



NOVO FORNO PILOTO PARA SIMULAÇÃO DA QUEIMA DE PELOTAS DE MINÉRIO DE FERRO NOS PROCESSOS GRELHA MÓVEL E GRELHA MÓVEL+FORNO ROTATIVO¹

Floriano Wendling²
Ronaldo Santos Sampaio³
Davi Silva Braga⁴
Sergio Augusto Chagas da Silva⁵

Resumo

O presente trabalho teve como objetivos projetar, construir e colocar em operação um forno piloto formado por um pot grate e um forno rotativo para utilização em experimentos de simulação de queima de pelotas de minérios de ferro hematíticos nos processos Grelha Móvel e Grelha Móvel+Forno Rotativo. Com o forno já pronto foram realizados os testes de avaliação de todos os equipamentos de controle de processo dos fornos ajustando-os e calibrando-os quando necessário. Foram determinadas as condições de queima/perfil térmico de queima para um minério hematítico brasileiro conduzindo os experimentos de queima para um tipo de pelota de alto forno utilizando o processo Grelha Móvel+Forno Rotativo. Nos experimentos de queima realizados ficou demonstrada a viabilidade técnica da produção de pelotas alto forno de hematita com excelente qualidade física quando comparada com a qualidade típica das pelotas produzidas no processo grelha móvel.

Palavras-chave: Minério de ferro; Grelha móvel; Grelha móvel+forno rotativo.

NEW PILOT FURNACE FOR SIMULATION OF THE FIRING OF IRON ORE PELLETS IN THE TRAVELLING GRATE AND GRATE KILN PROCESSES

Abstract

The present work has aimed to design, build and put into operation a pilot furnace comprised by a pot grate and a rotary kiln for utilization in the simulation of firing experiments of hematite iron ore pellets both with the Travelling Grate and the Grate Kiln processes. With the furnace already made evaluation tests were performed with all the process control equipments and trimming and calibrating them when necessary. The firing conditions/thermal profile for a typical brazilian hematite ore were determined conducting the firing experiments for a blast furnace pellet type utilizing the Grate Kiln process. In the firing experiments performed it was demonstrated the technical feasibility of the production of blast furnace pellets made with hematite with excellent physical quality compared to the typical quality of pellets produced in the Travelling Grate process.

Key words: Iron ore; Travelling grate; Grate kiln.

¹ Contribuição técnica ao 40º Seminário de Redução de Minério de Ferro e Matérias-primas e 11º Seminário Brasileiro de Minério de Ferro, 19 a 22 de setembro de 2010, Belo Horizonte, MG.

² Membro da ABM, Eng. Químico MSc., Gerente de Pesquisa e Desenvolvimento da Radieng Consultoria Ltda.

³ Membro da ABM, Eng. Metalurgista MSc., PhD. em Metalurgia., Consultor Técnico da RS Consultants Ltda

⁴ Membro da ABM, Eng. Químico, Engenheiro de Processos da VSB

⁵ Membro da ABM, Eng. Metalúrgico, Engenheiro de Operação da VSB

1 INTRODUÇÃO

Existem dois tipos principais de processos utilizados para a produção de pelotas de minério de ferro. O mais popular deles é o processo de Grelha Móvel e o outro processo é a combinação do processo Grelha Móvel com o Forno Rotativo. Ambos são utilizados mundialmente na produção de pelotas tanto com minérios magnetíticos como hematíticos ou misturas desses minérios.⁽¹⁾

A simplicidade, flexibilidade e lucratividade do processo grelha móvel impulsionou o desenvolvimento da produção de pelotas preferencialmente nessa direção, ainda mais que haviam gargalos importantes a serem resolvidos no processo grelha móvel+ forno rotativo.

Recentemente a LKAB investiu US\$925M na terceira planta de pelotização de Kiruna que atualmente é a maior planta de pelotização do mundo no processo grelha móvel+forno rotativo, que comissionou em jun/2008 com uma produção de 5 Mt/ano e com potencial para chegar até a 6 Mt/ano.

Outra nova planta com dois fornos no processo grelha móvel+forno rotativo com capacidade de produção total de 9 Mt/ano foi construída pela Vale em Oman para operar com minério hematítico e está em fase final de comissionamento. O primeiro forno deve entrar em operação no final de 2010 com 4,5 Mt/ano e o segundo no ano de 2011 com mais 4,5 Mt/ano.

A Tabela 1 mostra as capacidades de produção instaladas avaliadas recentemente para os dois processos operando com diferentes tipos de minérios.

Tabela 1: Capacidades instaladas dos dois processos segundo Outokumpu

	Processo Grelha Móvel	Processo Grelha Móvel+ Forno Rotativo
Magnetita (Mt/a)	107,3	78,2
Magnetita/Hematita(Mt/a)	48	36,6
Hematita(Mt/a)	69,4	9,6
Limonita/Minérios Intemperizados	34,4	5,6

A Figura 1 e a Figura 2 ilustram os fluxos de massa e de gases nos dois processos; grelha móvel e grelha móvel+ forno rotativo respectivamente.

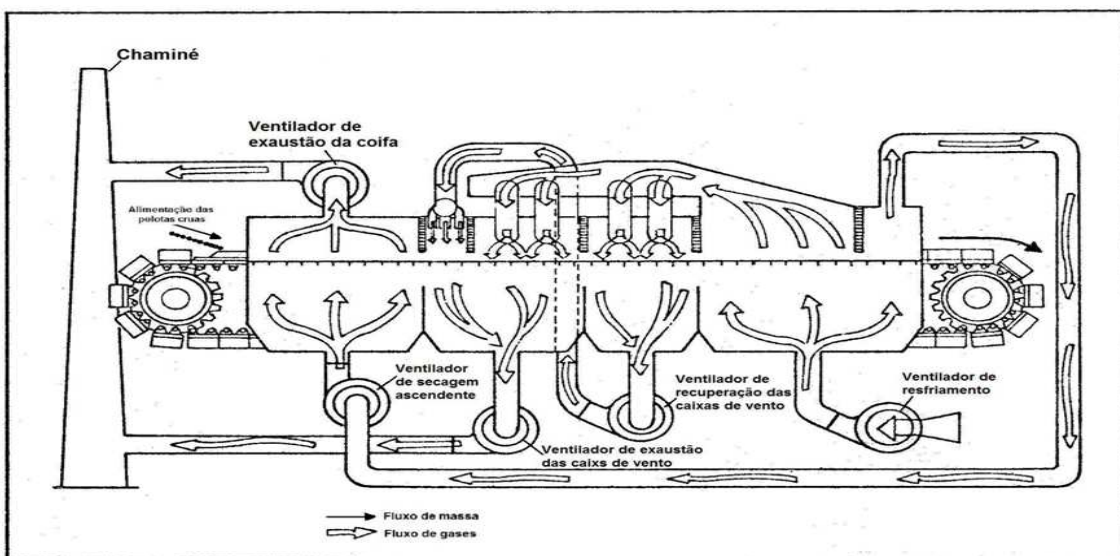


Figura 1: Fluxo de massa e de gases no processo grelha móvel.

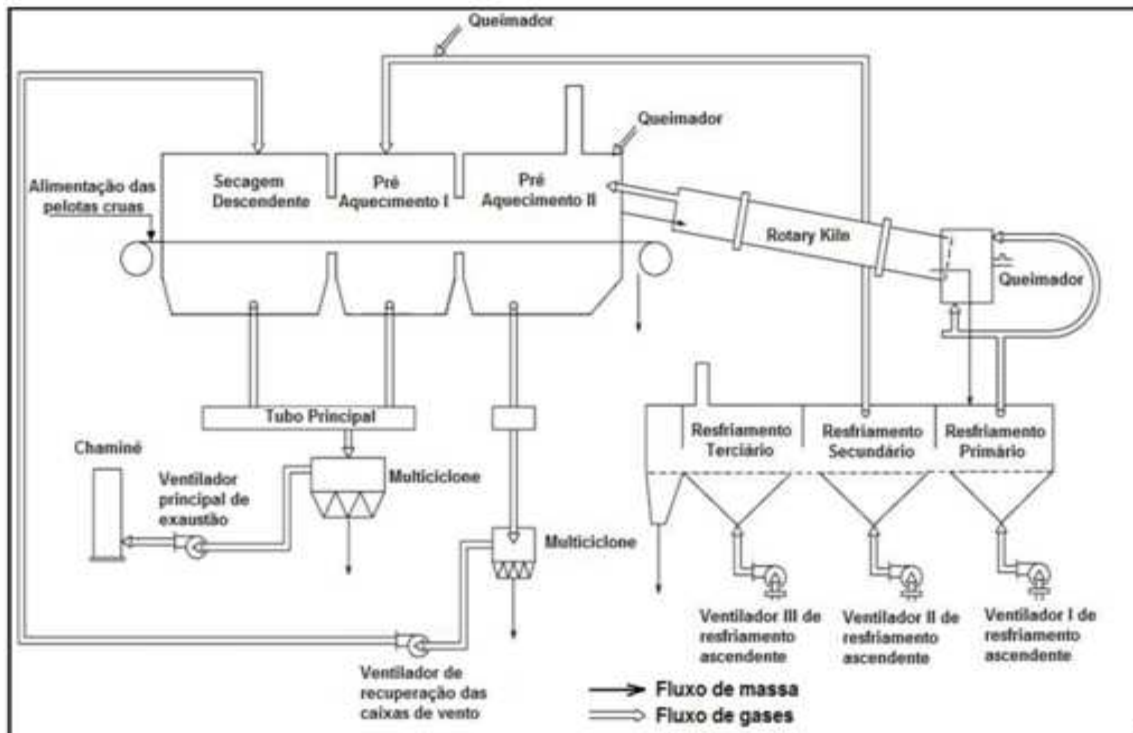


Figura 2: Fluxo de massa e gases no processo grelha móvel + forno rotativo.

2 DESCRIÇÃO DO FORNO DE SIMULAÇÃO

O forno para simulação do processo de pelletização foi concebido combinando-se um forno *pot grate convencional* utilizado pelas pelletizadoras brasileiras com um *forno rotativo*.⁽²⁾ O forno *pot grate* tem seu próprio queimador e nele é feita a simulação da fase de grelha móvel do processo. Para suprir a energia necessária à fase de queima no forno rotativo um queimador extra foi instalado para este fim.⁽³⁾ O sistema de distribuição de gases foi mantido centralizado para os dois fornos.^(4,5)

Como a panela do *pot grate* tem 50 cm de altura ela se presta para realização de experimentos de simulação nos dois tipos de processo e.g. grelha móvel que utiliza leitos de pelotas com altura de 40 e um pouco acima e o processo grelha móvel+forno rotativo que utiliza de leitos de pelota com 18 cm a 20 cm de altura.

Uma diferença importante entre os dois processos nessa fase é que o processo grelha móvel utiliza uma camada de pelotas queimadas posicionada sobre a grelha e que se chama camada de fundo ou camada de forramento. Sobre essa camada de fundo é que são colocadas as pelotas cruas. Normalmente a camada de fundo é $\frac{1}{4}$ da altura da camada total e se destina a proteção das grelhas contra aquecimento excessivo.⁽⁶⁾

No processo grelha móvel+forno rotativo não é utilizada camada de fundo ou forramento e todas as pelotas são aproveitadas para produção.

Na Figura 3 é apresentado um desenho esquemático do equipamento simulador.

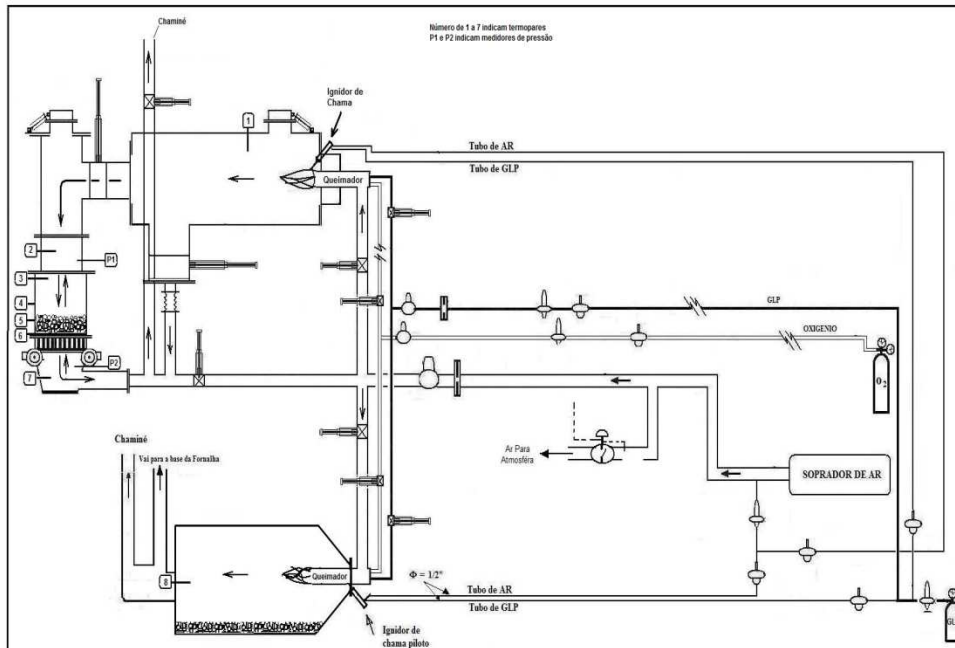


Figura 3: Desenho esquemático do forno piloto.

3 TÉCNICA EXPERIMENTAL

Uma única amostra composta por um lote de minério de ferro da mina de Pau Branco foi selecionada para os experimentos. O lote foi dividido em duas partes que foram moídas a níveis diferenciados pelo índice granulométrico abaixo de 44 microns. A Tabela 2 mostra as características dos dois sub lotes de pellet feed e dos aditivos utilizados na mistura que foi ajustada para um tipo de pelota alto forno com uma basicidade binária de 0,75.

A umidade ótima para pelotamento da mistura foi determinada em testes exploratórios como sendo 9,5% para uma adição de bentonita de 0,6% e tendo como critério a qualidade da pelota crua.

Tabela 2. Materiais utilizados na formulação da pelota

MATERIAIS	% Fe t	% FeO	% SiO ₂	% Al ₂ O ₃	% CaO	% MgO	% Mn	% P	% TiO ₂	% PPC	Blaine cm ² /g	%-0,044mm
Pellet feed (grosso)	65,40	0,66	3,22	0,80	0,00	0,04	0,22	0,033	0,05	1,69	2000	80
Pellet feed (fino)	65,40	0,66	3,22	0,80	0,00	0,04	0,22	0,033	0,05	1,69	2100	90
Bentonita	5,60		57,20	15,50	1,01	2,27				8,71	2050	
Calcario Calcítico			2,64		50,44	3,42				42,52	5500	
Carvão Antracito	5,40		7,40	5,14	0,68	0,23				87,46	5000	
Mistura	60,71	0,61	3,58	0,91	2,66	0,24				5,16		
Pelota	64,01	0,28	3,77	0,96	2,81	0,25		0,035			Bas. 2ª	0,75

As condições de queima utilizadas nos experimentos para foram obtidas dos parâmetros operacionais do forno industrial e de outras informações do fabricante conforme indicados na Tabela 3 onde a velocidade da grelha é de 2,26 m/minuto e corresponde a produção nominal de 1,4 Mt de pelotas por ano.

Tabela 3. Condições de queima utilizadas nos experimentos

	Zona ou fase do processo	Tempo de permanência na fase (min)	Temperatura °C
Grelha Móvel	Secagem Descendente	7,96	320 a 400
	Pré Aquecimento I	5,31	550 a 800
	Pré Aquecimento II	7,96	1100 a 1180
Forno Rotativo	Queima	28	1180 a 1320
Resfriador	Resfriamento	42	100

Durante a queima no forno rotativo a pelota passa primeiramente por uma fase de aquecimento que vai de 1180°C até a temperatura de queima onde as pelotas permanecem por um determinado tempo. O tempo de aquecimento deve ser otimizado para cada tipo de minério e nos experimentos realizados foram utilizados dois tempos de aquecimento que foram de 13 minutos e de 21 minutos. O gráfico da figura IV ilustra um perfil térmico típico do processo.

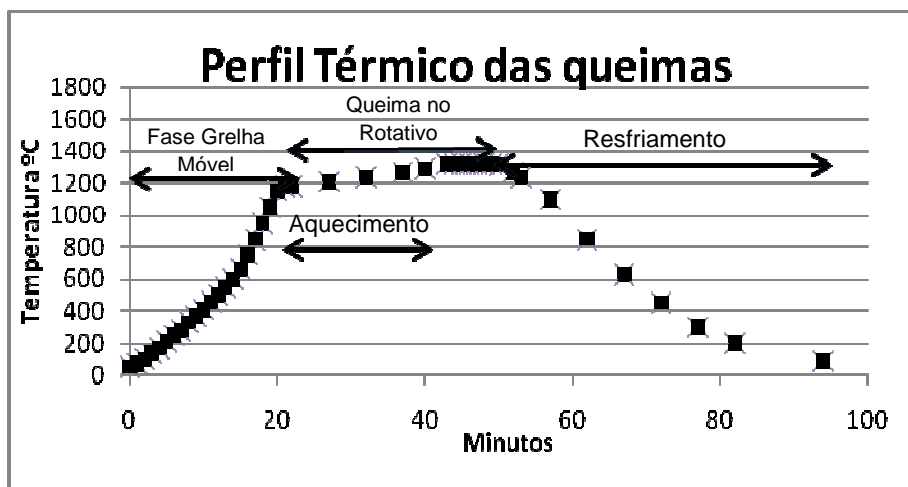


Figura 4: Perfil térmico típico para queima de pelotas no forno rotativo

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados de qualidade física das pelotas queimadas em termos de compressão, tamboramento e abrasão são apresentados na tabela IV onde nas primeiras duas linhas estão os resultados para pelotas feitas com um pellet feed mais grosso com granulometria de 80% - 44 microns sendo os demais resultados para um pellet feed fino com 90% - 44microns.

Os mesmos resultados são apresentados também em gráficos nas Figuras 5, 6 e 7 onde se pode ver as tendências dos comportamentos da qualidade.

Os resultados confirmam a teoria e indicam uma melhora dos resultados de qualidade da pelota crua quando se utiliza um pellet feed mais fino na fabricação das pelotas.

Os dados da tabela indicam claramente a tendência de melhora da qualidade da pelota queimada com o aumento da temperatura de queima o que é também confirmado pela linha de tendência dos gráficos tanto para compressão como para o tamboramento e abrasão.

As pelotas dos experimentos 2 e 3 apresentaram uma diferença significativa na compressão determinada pelo test t para $\alpha = 0,05$ sendo que a pelota fabricada com pellet feed fino deu compressão muito acima da pelota que foi fabricada com pellet feed mais grosso.

O acabamento superficial das pelotas queimadas foi excelente confirmando-se este comportamento como uma característica das pelotas do processo grelha móvel+forno rotativo. Este fato implicou em ótimos resultados de tamboramento e abrasão.

5 CONCLUSÃO

Os experimentos de pelotamento e queima de pelotas alto forno utilizando este que é o primeiro forno simulador do processo grelha móvel + forno rotativo na América do Sul demonstraram que é tecnicamente viável a produção dessas pelotas com excelente qualidade física utilizando-se minério de ferro hematítico.

Após finalizar os procedimentos de determinação da repetibilidade o novo forno será útil na avaliação da viabilidade de pellet feed de várias origens na produção de pelotas, bem como na avaliação de novos aditivos a serem incorporados no processo industrial de plantas já em operação. Servirá posteriormente para o dimensionamento de fornos industriais através da correlação de resultados experimentais com dados de produção de usinas em escala industrial (*scale up*).

Tabela 4: Resumo dos resultados de qualidade obtidos

Experimento	P. Feed	Pelota crua						Pré Queima	Pelota queimada						
	% < 44 μ	Compressão Úmida		Compressão Seca		Quedas		Compressão (-12,5+9,5)mm (Kg/p)	Tempo de queima (minutos)	Temp. de queima °C	Compressão (-12,5 +9,5) mm			Tamboramento (% +6,3mm)	Abrasão (% -0,5mm)
		g/pelota	D.P.	g/pelota	D.P.	Nr.	D.P.				Kg/pelota	D.P.	% <100Kg		
1	80%	1960	158	5460	353	3,8	0,8	132	10	1350	297	88	0,0	97,9	1,99
2	80%	1990	145	5340	465	4,1	0,9	141	7	1320	268	68	0,0	98,1	1,83
3	90%	2070	106	5940	683	4,2	0,6	138	7	1320	354	105	0,0	97,6	2,40
4	90%	2280	148	5220	187	4,1	0,7	86	7	1300	220	67	1,7	95,9	3,87
5	90%	2220	140	5850	357	4,4	0,5	108	6	1300	173	82	16,7	94,5	4,3
6	90%	2070	106	5260	250	4,2	0,4	79	10	1300	171	95	28,0	94,2	4,5

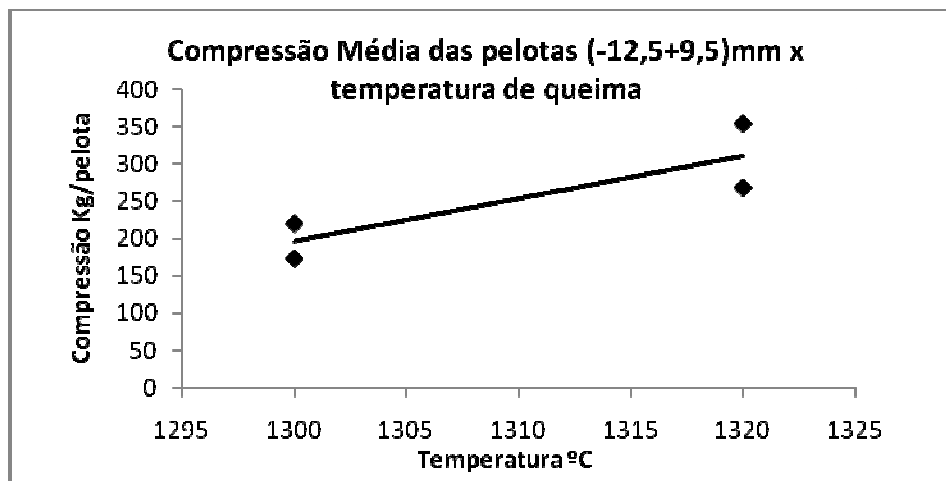


Figura 5: Comportamento da compressão com a temperatura na faixa 12,5 mm a 9,5 mm.

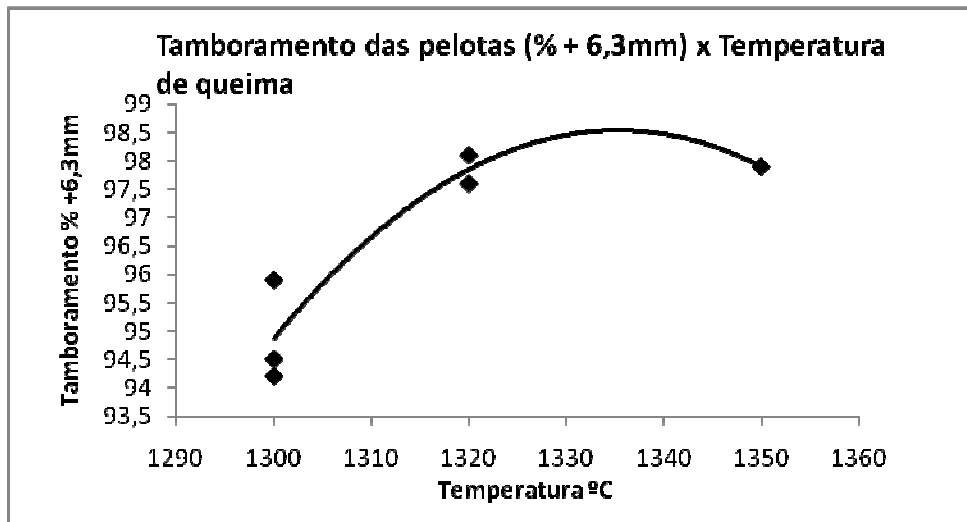


Figura 6: Comportamento do tamboramento com a temperatura.

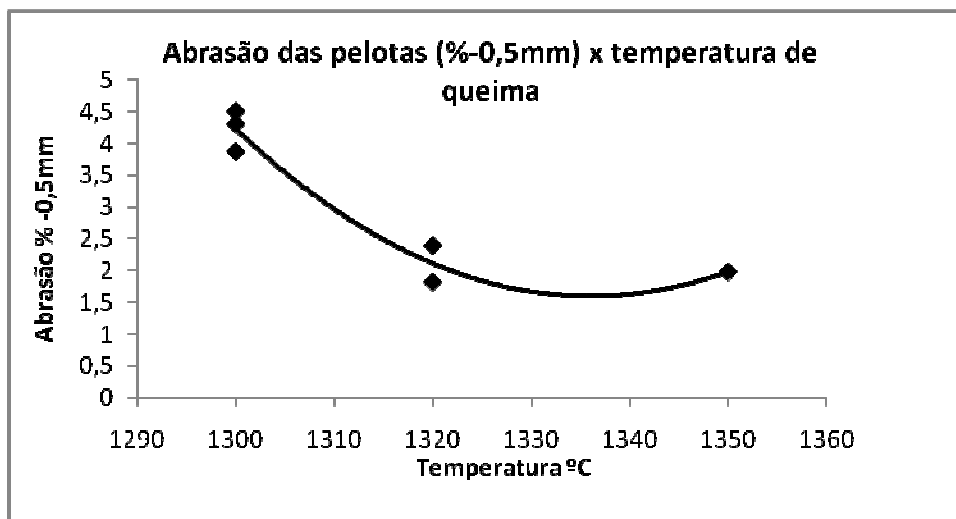


Figura 7: Comportamento do abrasão com a temperatura.

REFERÊNCIAS

- 1 MEYER, K., **Pelletizing of Iron Ores**, Springer Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, 1980.
- 2 DAVIES, C., **Calculations in Furnace Technology**, Pergamon Press, First edition 1970.
- 3 BIZZO, A, WALDIR., **Combustão, Geração e Distribuição de Vapor**, UNICAMP, Faculdade de Engenharia Mecânica.
- 4 MILLER, R, W., **Flow Measurement Engineering Handbook, USA** by Richard W.Miller, 1990.
- 5 WEAST, C, ROBERT., **Handbook of Chemistry and Physics.**, CRC PRESS INC.
- 6 GARANT, MICHEL., GENDREAU, LOUIS., GOURDE, STÉHANIE., MURR, L. DENNIS., PAQUET, GUY., **New Test Facilities for Simulation of a Grate Kiln Process**, COREM, Quebec city, Canada.