

PROCESSO DE CONFEÇÃO DE REFRAATÁRIO ÁCIDO EM FORNOS A INDUÇÃO
USADO PELA THYSSEN FUNDIÇÕES S.A. (1)

CARLOS ALBERTO QUINTELLA FREIRE (2)

RESUMO

O presente trabalho tem por objetivo descrever a experiência adquirida ao longo do tempo pela Thyssen Fundições S.A. - Usina Barra do Piraí, em relação a refratário ácido em 3 fornos a indução tipo IT 7 da BBC.

Estes fornos iniciaram operação em final de 1977 e, até o final de 1978 apresentaram uma produção em média de 400t por campanha.

Com melhorias introduzidas após este período, iniciou-se uma fase em que as campanhas atingem hoje um valor médio de 2.800t.

-
- (1) Contribuição técnica a ser apresentada no Simpósio CCFUF/ABM, São Paulo, setembro de 1981.
 - (2) Engenheiro Industrial Metalurgista, Chefe do Departamento de Fusão e Tratamento Térmico da Thyssen Fundições S.A. - Usina Barra do Piraí.

1. INTRODUÇÃO

O presente trabalho visa descrever experiências adquiridas ao longo do tempo em fornos Indução tipo IT 7P da BBC, em relação a refratário ácido.

O forno tem as seguintes características técnicas:

- Capacidade do cadinho	13,6 t
- Temperatura máxima de vazamento	1550°C
- Potência máxima do forno	3750 kW
- Potência máxima de ligação	4300 kVA
- Tensão nominal de trabalho	2950 V
- Rendimento elétrico	81 %
- Capacitores para correção do fator de potência para $\cos \phi = 1$	18.800 kVAr
- Consumo de água de refrigeração	30 m ³ /h
- Pressão de água na bobina	7,5 kg/cm ²
- Água de emergência	15 m ³ /h
- Pressão da água de emergência	3,5 kg/cm ²
- Alimentação da alta tensão	13.200V-3f-60 Hz

Quanto ao acionamento, tanto o basculamento do forno como o levantamento e giro da abóbada são sistemas hidráulicos. A regulagem do $\cos - \phi$ pode ser manual ou automática.

Os 3 fornos entraram em operação no final de 1977, conseguindo-se uma campanha de em média 400t. Nesta fase, o quartzo era proveniente da Svenska (Sílica HF 4, importado). Este fato se deve à força de contrato feito com a BBC, de que durante o período de garantia, deveríamos usar esta massa.

O processo de confecção do refratário, seguia instruções da BBC, a qual tem a sua sequência e tempos das operações, como segue:

A - <u>Fundo</u>	<u>Tempo</u>
1 - Colocar massa (10 baldes)	1,0
2 - Pisar socando a massa colocada	1,0
3 - Colocar e distribuir a massa com a mão (10 baldes)	1,0
4 - Pisar socando a massa colocada	1,0
5 - Socar com garfo dentado (3 homens)	10,0
6 - Colocar e distribuir a massa com a colher (10 baldes)	1,0
7 - Socar com garfo dentado (3 homens)	10,0
8 - Colocar massa (10 baldes)	1,0
9 - Socar com garfo dentado (3 homens)	10,0
10 - Colocar massa (10 baldes)	1,0
11 - Pisar socando a massa colocada na orla, próximo ao amianto	1,0
12 - Socar com garfo dentado (3 homens)	10,0
13 - Socar com garfo dentado	10,0
14 - Nivelar com a colher	5,0

Tempo

15 - Socar a massa colocada com socador manual	15,0
16 - Raspar nivelando e retirar o excesso de areia (4 baldes)	12,0

B - Parede

1 - Apanhar a camisa com a ponte rolante	2,0
2 - Posicionar a camisa no forno e calçá-la (3 calcos) ...	5,0
3 - Desprender a massa colocada no fundo próxima à orla com garfo dentado	3,0
4 - Colocar massa através do funil (12 baldes)	6,0
5 - Socar com garfo dentado (3 homens)	15,0
6 - Colocar massa através do funil (10 baldes)	5,0
*7 - Socar com garfo dentado (3 homens)	15,0
8 - Colocar massa através do funil (8 baldes)	5,0
*9 - Socar com garfo dentado (3 homens)	15,0
10 - Colocar massa através do funil (8 baldes)	5,0
*11 - Socar com garfo dentado (3 homens)	15,0
12 - Colocar massa através do funil (8 baldes)	5,0
*13 - Socar com garfo dentado (3 homens)	15,0
14 - Colocar massa através do funil (8 baldes)	5,0
**15 - Socar com garfo dentado (4 homens)	8,0
16 - Socar com vibrador manual a camisa	2,0
17 - Colocar massa através do funil (8 baldes)	5,0
**18 - Socar com garfo dentado (4 homens)	8,0
19 - Colocar massa através do funil (5 baldes)	4,0
**20 - Socar com garfo dentado (4 homens)	8,0
21 - Colocar massa através do funil (5 baldes)	4,0
**22 - Socar com garfo dentado (4 homens)	8,0
23 - Socar com vibrador manual a camisa	1,0
24 - Colocar massa através do funil (5 baldes)	4,0
**25 - Socar com garfo dentado (4 homens)	8,0
26 - Colocar massa através do funil (5 baldes)	4,0
**27 - Socar com garfo dentado (4 homens)	8,0
28 - Colocar massa através do funil (5 baldes)	4,0
29 - Socar com vibrador manual a camisa	1,0
**30 - Socar com garfo dentado (4 homens)	8,0
31 - Colocar massa através do funil (5 baldes)	4,0
**32 - Socar com garfo dentado (4 homens)	8,0
33 - Socar com vibrador manual a camisa	1,0
34 - Colocar massa através do funil (5 baldes)	4,0
**35 - Socar com garfo dentado (4 homens)	8,0
36 - Colocar massa através do funil (5 baldes)	4,0
**37 - Socar com garfo dentado (4 homens)	8,0
38 - Socar com vibrador manual a camisa	1,0
39 - Colocar massa através do funil (5 baldes)	4,0
**40 - Socar com garfo dentado (4 homens)	8,0
41 - Colocar massa através do funil (5 baldes)	4,0
**42 - Socar com garfo dentado (4 homens)	8,0
43 - Socar com vibrador manual a camisa	1,0
44 - Colocar massa através do funil (5 baldes)	4,0

	<u>Tempo</u>
**45 - Socar com garfo dentado (4 homens)	8,0
46 - Colocar massa através do funil (5 baldes)	4,0
**47 - Socar com garfo dentado (4 homens)	8,0
48 - Socar com vibrador manual a camisa	1,0
49 - Colocar massa através do funil (5 baldes)	4,0
**50 - Socar com garfo dentado (4 homens)	8,0
51 - Colocar massa através do funil (4 baldes)	4,0
**52 - Socar com garfo dentado (4 homens)	8,0
53 - Socar com vibrador manual a camisa	1,0
54 - Colocar massa através do funil (5 baldes)	1,0
**55 - Socar com garfo dentado	8,0
56 - Colocar massa (5 baldes)	4,0
**57 - Socar com garfo dentado	8,0
58 - Tirar o bloco de partida com a ponte rolante	2,0
59 - Socar com o vibrador toda a camisa (4 vezes)	15,0
60 - Colocar massa nivelando com altura da camisa e socar (3 baldes)	5,0

OBS: * No socar hã um revezamento na posição dos homens de 4 em 4 minutos.

** No socar hã um revezamento na posição dos homens de 2 em 2 minutos.

A percentagem de ácido bórico usado era de 1,5%.

2. TRANSFORMAÇÕES DA SÍLICA E SUAS PROPRIEDADES

O revestimento usado nestes fornos é uma mistura homogênea de um material refratário contendo pelo menos 98% SiO₂ fabricado a partir de rochas de quartzito e ácido bórico. O processo de sinterização deve assegurar a transformação alotrópica da sílica (quartzo) em tridimita e cristobalita.(1)

O revestimento de sílica permite esvaziar completamente o forno, deixar esfriar o cadinho e dar nova partida com carga fria, sem com isto ter grandes riscos de penetração de metal nas rachaduras, pois as mesmas já estariam fechadas quando a carga começar a fundir,

A adição do ácido bórico é necessária para atuar como um reagente químico para diminuir a refratariedade da sílica. A fusão de partículas menores de quartzito com o ácido bórico, forma uma massa sólida. Atingindo o ponto de fusão do ácido bórico em 580°C, começa a formação do silicato de boro que aumenta o seu teor com a elevação de temperatura.(2)

A figura 1 mostra a curva de expansão da sílica em função da temperatura. A sílica pode existir em diversas formas cristalinas e uma amorfa. São conhecidas pelo menos 8 transformações: quartzo α e β ; tridimita γ , β e α ; cristobalita β e α ; e vidro de quartzo. (1)

O quartzo β , estável em temperaturas normais, transforma-se em quartzo α a 573°C. O quartzo α não é encontrado na crosta terrestre, devido sua região de estabilidade encontrar-se entre 573 e 870°C.

A 870°C, o quartzo α transforma-se lentamente em tridimita α , porém somente na presença de um fundente forte, e se suficientemente moído. Se não há fundente na mistura, o quartzo α , quando aquecido a 1300-1450°C (até mesmo a 1.000°C, de acordo com algumas referências), passa lentamente pela fase "metacristobalita", transformando-se em cristobalita α , apesar da tridimita α ser ainda estável nessas temperaturas.

Quando aquecido rapidamente acima de 1600°C, o quartzo pode fundir sem passar por essas transformações. O resultado é um líquido muito viscoso.

Os limites da transformação do quartzo podem ser representados pelo seguinte diagrama:

	870°C	1470°C	1723°C	
Quartzo α		tridimita α	cristobalita α	sílica fundida
573°C		163°C	180-270°C	
Quartzo β		tridimita β	cristobalita β	vidro de quartzo
		117°C		(sílica)
		tridimita γ		

As setas horizontais mostram a direção das transformações que ocorrem vagorosamente e que são reversíveis somente em condições especiais, e as setas verticais mostram as transformações rápidas durante aquecimento ou resfriamento.

As variações no volume durante as transformações totais da sílica estão representadas na tabela I e as estruturas cristalinas na tabela II. A tabela III apresenta a análise química média de quartzitos de diferentes países e, na tabela IV, as distribuições granulométricas típicas.

3. MODIFICAÇÃO DA TÉCNICA DE CONFECÇÃO DO CADINHO

Após terminado o prazo de garantia da BBC, foi decidido mudar o fornecedor de quartzito para eliminar dependência de importação.

Com o primeiro quartzito nacional utilizado, as campanhas continuaram atingindo o mesmo valor anterior. Foi decidido alterar o fornecedor de quartzito, que levou a passar de 400t para 800t por campanha.

3.1 Zonas existentes na espessura do refratário do cadinho

A análise visual de um pedaço do material refratário na parede do cadinho, mostra 4 (quatro) zonas distintas: (3)

1. A zona de infiltração voltada para o banho, escurecida por causa da escória e do metal, e abrange cerca de 10% da espessura da parede quando houver sinterização correta.
2. A camada sinterizada, na qual a estrutura do quartzo forma partículas vitrificadas, onde a agregação dos grãos é tão intensa que as rupturas atravessam os grãos. Essa zona abrange de 20% a 30% da espessura da parede.
3. Nesta zona os grãos de quartzo tem uma firmeza cerâmica, porém não são sinterizados e as rupturas atravessam os grãos (somente as partículas menores estão fundidas).
4. O material está solto nesta zona. O quartzo não endurece por falta de temperatura suficiente, e dá ao cadinho a elasticidade necessária para evitar rupturas.

3.2 Desenvolvimento da técnica de confecção do refratário

Partindo-se do ponto de vista que os fatores que levam a uma melhoria na durabilidade do cadinho são, principalmente, a eficiência do processo de socamento, composição da massa, boa mistura da granulação do quartzito e um correto teor de ácido bórico, iniciamos a tentar melhorar ponto por ponto.

O teor de ácido bórico (H_2BO_3) é definido em função da temperatura de trabalho. O gráfico da figura 3, indica os teores recomendados em função da temperatura. Como a nossa temperatura de trabalho é de 1550°C utilizamos 1,5% de ácido bórico (este material contém 46% de água que sairá entre as espiras da bobina em forma de vapor).

O processo de socamento foi o próximo passo dado, tendo sido alterado de socamento manual para socamente com vibrador elétrico (figura nº 4) na parede do forno. Com isto o programa anterior para confecção do forno foi alterado para o seguinte:

A - Fundo (Idem ao processo inicial)

B - Parede

Tempo

- | | |
|--|-----|
| 1 - Apanhar a camisa com a ponte rolante | 2,0 |
| 2 - Posicionar a camisa no forno e calçá-la (3 calços).... | 5,0 |
| 3 - Desprender a massa colocada no fundo próxima à orla, com garfo dentado | 3,0 |

	<u>Tempo</u>
4 - Colocar a massa através do mangote do container, diretamente entre a camisa e o amianto do forno, até a borda. Durante esta operação, 2 homens vão socando a massa para acamá-la, utilizando garfos dentados para essa operação	8,0
5 - Vibrar, utilizando o vibrador próprio para lateral do forno, só na parte cônica	8,0
6 - Ir subindo o vibrador em movimento de espiral, utilizando a velocidade de micro da ponte. É muito importante que se vá colocando a massa na borda do forno, à medida que a mesma vai acomodando. Esta operação deverá ser realizada 2 vezes, sendo cada ciclo de 10 min	20,0
7 - Raspar a borda, nivelando a massa	3,0

Além da sensível melhoria na campanha dos fornos, observa-se também uma redução no tempo total de confecção do cadinho e eliminação de imperfeições em relação à socagem manual.

A massa utilizada apresenta peso específico de 1680 kg/m^3 quando solta e testes em laboratório mostraram que após 3 percussões o valor é de 1940 kg/m^3 e até o limite máximo de compactação 2050 kg/m^3 .

O conjunto vibrador para a parede do cadinho, é constituído por um corpo cilíndrico, de aproximadamente 200mm tendo na parte superior, fixado por parafusos, uma haste destinada a transporte e sustentação do mesmo. Abaixo da haste de sustentação, temos 3 suportes fixados por solda equidistante entre si 1200. Partindo dos suportes temos 3 braços articuláveis que se deslocam, comandados por cilindros pneumáticos. Na parte inferior dos braços, internamente, temos 3 motores vibradores e na parte externa 3 segmentos com roletes, os quais são pressionados contra a parede que deverá receber os movimentos vibratórios.

Compõem o sistema uma válvula selenóide que ao ser energizada dá passagem para ar comprimido movimentando os cilindros pneumáticos, e também uma chave magnética de comando para motovibradores e válvulas selenóides. O vibrador utilizado é um Vimot tipo M-03-2, com 3500 rpm, 6000 N de impacto máximo, 0,9J de torque máximo, 0,5HP e 15 kg de peso.

É importante ressaltar que o processo de sinterização continuou o mesmo, conforme está indicado na tabela V, sinterização esta que visa dar uma elevação gradativa de temperatura para evitar choques térmicos no cadinho, tensões excessivas devido à transformações rápidas e pressão de vapor produzido pela água na sílica, ácido bórico e refratário.

Com a utilização do vibrador atingimos em média 1.200t por campanha.

3.3 Reparos do cadinho

O controle para verificação do desgaste do refratário é feito através de medições do raio do cadinho em vários pontos (figura nº 5). O desgaste máximo permissível é de um terço da espessura da parede do refratário. Atingindo o valor médio de 1.200t, as medições do cadinho mostravam desgastes em duas regiões principalmente que são na borda do forno (figura nº 6) e na parte inferior (figura nº 7), em torno da parte cônica.

Analisada a incidência deste problema, iniciamos por fazer reparos a frio nestas regiões. Para isto, o forno é esgotado, limpa a borda (figura nº 8), para facilitar as movimentações de transformação da sílica, fechado e deixado esfriar normalmente. Quando a temperatura interna do forno possibilita entrar-se nele, inicia-se a fase de limpeza da região a ser reparada (figura nº 9).

Deve-se ressaltar que o valor 1.200t por campanha é um valor médio. As características elétricas do forno, ajudam sensivelmente na determinação do momento da necessidade de tais reparos. Um aumento de aproximadamente 10% na potência nominal, indica que já existe um desgaste considerável. Se isto ocorrer no início ou no meio da semana, abaixa-se do "tap" máximo para o "tap" anterior. Nesta condição, geralmente, volta-se a ter a potência nominal neste "tap". Se isto não ocorrer abaixa-se novamente para o "tap" anterior. Este procedimento é feito somente até o "tap" 5.

Um desgaste localizado no cadinho e de pequenas proporções, não afetará a leitura da potência. Sendo assim, o único parâmetro confiável para controle do cadinho, é realmente a medição do raio do cadinho.

A superfície do cadinho que será reparada, deverá estar completamente limpa de escória.

Em alguns casos o fundo do forno mostra também um desgaste. Esta camada é regenerada através de socamento de massa nova de quartzito com o garfo e em seguida é assentada uma camisa no fundo do forno (figura nº 10), cujo diâmetro é sempre 1090mm e a altura varia de 600mm a 800mm (em função da altura do desgaste). Centrada esta camisa, é colocado o quartzito nesta região e após completar o nível, é iniciada a vibração com um martelete pneumático, começando da parte inferior e subindo com movimentos em espiral até a parte superior (figura nº 11). A figura 12 ilustra o acima exposto.

Estes reparos duram em média de 600 a 700t. Após o terceiro ou quarto reparo, o forno começa a apresentar um desgaste em uma região bem acima da região normal de reparos de parte inferior. Neste caso parte-se para um novo revestimento.

Em paralelo aos reparos na parte inferior, são feitos também reparos na borda do forno (figura nº 13), mas que podem ser feitos com o forno em operação. Para isto é mantido um percentual de banho de 20% a menos da capacidade do forno, percentagem esta baseada no fato de que valores acima deste reduzem substancialmente a potência nominal.(4) A figura 14 ilustra esta informação.

Estes reparos reduzem em média de 10 a 15% a potência nominal na primeira semana, mas logo após retornam à normalidade.

Após terminada a colocação dos blocos de partida devidamente centralizados dentro do forno, é iniciada a sinterização, que consiste em manter o forno ligado no "tap" 2 durante 8 horas, seguido do "tap" 3 durante 6 horas e, finalmente, "tap"4 até fundir a carga.

3.4 Utilização de vibrador no fundo do cadinho

A fim de reduzir os desgastes ocorridos no fundo do cadinho, foi sentida a necessidade de melhorar a socagem neste ponto. Isto foi conseguido com a utilização de um vibrador, que é constituído de um disco de chapa de aço de 1/2" sobre o qual estão fixados dois vibradores do tipo G-05-2, com 3500 rpm, 9000N de impacto máximo, 1,30J de torque máximo, 0,75HP e 23 kg de peso.

O disco contém furos que possibilitam a saída de ar existente na massa a ser socada.

A sequência de utilização do vibrador e colocação da massa é a seguinte:

A - Fundo	Tempo
1 - Colocar massa (10 baldes)	1,0
2 - Pisar socando a massa colocada	1,0
3 - Colocar e distribuir a massa com a mão (10 baldes)	1,0
4 - Pisar socando a massa colocada	1,0
5 - Socar com garfo dentado (2 homens)	5,0
6 - Colocar e distribuir a massa com a colher (10 baldes)..	1,0
7 - Socar com garfo dentado (2 homens)	5,0
8 - Colocar massa (10 baldes)	1,0
9 - Socar com garfo dentado (2 homens)	5,0
10 - Colocar massa (10 baldes)	1,0
11 - Socar com garfo dentado (2 homens)	5,0
12 - Socar com vibrador do fundo, tendo o cuidado de mantê-lo no centro do forno	2,0
13 - Repetir a operação, agora com o vibrador todo encostado em 12 h	2,0
14 - Repetir a operação, com o vibrador encostado em 6h.....	2,0
15 - Repetir a operação, com o vibrador encostado em 3h	2,0

	<u>Tempo</u>
16 - Repetir a operação, com o vibrador encostado em 9h	2,0
17 - Repetir a operação novamente no centro, agora colocando sob o vibrador um disco de aço de 1/2" e 550mm de diâmetro	2,0
18 - Raspar nivelando e retirar o excesso da massa (4 baldes)	12,0

4. CONCLUSÃO

Após estas modificações, foi obtida uma campanha média de 2800t.

A figura 15 esquematiza as fases de desenvolvimento ao longo do tempo.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. BUNKOV, P.P. - The Technology of Ceramic and Refractory , Capítulo 5, pág. 216, 1974.
2. B.B.C. - Introdução para revestimento com massa de quartzito, pág. 11, 1980.
3. FELDHUS, H.G. - Feuerfeste Stoffe in der Stahl und Eisen, Giesserei, pág. 48, 1970.
4. RIGGLE, W.M. - Melting Procedures for Coreless Furnaces. American Foundrymen's Society, pág. 3, 1980.

Tabela I - Variação volumétrica das formas alotrópicas do SiO₂

Transformação	Var.volum.,%
Quartzo β <u>573°C</u> quartzo α	+ 0.82
Tridimita γ <u>117°C</u> tridimita β	+ 0.2
Cristobalita β <u>250°C</u> cristobalita α	+ 3.7
Tridimita β <u>163°C</u> tridimita α	+ 0.2
Quartzo α <u>870°C</u> tridimita α	+ 16.0
Quartzo α <u>1000°C</u> cristobalita α	+ 15.4
Quartzo α <u>1723°C</u> vidro de sílica	+ 15.5
Vidro de sílica <u>1000°C</u> cristobalita α	- 0.9

Tabela II - Estruturas cristalinas do SiO₂ em função da temperatura

<u>Forma alotrópica</u>	<u>Estrutura cristalina</u>	<u>Região de estabilidade,</u> <u>°C</u>
Quartzo β	Trigonal, trapezoidal, tetraédrica	Até 573
Quartzo α	Hexagonal-trapezoidal, hemiédrica	573-870
Tridimita γ	Pseudo-hexagonal, rombica	Até 117
Tridimita β	Hexagonal	117-163
Tridimita α	Hexagonal, trapezoidal, hemiédrica	879-1470
Cristobalita β	Rombica, pseudo-regular	Abaixo de 180-270
Cristobalita α	Regular	1470-1713 + 10
Vidro de quartzo	Amorfa	Como o líquido funde em torno de 1713 +10°C. Em temperaturas mais baixas em estado superes- friado.

Tabela III - Análise média dos quartzitos de alguns países (%)

Origem	SiO ₂	Al ₂ O ₃	TiO ₂	Fe ₂ O ₃	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O
Alemanha	94,4		4,2	0,46	0,11	Traç.	0,20	(ALK)
Alemanha	95,9		2,9	0,10	0,40	Traç.	-	-
Suécia	98,35		0,76	0,44		0,25	-	-
Inglaterra	96,63	1,06	0,13	0,94	0,29	Traç.		0,40
Alemanha	98,04		1,21	0,31		Traç.	0,14	-
Suécia	99,02	0,38	0,11	0,21	0,08	0,06		0,09
Alemanha	97,0	1,10	1,00	0,56	-	-	-	-
U.S.A.	98,0	0,30	0,10	0,50	-	-		0,10
África	97,8	0,38	1,50	0,16	-	-	-	-
Itália	97,9	0,36	0,64	0,06		Traç.	Traç.	-
Brasil	99,02	0,38	0,10	0,16	0,06	0,15	-	-

Tabela IV - Distribuição granulométrica de quartzitos de diferentes procedências

Origem	0 0,06mm	0,06mm 0,20mm	0,2mm 1,0mm	1,0mm 2,0mm	2,0mm 4,0mm	acima da 4mm
Suécia	21%	14%	37%	17%	8%	3%
Inglaterra	18%	16%	46%	14%	6%	-
Alemanha	20%	21%	19%	28%	8%	4%
Alemanha	19%	23%	29%	21%	8%	-
Alemanha	26%	20%	26%	19%	9%	-
França	25%	31%	43%	1%	-	-
França	13%	15%	33%	21%	18%	-
Itália	22%	16%	34%	17%	9%	2%
Bélgica	13%	22%	33%	15%	14%	3%
Índia	11%	30%	23%	18%	16%	2%

Tabela V - Programa de sinterização do cadinho

Hora	Impulsos	"Tap"	Ciclo de tempo (minutos)
1 ^a	2	1	10
2 ^a	3	1	10
3 ^a	4	1	10
4 ^a	5	1	10
5 ^a	6	1	10
6 ^a	7	1	10
7 ^a	9	1	10
8 ^a	11	1	10
9 ^a	13	2	10
10 ^a	-	2	direto
11 ^a	-	3	direto
12 ^a	-	3	direto
13 ^a	-	3	direto
14 ^a	-	3	direto
15 ^a	-	3	direto
16 ^a	-	4	direto
17 ^a	-	4	direto

**FIGURA 1 - Curva de expansão linear em
em função da temperatura (°C)**

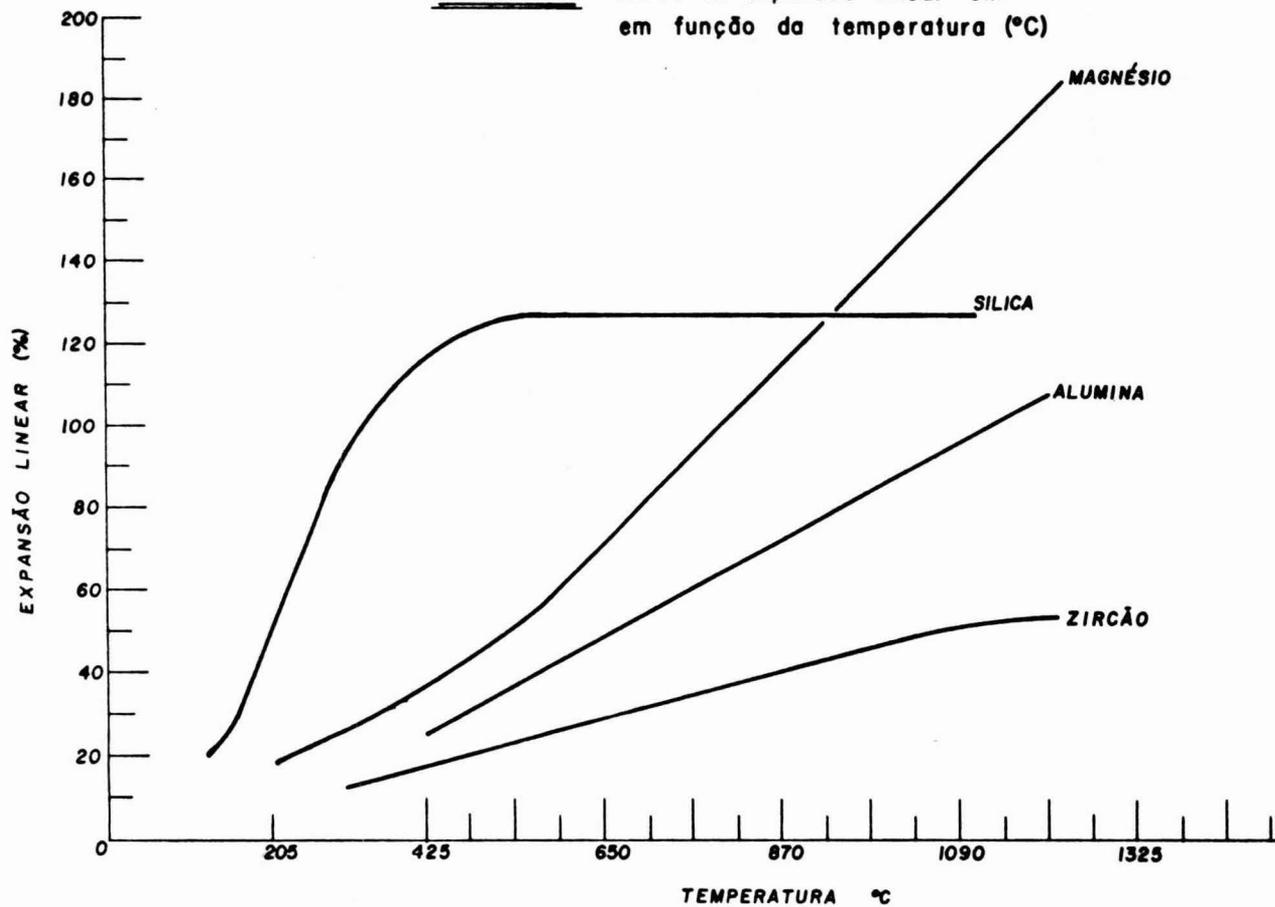


FIGURA 2 - Diagrama de fase do sistema SiO_2 .

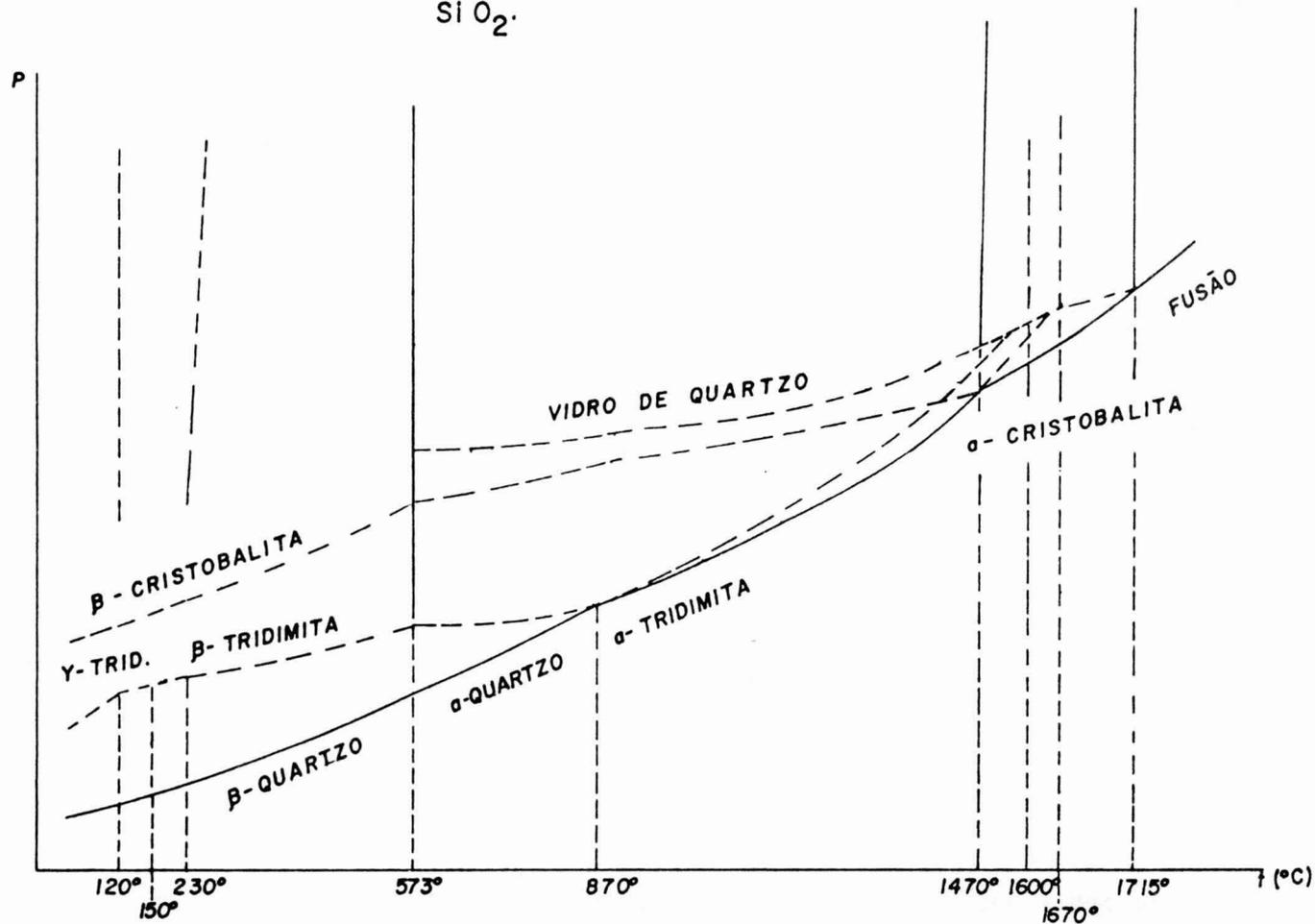
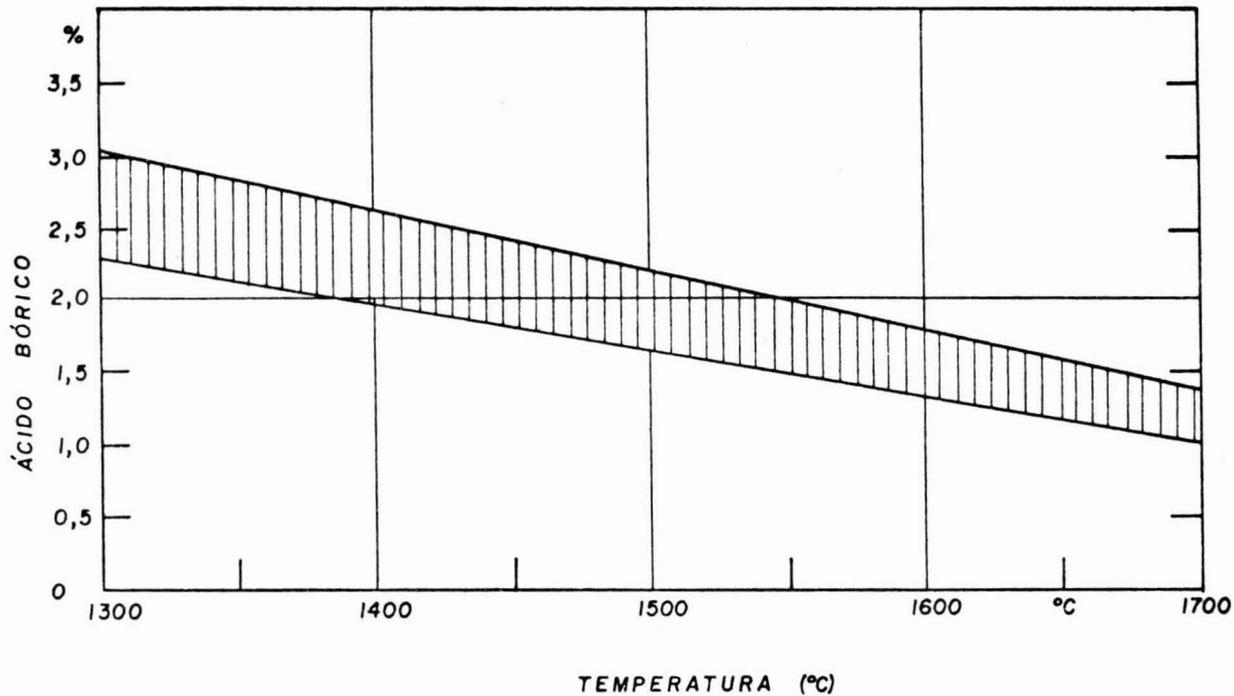


FIGURA 3 - Percentagem de ácido bórico a ser usada no quartzito em função da temperatura.



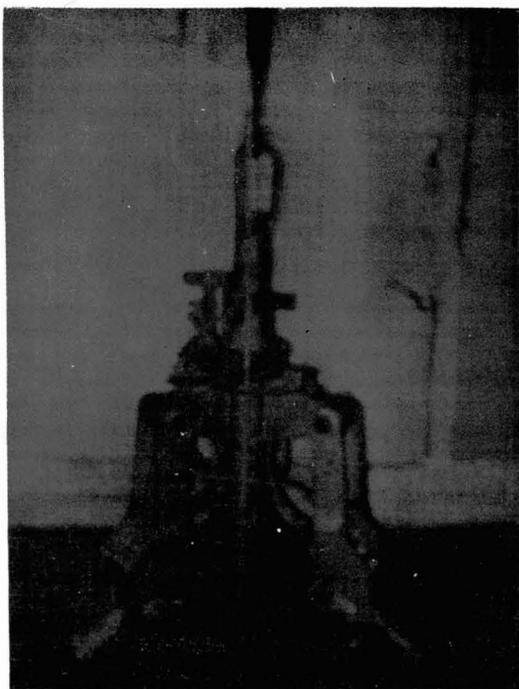


FIGURA Nº 4

Vibrador elétrico
utilizado na pare
de do forno

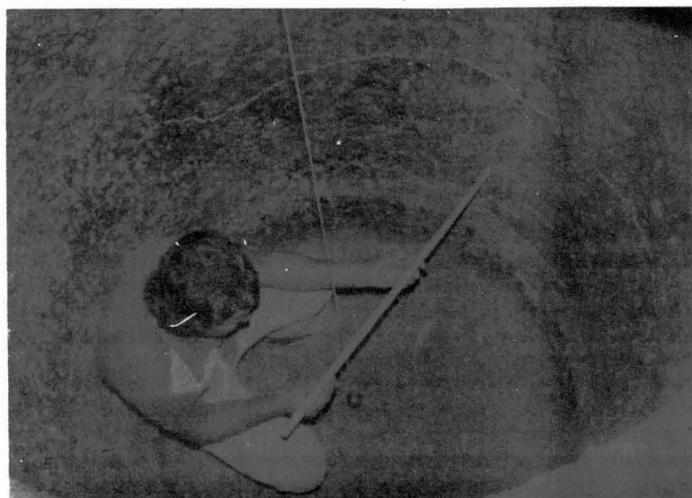


FIGURA Nº 5

Medição do desgas
te ocorrido na pa
rede do cadinho



FIGURA Nº 6

Desgaste na borda
do cadinho

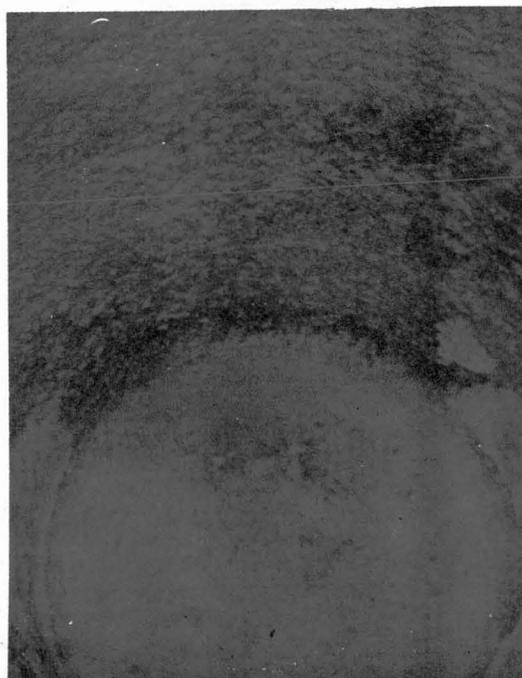


FIGURA Nº 7

Desgaste na regi
ão inferior do
cadinho

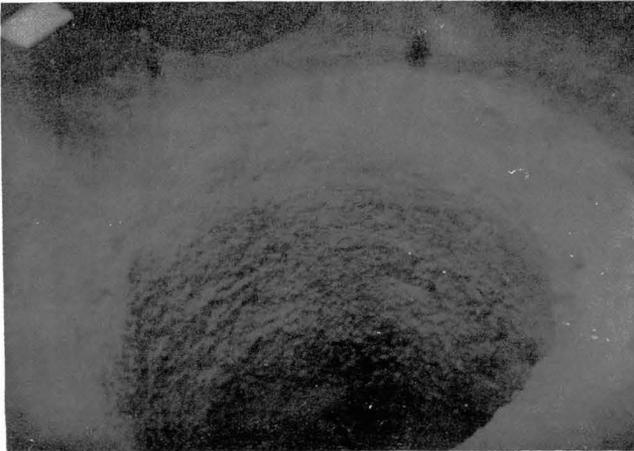


FIGURA Nº 8

Aspecto da borda do cadinho após limpeza para posterior reparo



FIGURA Nº 9

Aspecto de uma região inferior parcialmente limpa para posterior reparo

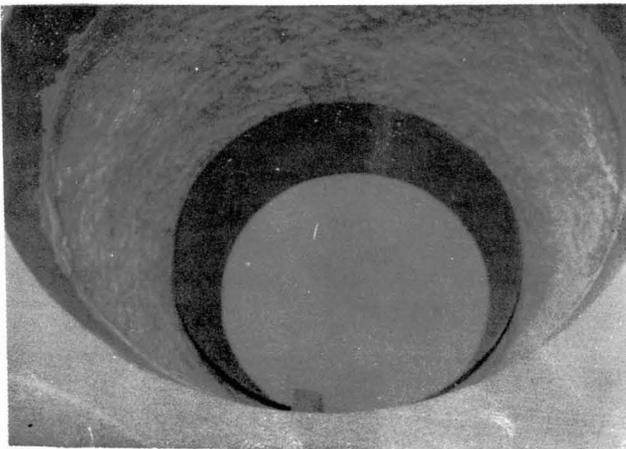


FIGURA Nº 10

O anel para o reparo na parte superior e inferior estão nos seus devidos lugares. A parte superior já sofreu o reparo e na inferior não foi colocado o quartzito. O fundo foi refeito



FIGURA Nº 11

Utilização do vibrador normal para reparo na parte inferior

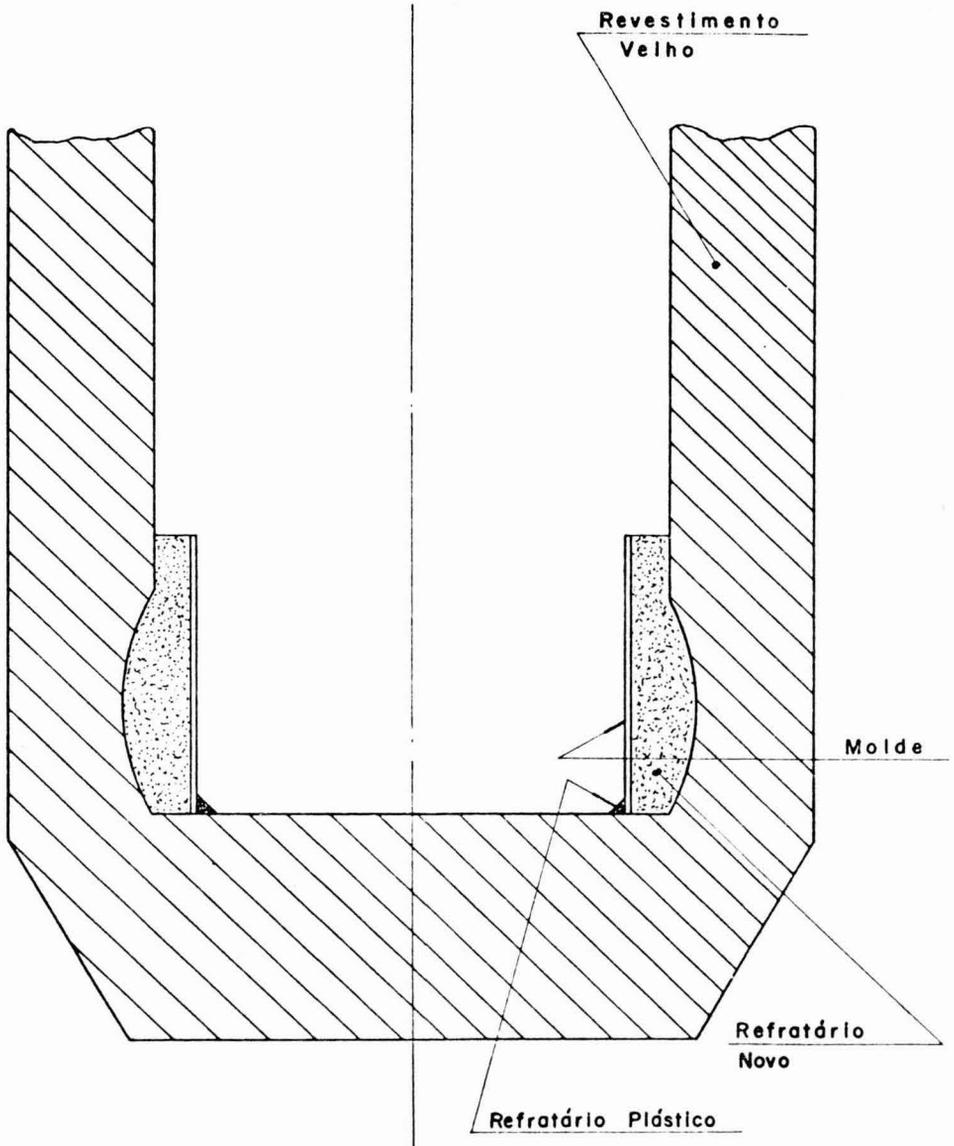


FIGURA 12 - Aspecto do desgaste que normalmente ocorre na região interna e molde para reparo.

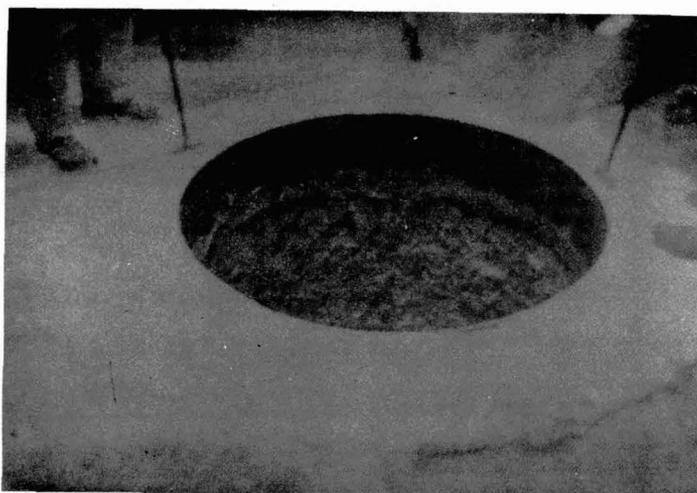


FIGURA Nº 13

Socagem com garfo
durante o reparo
na parte superior

FIGURA 14

POTÊNCIA DO FORNO EM
FUNÇÃO DA ALTURA DO BANHO.

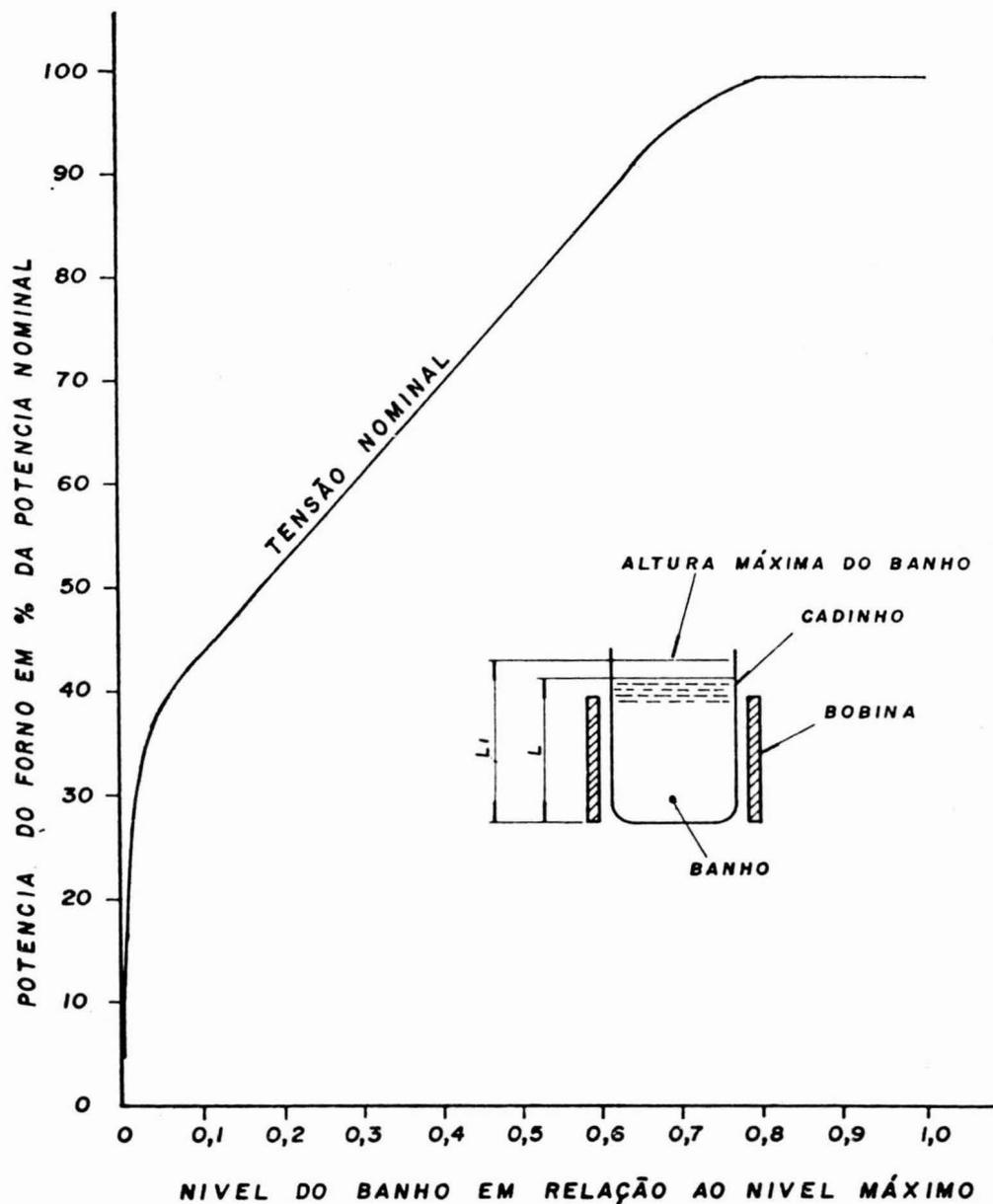
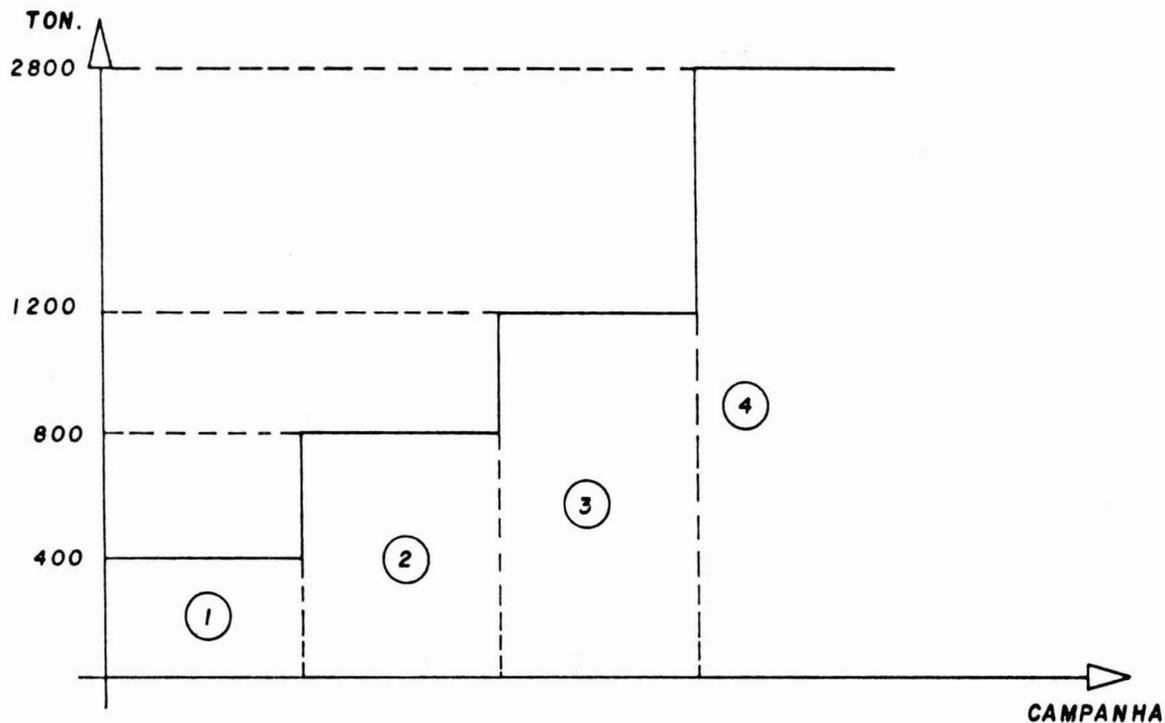


FIGURA 15 - Fases do desenvolvimento.



1- FASE INICIAL

2- ALTERAÇÃO DO QUARTZITO USADO

3- VIBRADOR NA PAREDE DO CADINHO

4- REPARO E VIBRADOR NO FUNDO DO CADINHO