 - ACI - Refractory Concrete - Detroit, American Institute.1978 (p. 307 - Publication SP-57).

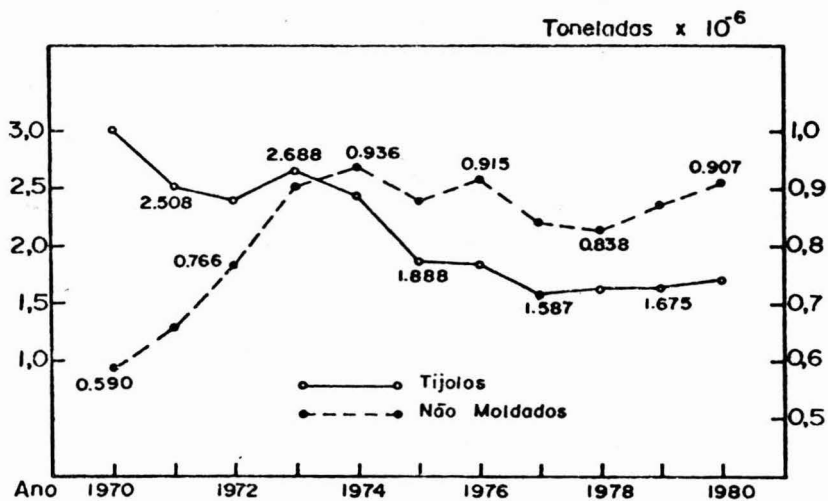


Fig. 1 - Produção de materiais refratários no JAPÃO (formados e não moldados). (1)

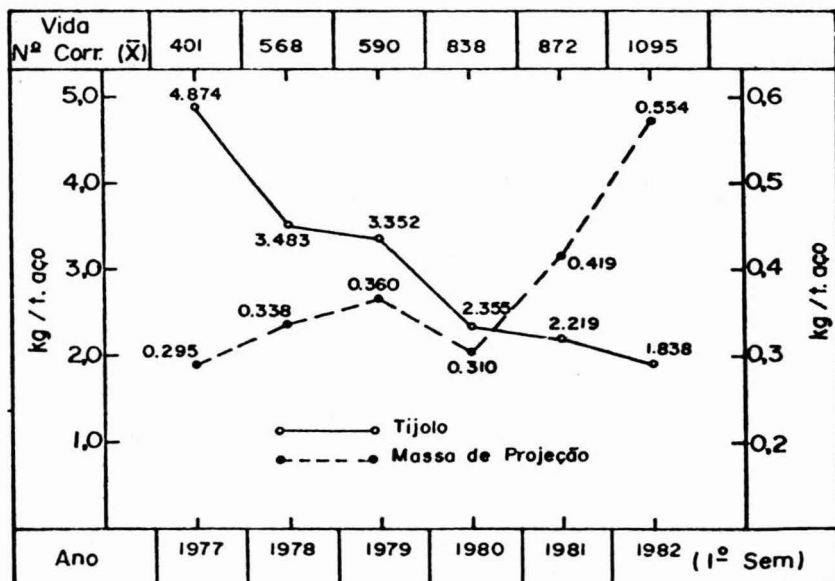


Fig. 2 - Evolução do consumo de massa de projeção e tijolos dos convertedores da aciaria nº 2 da USIMINAS.

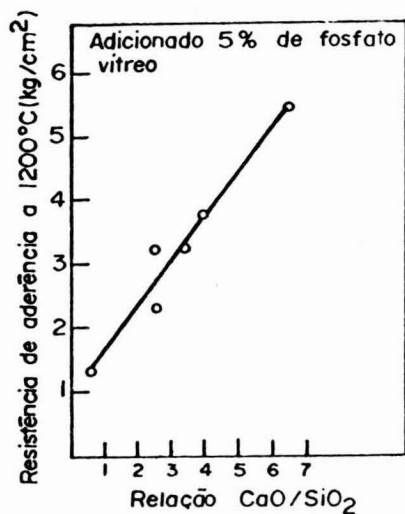


Fig. 3 - Efeito da relação CaO/SiO<sub>2</sub> na resistência de aderência a quente de um material de projeção ligado com fosfato. (4)

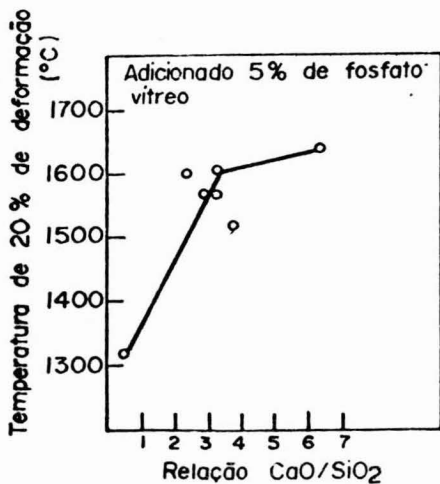


Fig. 4 - Efeito da relação CaO/SiO<sub>2</sub> na refratariedade sob carga de um material de projeção ligado com fosfato. (4)

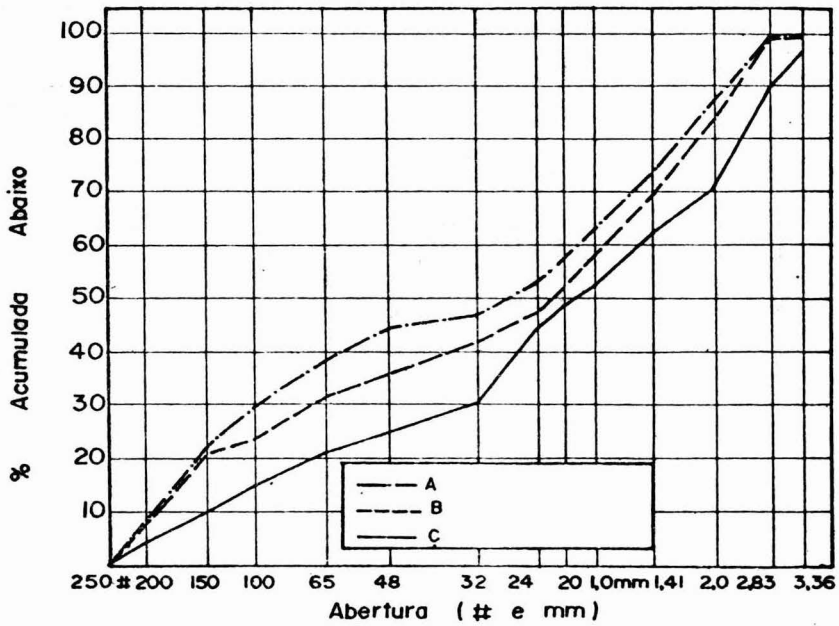


Fig. 5 - Curvas granulométricas das massas de projeção usadas na USIMINAS. (5)

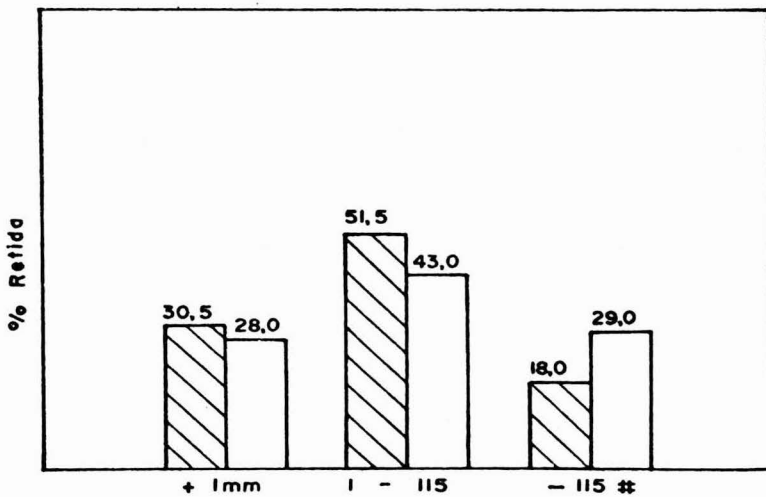


Fig. 6 - Distribuição granulométrica de concretos básicos utilizados nos distribuidores da USIMINAS.

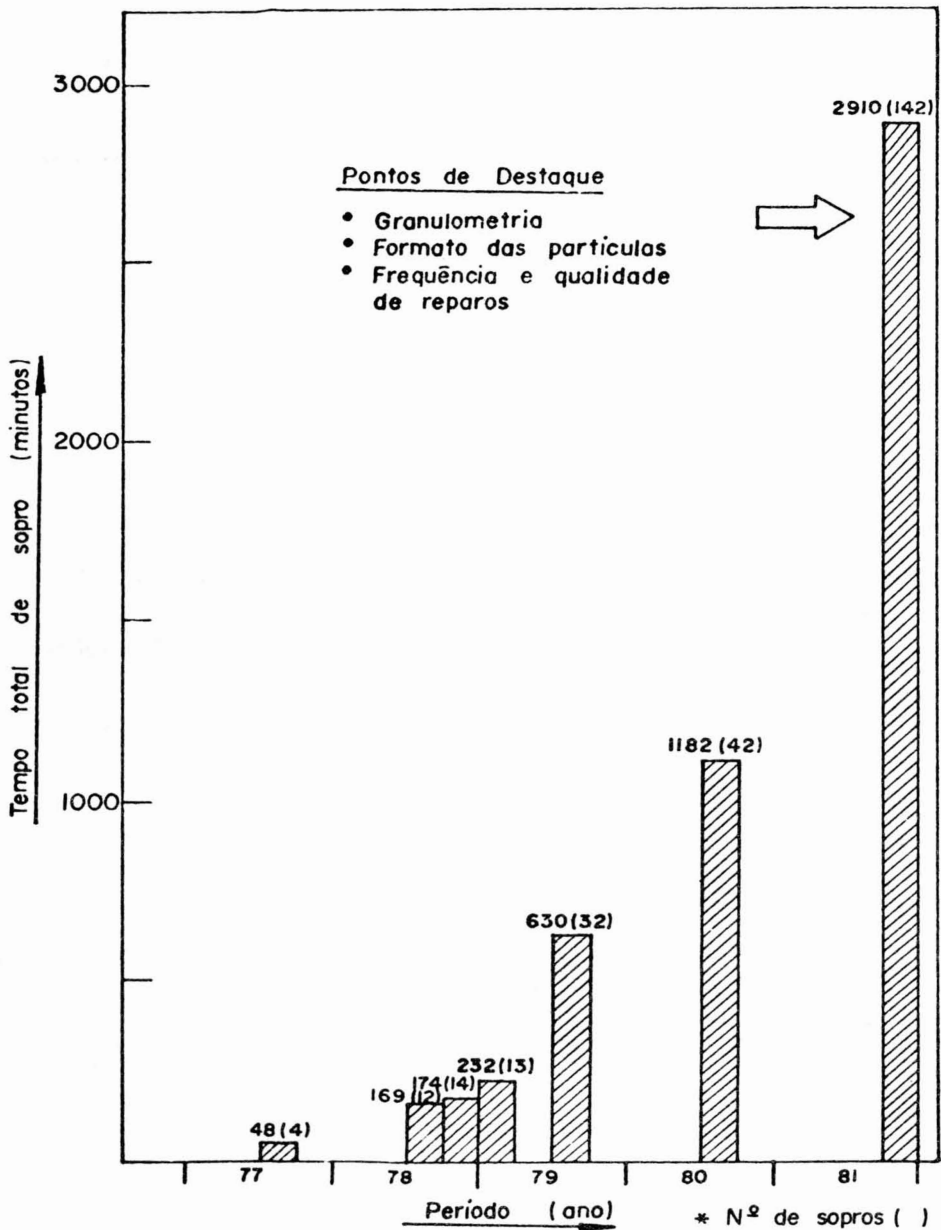


Fig. 7 - Evolução de recordes obtidos com lanças de concreto refratário. (5)

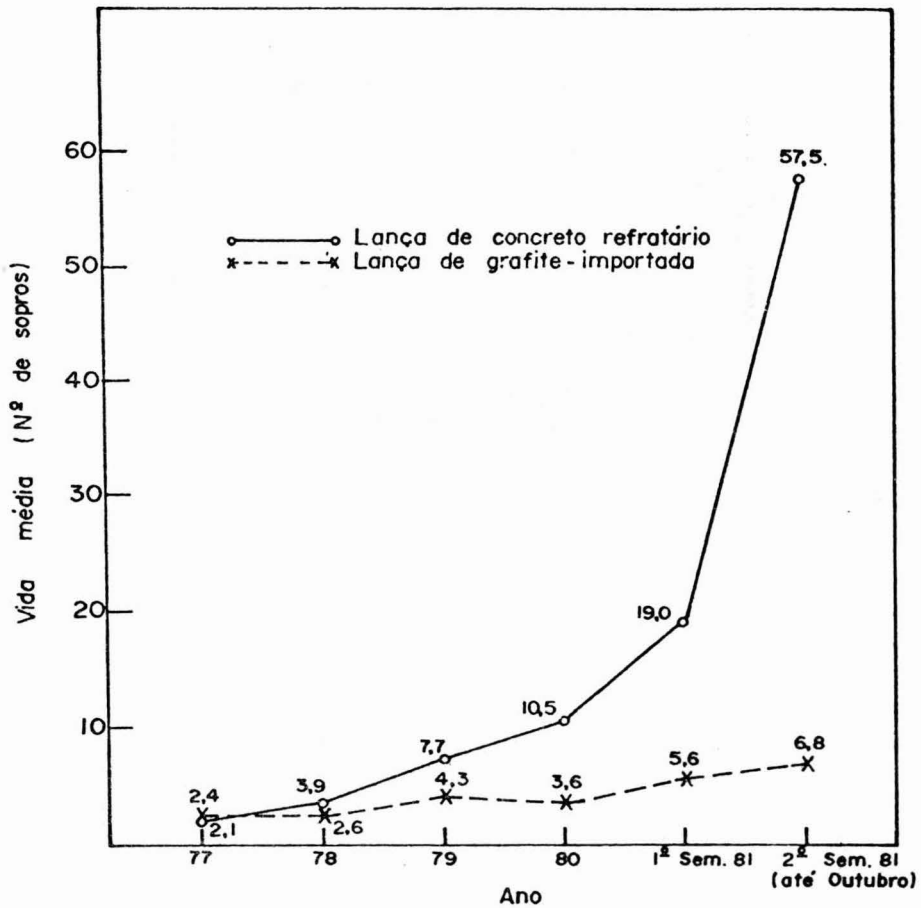


Fig. 8 - Comparação da vida média das lanças de grafite e de concreto. (5)

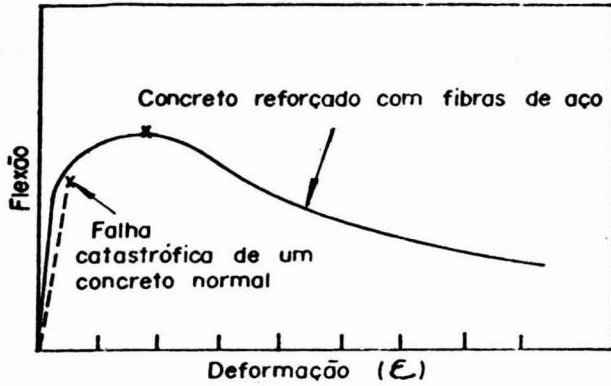


Fig. 9 - Curvas de tensão-deformação de concretos refratários. (6)

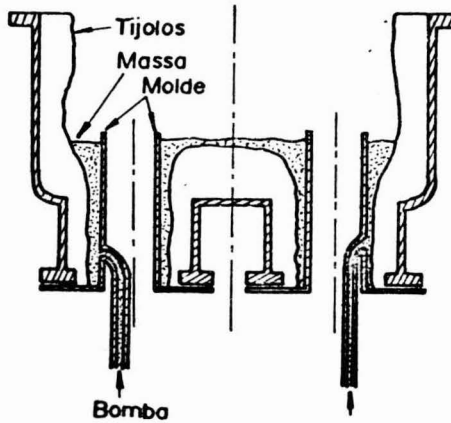


Fig. 10 - Reparo por injeção de massa no vaso inferior do RH.