

1. INTRODUÇÃO

A maior reserva brasileira de fosfato encontra-se em Patos de Minas e atualmente faz parte dos planos especiais do Governo Federal para a área dos insumos básicos, dentro do Programa Nacional de Fertilizantes.

Esforços têm sido feitos para se estabelecer o melhor processo para o aproveitamento desta reserva. A partir das características inerentes ao minério, pesquisas estão sendo realizadas objetivando a obtenção de produtos fertilizantes de maior eficiência e menor custo. No Brasil, estes fertilizantes têm sido importados em grandes quantidades para adição nas terras não agricultáveis naturalmente.

Esta escassez de produtos fertilizantes, aliada à demanda crescente de alimentos, torna cada vez mais imperativo o aumento da produtividade agrícola por unidade de área cultivada.

Considera-se ainda, como fato inerente aos países de maior população, a recuperação de solos, "enfraquecidos" após vários anos de aproveitamento ininterrupto. Especialmente o Brasil que, além destas terras "enfraquecidas", conta com vasta quantidade de "cerrados" carentes de nutrientes primários (Nitrogênio, Fósforo e Potássio), necessita de grandes quantidades de fertilizantes fosfatados.

Os fertilizantes fosfatados podem ser classificados em:

A - Fosfatados Naturais

B - Fosfatados Solúveis

A - Fosfatados Naturais

São rochas fosfatadas, que apresentam um ou mais minerais de fósforo e que podem ser aproveitados, quer diretamente como fer

tilizante; quer como insumo básico para industrialização do fósforo.

B - Fosfatados Solúveis

O fosfato tricálcio é responsável pela insolubilidade em água das rochas fosfatadas, sendo, portanto, baixo o seu grau de absorção pelos vegetais. O tratamento adequado para que estas rochas tornem-se solúveis em água, pode ser químico ou térmico. Em ambos os casos o objetivo é aumentar a quantidade de P_2O_5 solúvel.

1.1. Aglomeração do Minério Fosfatado de Patos de Minas

O minério fosfatado de Patos de Minas, durante a lavra, gera substancial quantidade de finos. A semelhança de outros minérios, seu desmonte frequentemente dispensa o uso de explosivos. Por outro lado, a proporção de finos formados durante o transporte e secagem do minério é maior que a quantidade gerada por ocasião da lavra.

Assim, observou-se a necessidade de estudar os processos de aglomeração para o fosfato de Patos de Minas, visando o aproveitamento racional desta jazida.

Sabe-se ainda que os aglomerados geralmente apresentam bom comportamento físico e metalúrgico, quando utilizados para alimentação de fornos de redução.

1.2. Objetivos do Presente Trabalho

Os objetivos são produzir e estudar as características físicas e metalúrgicas de aglomerados fosfatados.

Estes serão posteriormente usados para alimentação de forno elétrico, juntamente com carvão, para produção de fósforo elementar.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1. Materiais

O fosfato de Patos de Minas apresenta granulometria abaixo da ideal para pelotização, com superfície específica igual a 10.416 cm²/g para o minério natural e 7.037 cm²/g para o concentrado. Por outro lado, este material possui uma fração granulometricamente grossa, que poderá intervir negativamente no processo de extrusão.

Estudos recentes mostram que o fosfato contém 54% de apatita (22,7% de P₂O₅) no concentrado e 40% de apatita (17,0% de P₂O₅) no material "Run of Mine". Adicionado a este material, encontra-se a muscovita e sílica, e ainda em menor quantidade a wavellita e goethita. Sua composição química é:

	<u>Concentrado</u>	<u>Natural</u>
P ₂ O ₅	22,7	17,0
CaO	29,6	21,8
F	1,8	1,3
CO ₂	0,67	0,50
Na ₂ O	0,12	0,09
MgO	0,49	0,80
SiO ₂	30,8	37,8
Al ₂ O ₃	5,6	9,1
Fe ₂ O ₃	2,9	3,8
K ₂ O	1,3	2,1
S total	0,02	0,03
C total	0,24	0,18
Cl ⁻	0,009	0,009
P ₂ O ₅ ^a	1,8	1,4
P ₂ O ₅ ^b	5,3	4,7
P ₂ O ₅ ^a	Solúvel em citrato de amônio natural	
P ₂ O ₅ ^b	Solúvel em ácido cítrico	

2.2. Métodos

O processo de briquetagem foi escolhido pela facilidade que a apresentam os briquetes, de terem sua resistência à tração determinada pelo ensaio de compressão diametral, bem como por suas características granulométricas.

A briquetagem foi realizada a baixa pressão, evitando-se assim, qualquer influência da compactação do briquete na sua resistência.

2.2.1. Fabricação dos Briquetes

As experiências realizadas aparecem na Tabela I. Para cada com posição, as queimas foram realizadas em diferentes temperaturas, cada uma envolvendo de três a quatro corpos de prova.

i) Pesagem das frações para briquetagem

As pesagens foram feitas em balança analítica Sartorius com pre cisão de 0,1 mg. Cada fração pesou 12,00 g.

ii) Briquetagem

Para a confecção dos briquetes foi utilizada uma matriz cilíndrica com diâmetro de 20 mm, mostrada na Figura 1. A pressão de briquetagem foi de 1000 kg/cm² durante um minuto.

iii) Queima

As queimas dos briquetes, ao ar, foram realizadas em forno mu fla. Cada queima durou 25 minutos. Na maioria das experiências foram usadas temperaturas de 600 até 1200°C, com incrementos de 100°C.

2.2.2. Ensaio de Compressão Diametral

TABELA I - COMPOSIÇÃO DOS BRIQUETES

Expe riência	Temperatura Queima	Basicidade $\frac{\text{CaO} + \text{MgO}}{\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3}$		Volume de escoriáveis (%) $\text{CaO} + \text{MgO} + \text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3$	
		M. Natural	M. Concentrado	M. Natural	M. Concentrado
1	600	0,48	0,82	69,20	66,49
2	700	0,48	0,82	69,20	66,49
3	800	0,48	0,82	69,20	66,49
4	900	0,48	0,82	69,20	66,49
5	1000	0,48	0,82	69,20	66,49
6	1100	0,48	0,82	69,20	66,49
7	1200	0,48	0,82	69,20	66,49

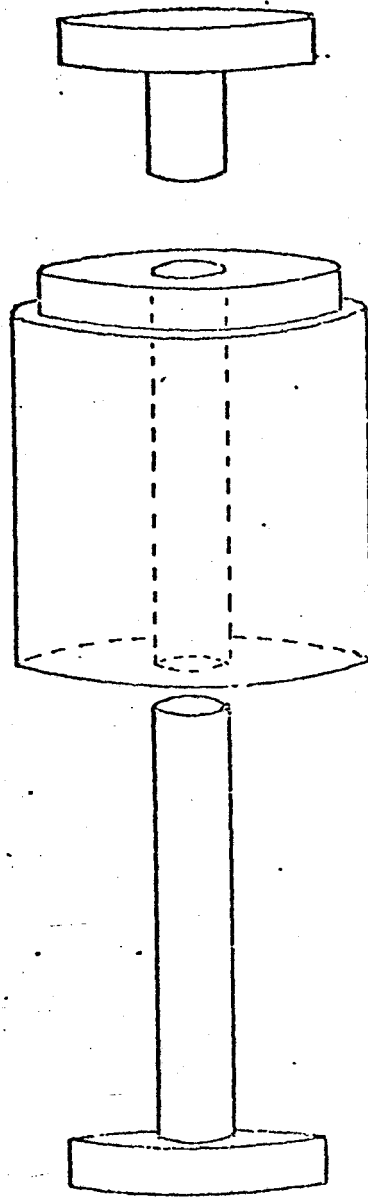


FIGURA 1

MATRIZ USADA PARA CONFECÇÃO DOS BRIQUETES

A resistência à tração, foi determinada pelo ensaio de compressão diametral, que consiste no carregamento compressivo de um corpo de prova cilíndrico, ao longo de dois geradores diametralmente opostos à sua superfície curva. A resistência indireta à tração, é, então, dada pela expressão:

$$R = \frac{2 P}{\pi . D . t} \quad (2.1.)$$

onde:

R é a tensão trativa máxima presente no corpo, no momento da fratura, que por definição é considerada a resistência à tração;

P é a carga de ruptura;

D é o diâmetro do corpo de prova;

t é o comprimento do corpo de prova

Os briquetes foram ensaiados após queima, sem qualquer tratamento superficial, em máquina Mohr-Federhaff Losenhausen. A velocidade do cabeçote móvel foi de 0,09 cm por minuto.

2.2.3. Determinação das Massas Específicas Real e Aparente, e Volume de Vazios

Para determinar a massa específica real dos briquetes, foi usado um picnômetro de 5 ml e a massa específica aparente foi determinada pelos processos convencionais, usando-se uma balança analítica Sartorius para as pesagens.

O volume de vazios foi calculado a partir das massas específicas, com o auxílio da expressão abaixo:

$$v_v^G = \left(1 - \frac{d_a}{d_r} \right) \quad (2.2.)$$

onde:

ρ_a é a massa específica aparente

e

ρ_r é a massa específica real

3. RESULTADOS EXPERIMENTAIS

3.1. Resistência Indireta à Tração

Os resultados experimentais deste trabalho, estão graficados a seguir.

As resistências que aparecem na Tabela II, foram calculadas com o auxílio da expressão 2.1., a partir das medidas de diâmetro, comprimento e carga de ruptura. A Tabela II apresenta também os coeficientes de variação (C.V), calculados para as diferentes séries de cada experiência. O coeficiente de variação permite uma avaliação da consistência das medidas de resistência obtidas. Um valor excessivo deste coeficiente denota grande variabilidade da resistência e, portanto, uma ausência de reprodutividade.

Devido a perda de alguns briquetes, por problemas experimentais, alguns resultados não foram computados. A Figura 2 mostra as curvas resistência/temperatura, para os briquetes de minério natural e concentrado.

3.2. Contração Linear e Volumétrica

3.2.1. Contração Linear

A determinação do diâmetro dos briquetes, com a finalidade de computar a sua geometria, necessária ao cálculo da resistência (ver expressão 2.1), permite ainda o acompanhamento da cinética da densificação, ainda que de uma maneira não muito precisa.

TABELA II - RESISTÊNCIAS INDIRETAS À TRACÃO DOS BRIQUETES COM DIFERENTES BASICIDADES

Expe riência	Temp. °C	0,48		0,82	
		Resistência kg/cm ²	C.V.	Resistência kg/cm ²	C.V.
1	600	0,80 ± 0,01	0,01	0,59 ± 0,17	0,29
2	700	2,80 ± 0,40	0,10	2,02 ± 0,74	0,37
3	800	4,30 ± 0,44	0,14	2,71 ± 0,43	0,16
4	900	20,22 ± 3,38	0,17	29,30 ± 3,79	0,13
5	1000	29,78 ± 5,39	0,18	82,64 ± 15,07	0,18
6	1100	38,21 ± 7,91	0,21	125,32 ± 22,78	0,18
7	1200	-	-	30,62 ± 11,16	0,47



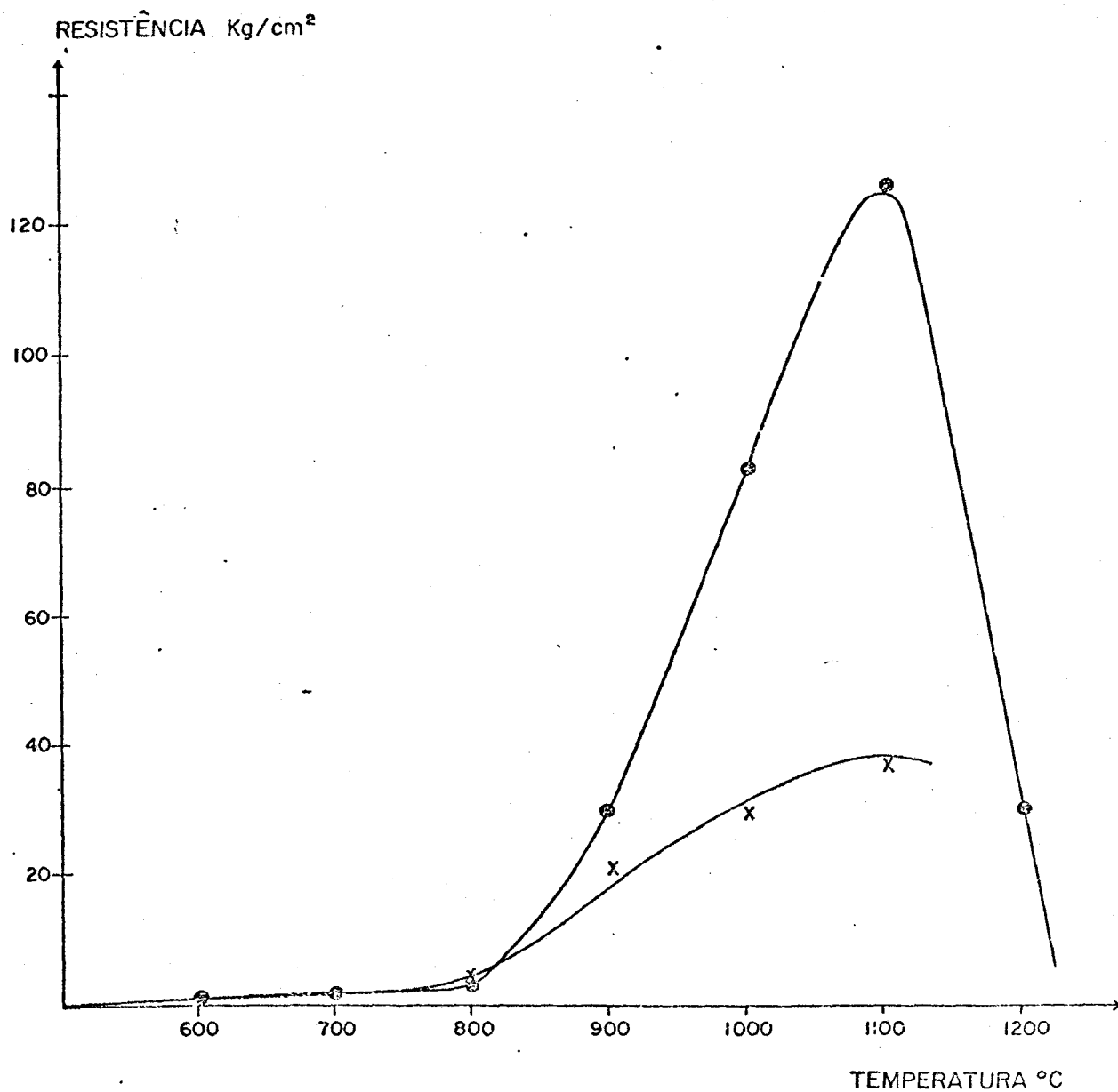


Figura 2

VARIAÇÃO DA RESISTÊNCIA MECÂNICA DOS BRIQUETES EM FUNÇÃO DA TEMPERATURA

- - concentrado
- x - natural

Os diâmetros médios, para as várias experiências, são apresentados na Tabela III, que apresenta ainda os coeficientes de variação, relativos às medidas destes diâmetros. A Figura 3 mostra como a temperatura de queima afeta o diâmetro dos briquetes.

3.2.2. Contração Volumétrica

A Tabela IV apresenta as massas específicas aparente e real, medidas para todos os briquetes. O conhecimento destas massas específicas permitiu o cálculo da fração volumétrica de vazio com o auxílio da expressão 2.2.

Os valores calculados V_V^G também aparecem na Tabela IV.

A Figura 4 mostra o comportamento dos briquetes, no que diz respeito à variação do volume de vazios, em função da temperatura de queima dos briquetes.

4. DISCUSSÃO

O problema central da piroaglomeração de minérios, consiste em determinar como a resistência de um aglomerado, seja ele uma mistura, pelota ou briquete, varia com a temperatura de queima. O tempo desta queima é fixado dentro de limites economicamente toleráveis.

Os resultados relatados se referem ao minério fosfatado natural e concentrado, proveniente de Patos de Minas.

A discussão deste trabalho está voltada unicamente para as variações da resistência mecânica dos aglomerados, em função da temperatura de queima. O estudo da evolução da constituição e microestrutura dos aglomerados, possivelmente será realizado posteriormente.

4.1. Evolução da Resistência Mecânica dos Aglomerados em Função da Temperatura de Sinterização

TABELA III - DIÂMETRO DOS BRIQUETES QUEIMADOS À DIFERENTES TEMPERATURAS

Expe riência	Temp. °C	0,48		0,82	
		Diâmetro (cm)	C.V.	Diâmetro (cm)	C.V.
1	600	2,02 ± 0,00	0,00	2,00 ± 0,00	0,00
2	700	2,02 ± 0,01	0,00	2,00 ± 0,00	0,00
3	800	2,03 ± 0,01	0,00	2,01 ± 0,00	0,00
4	900	2,00 ± 0,01	0,00	2,02 ± 0,01	0,01
5	1000	1,93 ± 0,01	0,01	1,98 ± 0,01	0,00
6	1100	3,01 ± 0,10	0,03	2,34 ± 0,15	0,06
7	1200	3,40 ± 0,14	0,04	2,50 ± 0,12	0,05



TABELA IV - CÁLCULO DO VOLUME DE VAZIOS (V_V^G)

Expe riência	Tempera tura °C	MINÉRIO NATURAL		CONCENTRADO		Fração Vo- lumétrica de Vazios M. Natural	Fração Vo- lumétrica de Vazios M. Concen- trado
		M.E.Aparen te (g/cm^3)	M.E.Real (g/cm^3)	M.E.Aparen te (g/cm^3)	M.E.Real (g/cm^3)		
1	600	-	-	-	-	-	-
2	700	1,804	2,724	1,906	2,823	0,3377	0,3248
3	800	1,797	2,721	1,962	2,817	0,3396	0,3035
4	900	1,929	2,727	1,990	2,636	0,2926	0,2451
5	1000	2,016	2,737	2,000	2,438	0,2634	0,1796
6	1100	1,351	2,688	2,048	2,727	0,4974	0,2490
7	1200	0,911	2,767	1,109	2,772	0,6708	0,5999



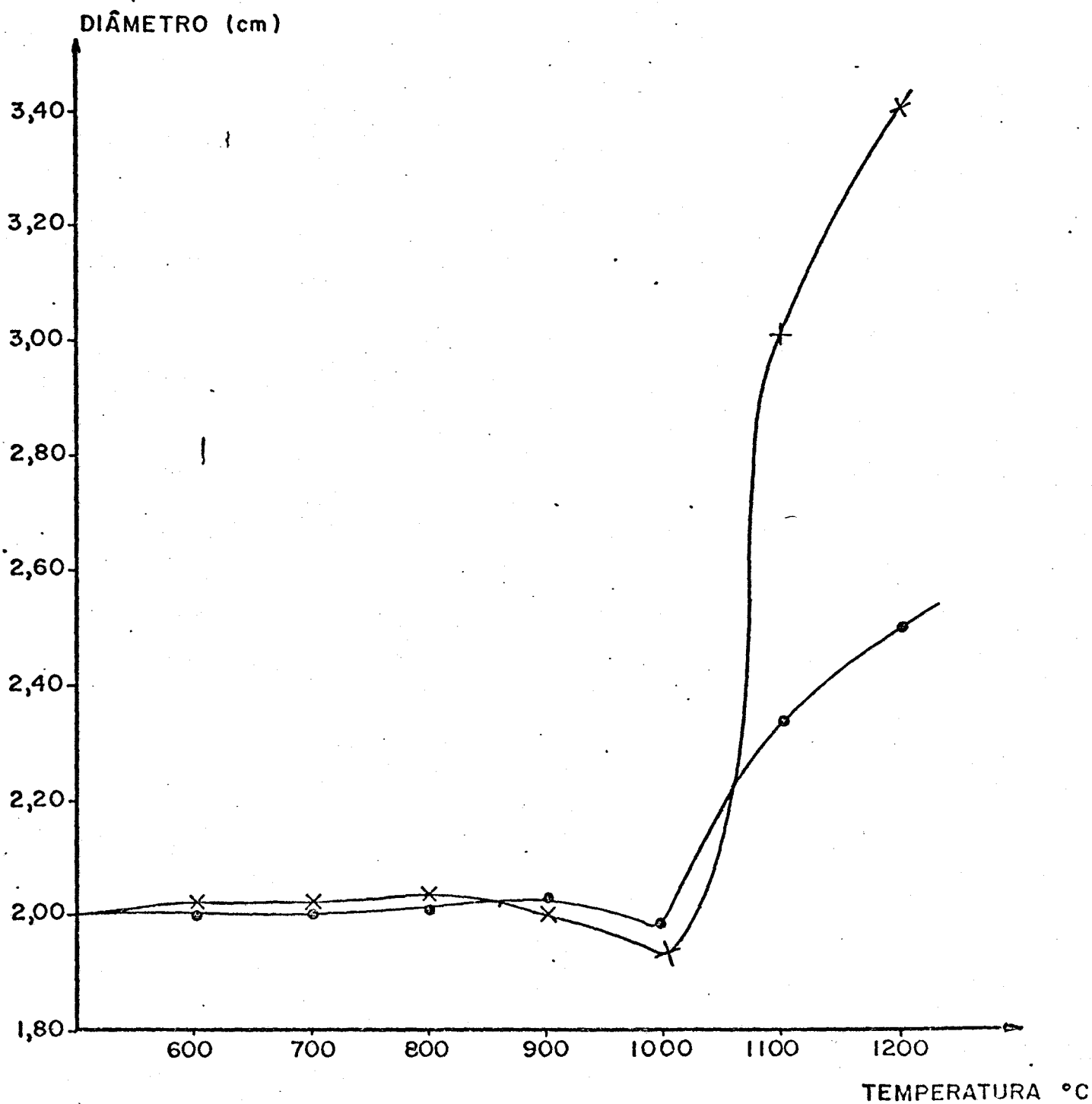


Figura 3

VARIAÇÃO DO DIÂMETRO MÊDIO EM FUNÇÃO DA TEMPERATURA DE QUEIMA PARA OS BRIQUETES DE MINÉRIO NATURAL E CONCENTRADO

- CONCENTRADO
- X NATURAL

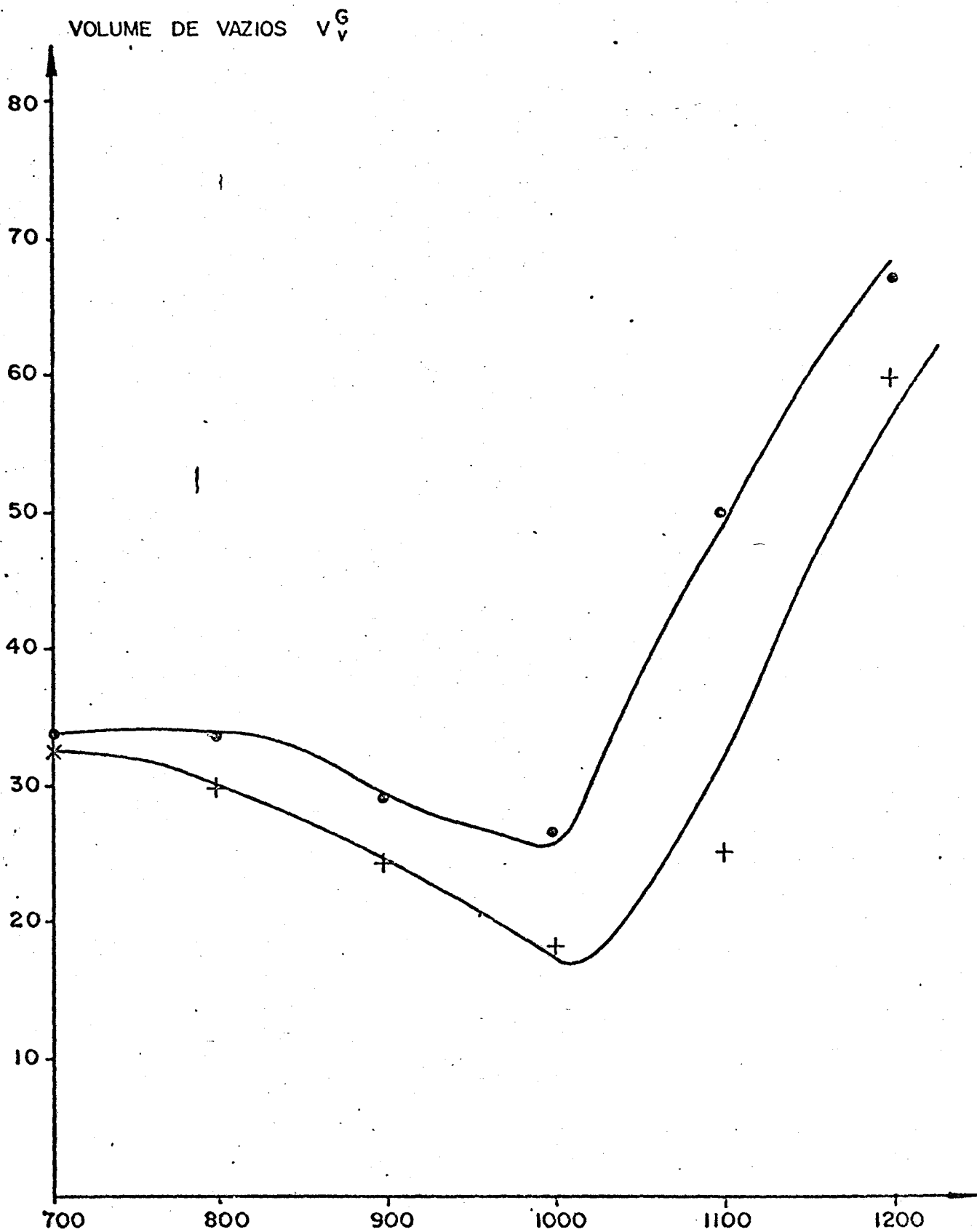


FIGURA 4
 VARIACÃO DO VOLUME DE VAZIOS EM FUNÇÃO DA TEMPERATURA DE QUEIMA
 X CONCENTRADO
 O NATURAL

De acordo com os gráficos da Figura 2, o efeito da temperatura de queima só começa a se manifestar significativamente a partir de 900°C para os briquetes de concentrado e 1000°C para o minério natural.

A resistência dos briquetes de concentrado, cresce acentuadamente a partir de 800°C, atingindo valores bem superiores aos alcançados pelos briquetes de minério natural.

i. Influência da granulometria do pó na resistência dos briquetes

Examinando-se granulometricamente o minério "Run of Mine" de Patos de Minas, pode-se observar que o material se encontra destruído desde 4 mesh até 12 micra. Esta faixa granulométrica é excessivamente ampla, para se obter uma boa homogeneização da massa.

Assim, durante o tratamento térmico desta matéria prima, o fenômeno de sinterização na presença de um líquido, que se traduz por complexas modificações microestruturais da matéria condensada, possivelmente tenha sido modificado, acarretando uma menor resistência em relação ao minério concentrado, já que o fenômeno de sinterização é responsável pela resistência do aglomerado.

ii. Influência do volume de escorificáveis na resistência dos briquetes

A escória líquida, proveniente principalmente da fusão dos óxidos BaO, CaO, Al₂O₃ e SiO₂, aumenta de volume à medida que se eleva a temperatura de queima dos briquetes.

Esta escória líquida, afeta beneficemente a resistência dos briquetes até certo ponto, quando passa a agir negativamente.

A Figura 5 ilustra este comportamento. Às temperaturas mais baixas, até 1000°C, a resistência aumenta com a formação da escória

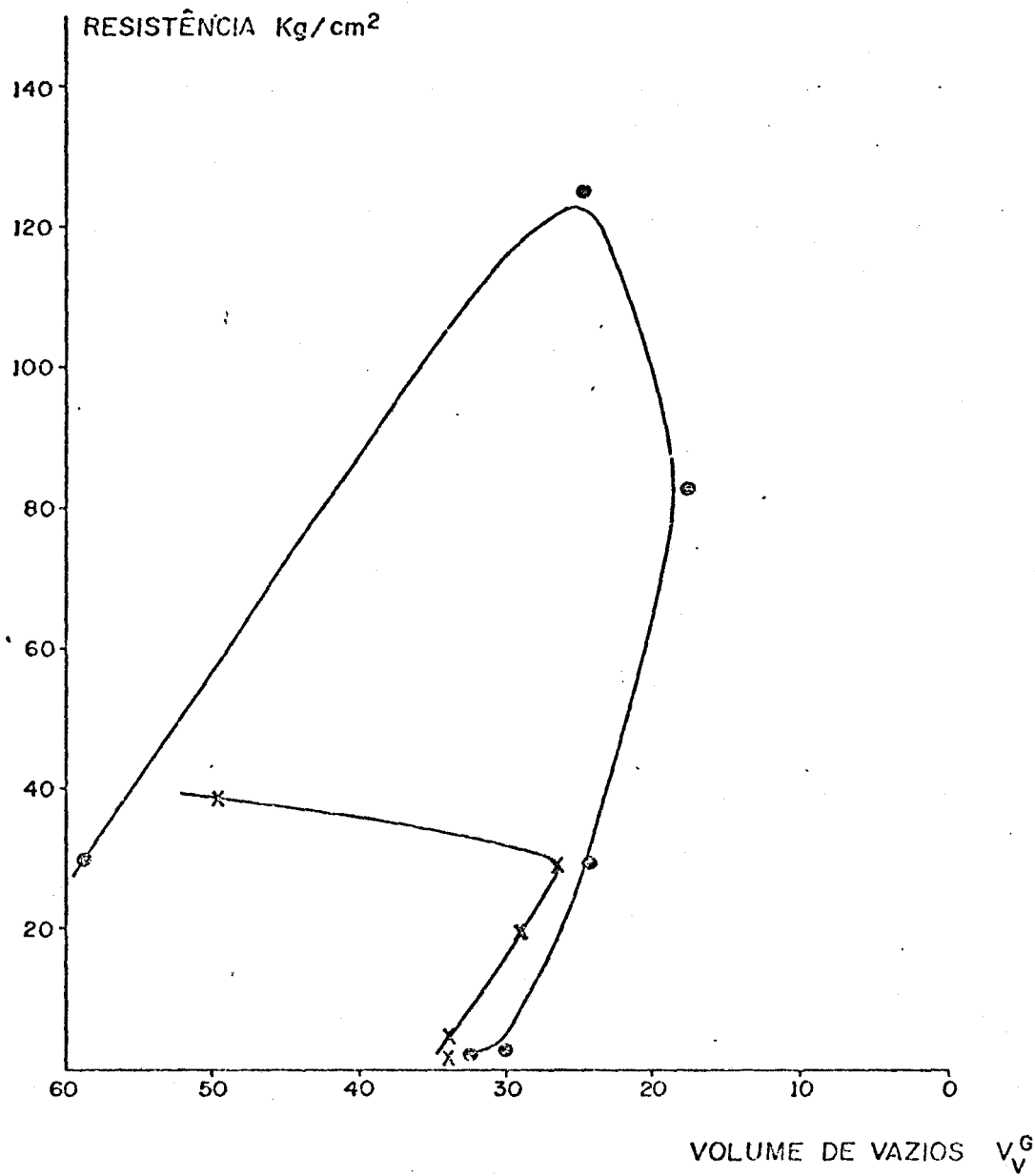


Figura 5

VARIAÇÃO DA RESISTÊNCIA MECÂNICA DOS BRIQUETES EM FUNÇÃO DA VARIAÇÃO DO VOLUME DE VAZIOS

- concentrado
- x natural

líquida. A partir de 1100°C o fenômeno é invertido e passa a prejudicar a resistência dos briquetes. A elevadas temperaturas, a formação de escória líquida é muito grande, 69,20% para o minério natural e 66,49% para o concentrado (Tabela I), interferindo na forma física do aglomerado. Com a alteração da forma física, ou mesmo com a fusão quase total do briquete, a resistência diminui consideravelmente.

iii. Influência do volume de vazios V_V^G na resistência dos briquetes

A resistência mecânica dos briquetes é inversamente proporcional ao volume de vazios V_V^G .

Durante a queima, o fenômeno de sinterização, acarreta a densificação da massa através da eliminação de porosidades, aumentando-se assim a resistência do briquete.

Analogamente ao discutido no item anterior, a inversão do comportamento a partir de 1100°C pode ser explicado pela alteração da forma física do briquete. Alguns corpos de prova chegam a um estágio de fusão tal, que sua forma de cilíndrica passa a esferoidal (Figura 5).

5. CONCLUSÕES

- a) A aglomeração do minério fosfatado de Patos de Minas é possível, desde que os aglomerados sejam submetidos a queima numa temperatura superior a 900°C para o concentrado e 1000°C para o minério natural.
- b) As queimas realizadas de 600 a 1100°C , apresentam um aumento na resistência do aglomerado.
- c) As queimas a altas temperaturas, a partir de 1200°C , são prejudiciais à resistência do aglomerado.

d) O concentrado apresenta resistência maior que o minério natural, a partir de 900°C.

Obs: Experiências estão sendo realizadas, visando elucidar alguns fenômenos anômalos.

À
FERTILIZANTES FOSFATADOS S/A
Praça Mahatma Gandhi, 14 - 9º andar
RIO DE JANEIRO/RJ

ATT.: Dr. GILDO DE A. SÁ CAVALCANTI ALBUQUERQUE

DT-31/79.E

02/fevereiro/1979

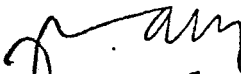
Prezado Senhor,

Para conhecimento de V.Sa., visto tratar-se de assunto relacionado com o desenvolvimento da pesquisa de obtenção de fósforo elementar e ácido fosfórico, via forno elétrico de redução, bem como atendendo sua solicitação verbal, temos o prazer de encaminhar-lhe o relatório parcial de estudos de aglomeração e sinterização do minério fosfatado de Patos de Minas. Tais estudos prosseguirão, objetivando-se viabilizar o método mais econômico de aglomeração.

Aproveitamos a oportunidade para comunicar-lhe que já realizamos três testes operacionais na planta-piloto, com bom desempenho do forno e que, presentemente, estamos executando melhorias no sistema de condensação de gases de fósforo.

Na expectativa de atender à sua solicitação, agradecemos o interesse demonstrado e colocamo-nos à sua disposição para esclarecimentos.

Atenciosamente,



JUAREZ TÁVORA VEADO

Diretor Técnico

Anexo: Relatório de Aglomeração de
Minério Fosfato de Patos de Minas.

RSG/ldg*

c.c.: DT/SP/SD/

SDQ-FEFE/SDI/

Arq.Pres.

BIBLIOGRAFIA

1. COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS - Projeto Patos DE Minas; Relatório Final de Pesquisa. Belo Horizonte , 1976 - v.10.
2. SILVA NETO, P.P. Cold Strength of synthetic ferric oxide - slag briquettes in relation to their microstructural evolution during sintering. In: The microstructure of ore agglomerates and related materials procedes by sintering processes. Florida, University of Florida, 1973, Cap.II.p.102.78.
3. CANÇADO Sobrinho, Geraldo de O. Aglomeración de Minério de Manganês. Belo Horizonte, UFMG/Escola de Engenharia , 1975. 109p. Tese Mestrado.
4. TENESSE VALLEY AUTHORITY. Agglomeration of phosphate fines for furnace use. Wilson Sam, 1950 (Chemical Engineering Reports, 4).
5. LIMA, José Maria Gonçalves de. Perfil Analítico de Fertilizantes Fosfatados. Brasília, DNPM, 1976. 55p.