

**FARRINGTONITA,  $Mg_3(PO_4)_2$ , POSSÍVEL FERTILIZANTE A SER PRODUZIDO NO NE**

Fábio Gomide Rathal  
Doutorando DMP-IG-USP

Efraim Cekinski  
GEER-PT

José Vicente Valarelli  
DMP-IG-USP

*Carlos Eduardo Calmanovici*  
**CEFET-IPT**

## ABSTRACT

Magnesium phosphate,  $Mg_3(PO_4)_2$ , or farringtonite, is a citric acid soluble compound and therefore can be employed like a fertilizer.

Farringtonite was produced through reaction between <sup>Irecê</sup> phosphatic rock (BA) and carnallite from Taquari Vassouras (SE), as raw materials.

Chemical and mineralogical changes were studied as a function of reaction times and temperatures. The best products attained 63% of the total  $P_2O_5$  content soluble in citric acid solution, with reaction time of 25 minutes and temperature about 550~600°C.

## INTRODUÇÃO

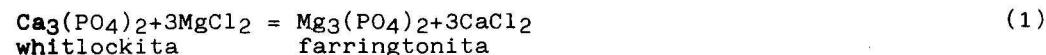
A indústria de fertilizantes fosfatados no Brasil está baseada principalmente na transformação de rochas fosfáticas insolúveis em compostos fosfatados solúveis por meio dos processos de solubilização pela via úmida. As dificuldades inerentes a tais processos faz com que alternativas de transformação do fósforo por meio de processos térmicos possam ser encarados com bastante otimismo. Os fertilizantes fosfatados assim produzidos recebem o nome de termofosfatos. Seja por calcinação ou por fusão, os compostos obtidos pela via térmica apresentam características que os tornam propícios à aplicação em solos brasileiros, geralmente sujeitos a condições de clima tropical úmido (Pereira 1987, Rahal & Valarelli 1990).

Este trabalho teve como objetivo a obtenção de um termofosfato calcinado pela reação entre fluorapatita e carnalita, em temperaturas de 500° a 700°C, com a formação de farringtonita (que é um fertilizante em potencial), utilizando-se como matérias-primas a rocha fosfática de Irecê (BA) e a carnalita dos evaporitos de Taquari-Vassouras (SE).

## REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A produção de fosfato de magnésio através da reação entre fluorapatita e cloreto de metais alcalinos vem sendo estudada já há certo tempo, mas até então os resultados têm sido insatisfatórios.

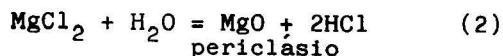
A reação entre fosfato de cálcio e cloreto de magnésio teoricamente possível em condições normais de pressão e temperatura sendo descrita por Baniel et al. (1965) como:



O fosfato de magnésio, ou farringtonita, é um composto solúvel em ácido cítrico e portanto pode ser utilizado como fertilizante.

Segundo esses autores, a extrapolação dessa reação para os minerais fluorapatita (Fap,  $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3\text{F}$ ) e bischofita ( $\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ) pode ser realizada, com a utilização de temperaturas por volta de  $500^\circ$ - $700^\circ\text{C}$ .

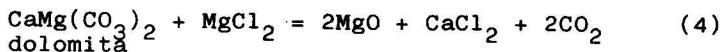
Porém, em tais temperaturas, a utilização de bischofita traz como inconveniente a hidrólise do cloreto de magnésio segundo a reação:



A formação de periclasio impede a reação entre Fap e bischofita e, portanto, é indesejável.

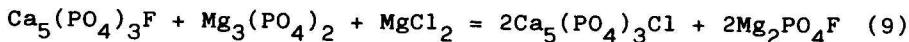
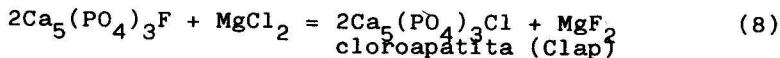
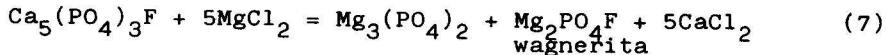
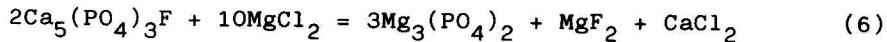
Uma alternativa proposta é a utilização de carnalita (Carn),  $\text{KCl} \cdot \text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ , ao invés de bischofita. Como vantagens: a) a carnalita inibe a reação (2); b) com a utilização de temperaturas entre 500-700°C ocorre a fusão da carnalita, favorecendo a cinética das reações consideradas (o ponto de fusão da bischofita está em 712°C). Apesar de presente o potássio parece não estar envolvido nas reações com as fases fosfatadas, agindo mais como elemento "catalisador" e estando concentrado ao final do processo na forma de cloreto simples ou duplos (com Ca), solúveis em água. Como se sabe, o KCl é um composto importante na indústria de fertilizantes e pode eventualmente ser recuperado.

BANIEL e coautores ainda chamam a atenção para o fato de que a utilização de rocha fosfática ao invés de fonte de fósforo monomínálico traz como inconveniente a presença frequente de calcita, dolomita e fluorita. Essas fases também reagem com cloreto de magnésio:



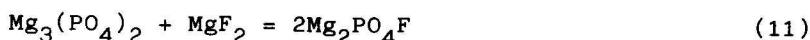
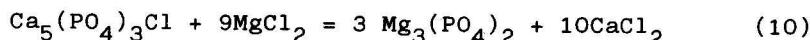
Tais reações diminuem a probabilidade de reação entre Fap e Carn.

ANDO & HONGO (1972) realizaram experimentos em laboratório, com misturas de rocha fosfática e carnalita, em temperatura de 550°C. Através de análise por difratometria de raios-X (DRX) do produto de reação são propostas as seguintes reações:



Das fases fosfatadas envolvidas, além da farringtonita, apenas cloroapatita ( $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3\text{Cl}$ , Clap) é considerada solúvel em ácido cítrico, mas é instável na presença de quantidades consideráveis de cloreto de magnésio. Desse modo, a formação de wagnerita,  $\text{Mg}_2\text{PO}_4\text{F}$ , passa a ser um dos principais obstáculos à obtenção de fosfatos com solubilidade cítrica.

PELLY & BAR-ON (1979) acrescentam ainda mais algumas equações envolvidas na reação entre Fap e Carn:



Esses autores advogam que a reação inicial entre Fap e Carn pode ser representada pela reação (8), com substituição parcial ou total de F por Cl na estrutura da fluorapatita, ou seja, que a formação de Clap precede a formação de todas as outras fases fosfatadas. Isso parece ser verdade, mas apenas em condições de reação bastante especí-

ficas.

Assim, BAR-ON & PELLY (1979) consideram a reação (7) como bastante representativa dos fenômenos envolvidos. Com isso, a porcentagem de fosfato solúvel em cítrico possível de ser obtida chega a 67%, estando os restantes 37% relacionados à wagnerita. Entretanto, esses mesmos autores chegam a resultados máximos de solubilização por volta de 72%, o que contradiz todas as previsões. É possível que fases fosfatadas consideradas insolúveis em cítrico sejam na verdade parcialmente solúveis. Mesmo ANDO (1959) relata que a solubilidade do  $Mg_3(PO_4)_2$  em cítrico chega no máximo a 70% ao invés de 100% proposto pelos autores citados.

#### MATERIAIS E TÉCNICAS EMPREGADAS

Quanto aos materiais aqui empregados, BOMFIM (1986) descreve o fosfato de Irecê (BA) como um exemplo de mineralização associada a estromatólitos algais e facies dolomíticas. Tais rochas carbonatadas pertencem à Formação Salitre (Grupo Una/Bambuí) originadas por um ciclo regressivo (Unidade Nova América/Fácies Lapão) da Bacia de Irecê, no Proterozoico Superior. Teores de até 39% de  $P_2O_5$  são notados. O depósito fosfático de Irecê deve representar uma jazida de pequeno/médio porte quando devidamente quantificado, mas tem sua importância ressaltada pelos altos teores de  $P_2O_5$  e pela localização geográfica, visto que Irecê é um polo agrícola considerado como "o celeiro do Nordeste".

A carnalita empregada é proveniente dos evaporitos da Mina de Taquari-Vassouras, da bacia Sergipe/Alagoas, sub-bacia Taquari-Vassouras, rica em sais de potássio e magnesio. A sequência evaporítica é caracterizada como transgressiva estando alocada temporalmente no Cretáceo Inferior/Aptiano (CERQUEIRA et al. 1986). Segundo OLIVEIRA (1988), a reserva de carnalita compreende grandes dimensões, com 2 bilhões de toneladas, e o seu aproveitamento inicial está previsto para a produção de KCl.

A rocha fosfática de Irecê utilizada apresenta um teor de 26,39% de  $P_2O_5$  e 47,50% de CaO (vide Tabela 1). A DRX para o material moído a 100 mesh indicou a presença predominante de fluorapatita e dolomita, com calcita e quartzo subordinados. Em amostra de mão não é possível distinguir a fase fosfatada. A sua identificação ao microscópio petrográfico é também difícil, mas parece que a sua ocorrência se dá em massas microcristalinas com baixa birrefringência. O fósforo presente nesse material apresenta um grau de solubilização por volta de 9% em solução de ácido cítrico a 2% de concentração.

A carnalita é um material de cor avermelhada, apresentando 34,96% de  $MgCl_2$  (Tabela 1). A DRX indicou a presença predominante de carnalita com silita (KCl) subordinada.

Nos experimentos (em laboratório) até aqui realizados, adotou-se o seguinte procedimento:

a) a rocha fosfática, RF, moída a 100 mesh, foi seca a 110°C;

b) a carnalita, CARN, na forma de testemunho de sondagem, foi inicialmente seca a 70°C, moída grosseiramente (fragmentados de 2 a 20 mm), seca novamente na mesma temperatura, moída de novo (com partículas de 1 mm ou menos); a carnalita é bastante higroscópica e por isso seu manuseio, tanto na moagem como na pesagem, exige certa rapidez;

c) misturas de RF e CARN foram acondicionadas em cadinho de platina e capsula de porcelana;

d) tendo como base dados fornecidos por ATD e ATG, uma nova secagem das misturas foi realizada a 180°C com o intuito de se obter um ótimo de secagem, inibindo ao máximo a decomposição da carnalita e a formação de periclorato.

Numa etapa inicial, foi avaliado o efeito do tempo de reação sobre a solubilidade do produto de reação em cítrico. Fixando-se a relação molar  $Mg/Ca = 1,25$  e a temperatura em 550°C, misturas considerando 5,00 g de RF e 14,83 g de CARN, acondicionadas em cadinho de platina, foram calcinadas em forno elétrico, com variação do tempo de reação entre 10 e 30 minutos, com intervalos de 5 minutos. O resfriamento foi realizado ao ar livre.

Posteriormente, foi avaliado o efeito da temperatura sobre

a solubilidade do produto de reação em solução cítrica. Fixando-se a relação molar  $Mg/Ca = 1,25$  e o tempo de reação em 25 minutos, temperaturas entre  $450^\circ C$  e  $700^\circ C$ , com intervalos de  $50^\circ C$ , foram adotadas. Mis- turas considerando 10,00 g de RF e 29,66 g de CARN, acondicionadas em cápsulas de porcelana, foram calcinadas em forno elétrico. O resfria- mento foi realizado ao ar livre.

Para as 2 etapas, após as reações, o produto foi lavado e filtrado com água destilada ( $60^\circ - 70^\circ C$ ) até que estivesse livre de clo- retos, passo necessário para uma boa identificação das fases por DRX (Pelly & Bar-On 1979). Análise química qualitativa para  $Mg^{2+}$ ,  $Ca^{2+}$ ,  $PO_4^{2-}$  e  $CO_3^{2-}$  foi implementada na solução de lavagem, permitindo assim um maior controle dos prováveis compostos solúveis.

Análises químicas para  $P_2O_5$ ,  $CaO$ ,  $MgO$  e  $K_2O$  totais foram rea- lizadas. A solubilidade cítrica do produto de reação em relação a fósforo e potássio foi avaliada. Quando possível, esta solubilidade também foi avaliada para  $CaO$  e  $MgO$ . O teste de solubilidade compreendeu um ataque com solução de ácido cítrico a 2% de concentração, com 1 g de sólido (produto de reação lavado)/100 ml de solução, durante 30 minu- tos, com agitação, a frio. segundo os procedimentos previstos na legis- lação brasileira (Ministério da Agricultura s.d., Lanarv 1983).

A DRX foi utilizada para a identificação das fases cristalí- nas no produto de reação lavado e, quando possível, o resíduo do ataque cítrico foi também analisado por essa técnica para a identificação das fases mais insolúveis nesse meio.

#### EFEITO DO TEMPO DA REAÇÃO

A tabela 2 apresenta além das condições fixadas, análise to- tal para cálcio, magnésio, potássio e fósforo, e também a solubilidade cítrica para estes dois últimos elementos. Baseados em tais dados, al- guns diagramas foram construídos (figuras 1,2 e 3). Além do mais, atra- vés de DRX, uma análise semi-quantitativa das fases identificadas no produto de reação se encontra na tabela 3.

Ocorre um aumento de solubilização do fósforo com o aumento do tempo de reação pelo menos até 25 minutos (figuras 1 e 2). Para um teor de 32,5% de  $P_2O_5$  total, tem-se 19,5% de  $P_2O_5$  solúvel em ácido cí- trico, o que representa uma solubilidade máxima de 60,0% atingida nes- tes experimentos, com tempo de reação de 25 minutos. A solubilidade pa- rece responder melhor à saída de cálcio do que à entrada de magnésio nas fases formadas. A substituição de cálcio é diretamente proporcio- nal à entrada de magnésio (figura 3), o que significa que com os proce- dimentos aqui adotados a formação de periclásio por decomposição da car- nalita esta sendo minimizada.

#### EFEITO DA TEMPERATURA

A tabela 4 mostra os dados obtidos nos experimentos. Plotagem em diagramas foram realizadas e encontram-se nas figuras 4,5 e 6. Os diagramas que relacionam Ca e Mg à solubilidade do fósforo (figuras 4 e 5) são bastante semelhantes; existe um aumento de solubilidade pelo menos até  $600^\circ C$ , com declínio posterior em temperaturas mais elevadas. Porém tais solubilidades estão relacionadas à resposta de solubili- ção das fases fosfatadas magnesianas visto que os teores de cálcio a partir de  $550^\circ C$  são bastante baixos (figura 6).

O intervalo entre  $500^\circ$  e  $550^\circ C$  parece representar o limite de estabilidade da fluorapatita frente à carnalita; a partir deste inter- valo as reações de substituição de cálcio por magnésio (com  $t = 25$  mi- nutos e  $Mg/Ca = 1,25$ ) tornam-se mais eficientes. Temperaturas mais ele- vadas que  $600^\circ C$  parecem agir de forma negativa sobre a solubilidade das fases em solução de ácido cítrico. Para as relações fixadas a proce- dimentos adotados essa solubilidade alcançou 64%, com 21,3% de  $P_2O_5$  solú- vel para um produto com 33,4% de  $P_2O_5$  total.

Através do estudo dos difratogramas chegou-se a tabela 5, com análise semi-quantitativa das fases identificadas no produto de reação.

Para esses experimentos foi possível também analisar o resí- duo do ataque cítrico por DRX e assim, a tabela 6 é apresentada.

## CONCLUSÕES

Através dos dados até então obtidos pode-se afirmar que:

a) a tendência mostradas pelo diagrama MgO x CaO (Figuras 3 e 6) mostra que a substituição de calcio por magnésio ocorre e que de certa forma a secagem da carnalita foi eficiente o bastante para evitar a decomposição desse material. Por isso, a presença de periclásio (ou brucita,  $Mg(OH)_2$ ) é melhor explicada em termos de consumo de fases como dolomita e calcita;

b) o consumo crescente de fluorapatita, com a substituição Ca x Mg, é notável em todos os difratogramas, com o aumento das proporções de outros minerais fosfatafos tais como farringtonita e wagnerita, e consequentemente aumento de solubilização;

c) wagnerita é a fase fosfatada mais insolúvel em ácido cítrico e melhores resultados só não foram alcançados por não se conseguir ainda evitar a sua formação;

d) os resultados de DRX são contraditórios, pois mesmo quando se tem o aumento de intensidade dos picos de farringtonita, considerada a fase mais solúvel em cítrico, não se tem o melhores resultados de solubilização;

e) a interpretação dos difratogramas é bastante trabalhosa, quer pelo numero considerável de fases envolvidas, quer pela coincidência de picos, dificultando a identificação das fases. Além do mais, os compostos são sintéticos, e com o resfriamento relativamente rápido, a tendência de formação de picos múltiplos e irregulares é bastante forte;

f) os dados obtidos até então não permitem avaliar, certificar ou excluir qualquer das reações propostas. Apesar disso, a solubilidade máxima alcançada de quase 64% está bastante próxima daquela esperada se apenas a reação (3) ocorresse mantidas as expectativas quanto ao grau de solubilização inerente a cada fase;

g) a análise química qualitativa da solução de lavagem não indicou a presença de fosfatos solúveis em água. Testes positivos foram observados para Ca, Mg e carbonato. Deve ser lembrado porém que se trabalhou com excesso de 25% de magnesio;

h) de certa forma, a utilização de fosfato de Irecê e carnalita para a produção de um termofosfato calcinado traz resultados já significativos, visto que chegou-se a um teor de 21% de  $P_2O_5$  solúvel em ácido cítrico, valor bastante interessante se considerarmos o teor de 16-18% de  $P_2O_5$  total de termofosfatos comercialmente produzidos.

## TRABALHOS FUTUROS

Futuramente será avaliada a influência da relação molar Mg/Ca sobre a solubilidade do produto de reação em cítrico. Além disso, procedimentos que visam a impedir ao maximo a formação de wagnerita serão tentados. Acredita-se que isso seja possível pela adição de sílica (areia) ou silicato de sódio à mistura, de modo a mobilizar o fluor na forma de  $SiF_4$  (tetrafluoreto de silício). Sabe-se que isso ocorre com a utilização de temperaturas por volta de  $1000^{\circ}C$  mas que não foi tentado ainda na faixa de  $500^{\circ}-700^{\circ}C$ . Existe também a possibilidade da desfluorização da wagnerita já formada por meio da passagem de um fluxo de ar com vapor d'água pelo composto, em temperatura de  $1000^{\circ}C$ ; este procedimento será avaliado, podendo-se obter um grau de solubilização do fósforo em ácido cítrico em torno de 90%.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANDO, J. (1959) Studies on fused calcium magnesium phosphate fertilizer. Report of the Faculty of Engineering D-2, nº 8, 30 p., Tokyo Chuo University.
- ANDO, J. & HONGO, K. (1972) Reaction of phosphate rock with carnallite. Nippon Kagaku Kaishi 12, 2441-2442.
- BANIEL, A.M., AZEVI, E.L., BLUM BERG, R. & LAVIE, S. (1965) Low cost magnesium phosphate by a novel process. J. Agr. Food Chem. 13(1), 88-91.
- BAR-ON, P. & PELLY, I. (1979) Production of magnesium phosphate from apatite and carnallite. 2. Solubility in citric acid. J.Agr. Food Chem. 27(1), 152-157.
- BOMFIM, L.F.C. (1986) Fosfato de Irecê (BA): um exemplo de mineralização associado a estromatólitos do Precambriano Superior. In: Congr. Bras. Geol., 34, Goiânia, 1986, Anais, Goiânia, SBG , v. 5, p. 2154-2167.
- CERQUEIRA, R.M., PEREIRA, J.C. & PESSOA, A.F.C. (1986) Jazida de Potásio de Santa Rosa de Lima (SE). Geologia e avaliação de reservas. In: Congr. Bras. Geol., 34, Goiânia, 1986, Anais, Goiânia, SBG, v.5, p. 2168-2181.
- LANARV (1983) Analises de corretivos, fertilizantes e inoculantes - métodos oficiais. 104 p. Ministério da Agricultura.
- MINISTÉRIO DA AGRICULTURA (s.d.) Inspeção da produção e do comércio de fertilizantes, corretivos, inoculantes, estimulantes ou bio-fertilizantes, destinados à agricultura. Brasília, Ministério da Agricultura, 88 p. (Legislação).
- OLIVEIRA, M. (1988) Potássio. Petromisa atingira capacidade em 1990 Brasil Mineral, (58), 42-50, setembro.
- PELLY, I. & BAR-ON, P. (1979) Production of magnesium phosphate from apatite and carnallite. 1. Chemistry and mineralogy. J.Agr. Food Chem. 27(1), 147-152.
- PEREIRA, S.C.C. (1987) Caracterização tecnológica do Verdete de Cedro do Abaete (MG) na produção de termofosfato potássico fundido. São Paulo. 183 p. (Dissertação de Mestrado - Escola Politécnica/USP).
- RAHAL, F.G. & VALARELLI, J.V. (1990) Termofosfato potássico fundido obtido com matérias primas do NE. In: Congr. Bras. Geol.,36, Natal , 1990, Anais, Natal, SBG, no prelo.

TABELA 1: Composição química para os materiais utilizados.

Amostra	P205	CaO	MgO	SiO <sub>2</sub>	Al2O <sub>3</sub>	Fe2O <sub>3t</sub>	Na2O	K2O	F	PF	H2O*
Amostra de Irecê(BA)	28,38	47,50	5,77	1,13	0,19	0,19	-	-	2,40	15,81	-
Carnalita (SK)**	-	-	34,96	-	-	-	1,65	27,38	-	-	36,01

\*\* = valores para Mg, Na e K como cloreto

\* = valor calculado como 100 - (MgCl<sub>2</sub> + NaCl + KCl)

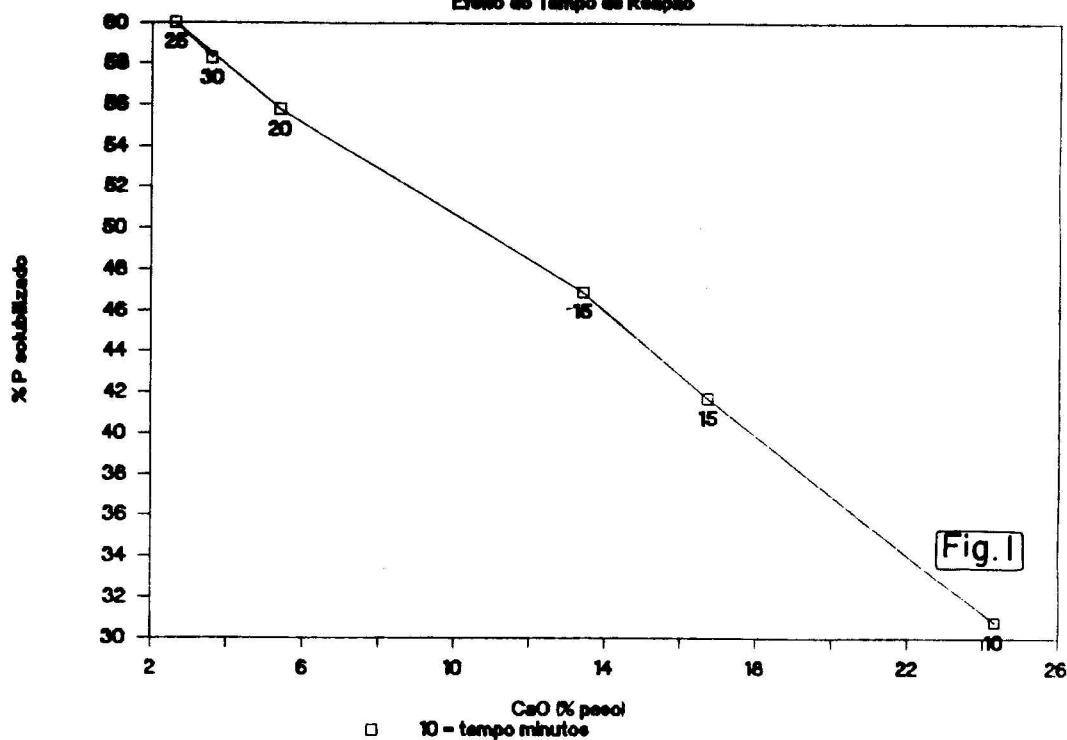
**TABELA 2: Análise química parcial e avaliação de solubilidade em cítrico; todos os experimentos com  $T = 550^{\circ}\text{C}$  e relação molar  $\text{Mg/Ca} = 1,25$ . Variação do tempo de reação.**

t	CaO	MgO	K2O	K2O(s)	P2O5	P2O5(s)	XP(s)
10'	24,3	25,6	0,27	0,05	28,1	8,67	30,8
15'	18,7	35,5	0,32	0,05	30,4	12,7	41,7
15'	13,4	46,1	0,35	0,06	31,1	14,7	46,9
20'	5,38	54,6	0,34	0,06	31,0	17,3	55,8
25'	2,60	61,1	0,35	0,07	32,5	19,5	60,0
30'	3,57	58,7	0,33	0,07	32,1	18,7	58,3

t = tempo de reação em minutos;  
 K2O(s) = potássio solúvel em cítrico;  
 P2O5(s) = fósforo solúvel em cítrico;  
 XP(s) = porcentagem de fósforo solúvel cítrico;

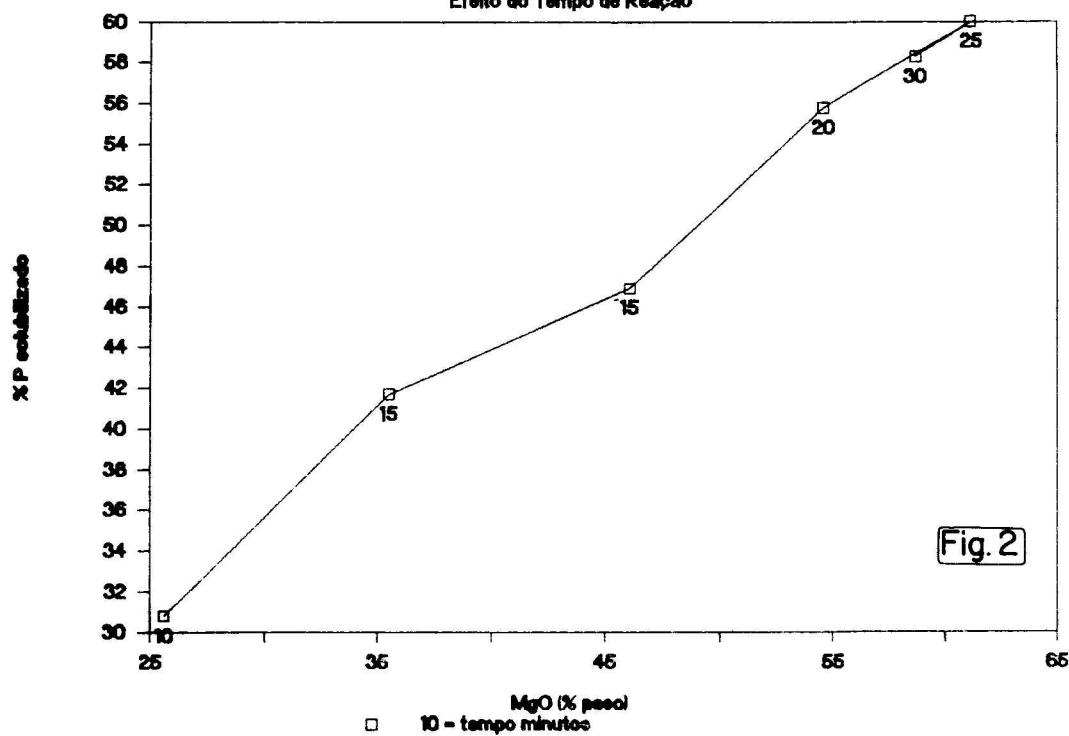
## Ca x Solubilidade Fósforo

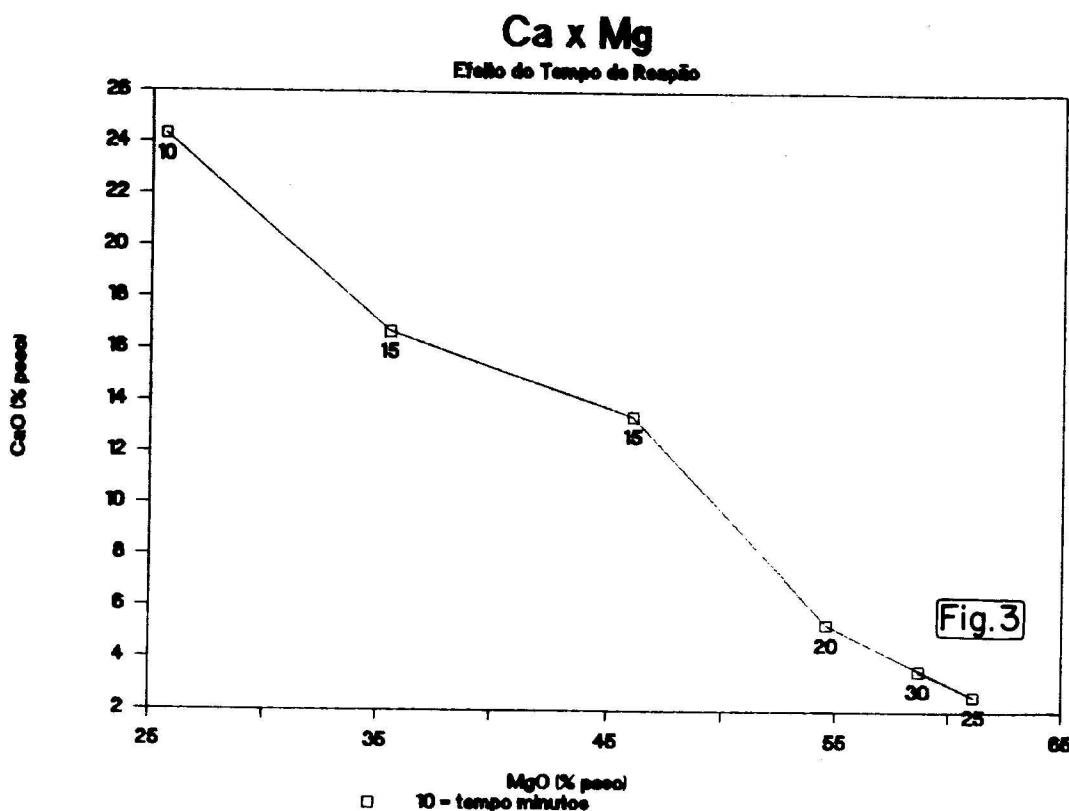
Efeito do Tempo de Reação



## Mg x Solubilidade Fósforo

Efeito do Tempo de Reação





**TABELA 3:** Análise semi-quantitativa baseada em DRX para experimentos com variação do tempo de reação.

	10'	15'	15'	20'	25'	30'
Fluorapatita	xxxxx	xxxx	xxx	xx	x	tr
Farringtonita	xx	xxx	xxxx	xxxxx	xxxxx	xxxxx
Wagnerita	xx	xxx	xxx	xxxx	xxxx	xxxx
Cloroapatita	x	x	tr	tr	tr	-
Dolomita	xxxx	xx	x	tr	-	-
Calcita	tr	-	-	-	-	-
Periclásio	-	tr	tr	x	x	x
Brucita	xx	xx	x	xx	tr	x
Sellaita	tr	-	tr	tr	-	-
Quartzo	xx	xx	xx	xx	xx	xx

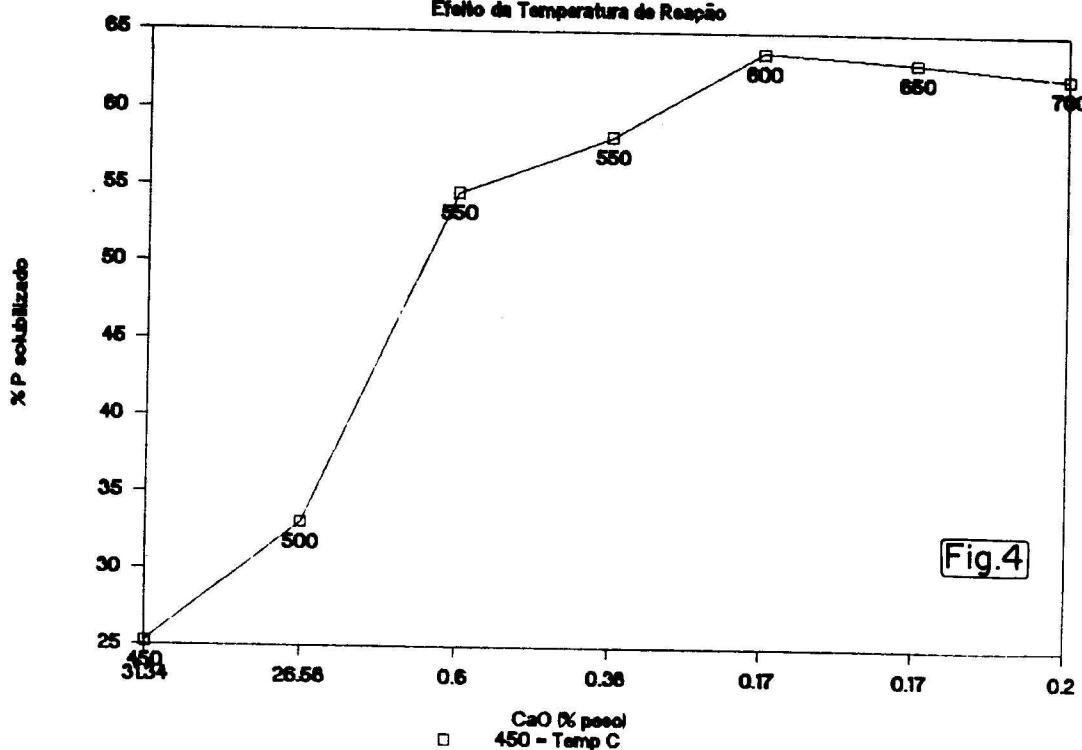
**TABELA 4: Análise química e solubilidade cítrica para avaliação do efeito da temperatura de reação; todos os experimentos com  $Mg/Ca=1,25$  e tempo de reação em 25 minutos.**

T	CaO	CaO(s)	MgO	MgO(s)	K20	K20(s)	P205	P205(s)	zP(s)
450	31,34	0,46	18,24	15,16	0,22	0,09	27,6	7,00	25,2
500	26,58	0,18	21,56	17,75	0,20	0,07	29,1	9,63	33,1
550	0,60	0,06	41,29	24,71	0,22	0,07	31,5	17,2	54,6
550	0,38	0,07	43,77	24,37	0,24	0,10	33,6	19,6	58,3
600	0,17	0,04	48,76	28,70	0,24	0,12	33,4	21,3	63,8
650	0,17	0,04	45,60	26,03	0,27	0,11	33,4	21,1	63,2
700	0,20	0,06	48,08	25,70	0,30	0,14	34,5	21,5	62,3

T = temperatura em graus Celsius.  
 CaO(s), MgO(s), K20(s), P205(s) = óxido solúvel em cítrico.  
 zP(s) = porcentagem de fósforo solúvel em cítrico.

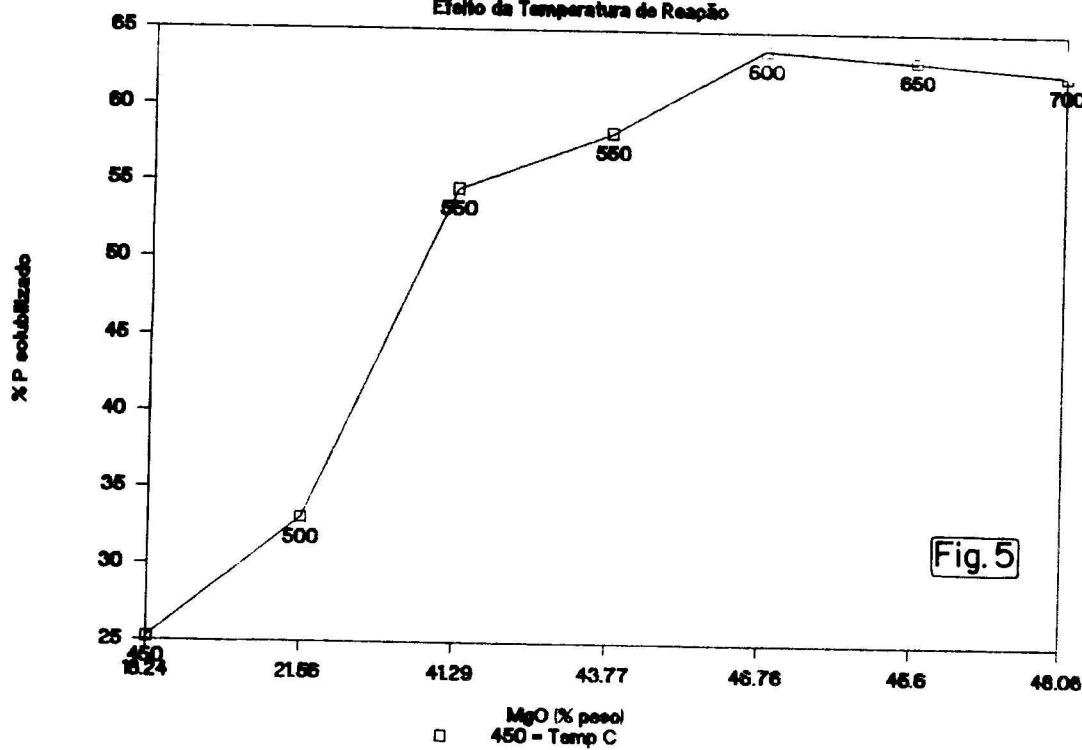
## Ca x Solubilidade do Fósforo

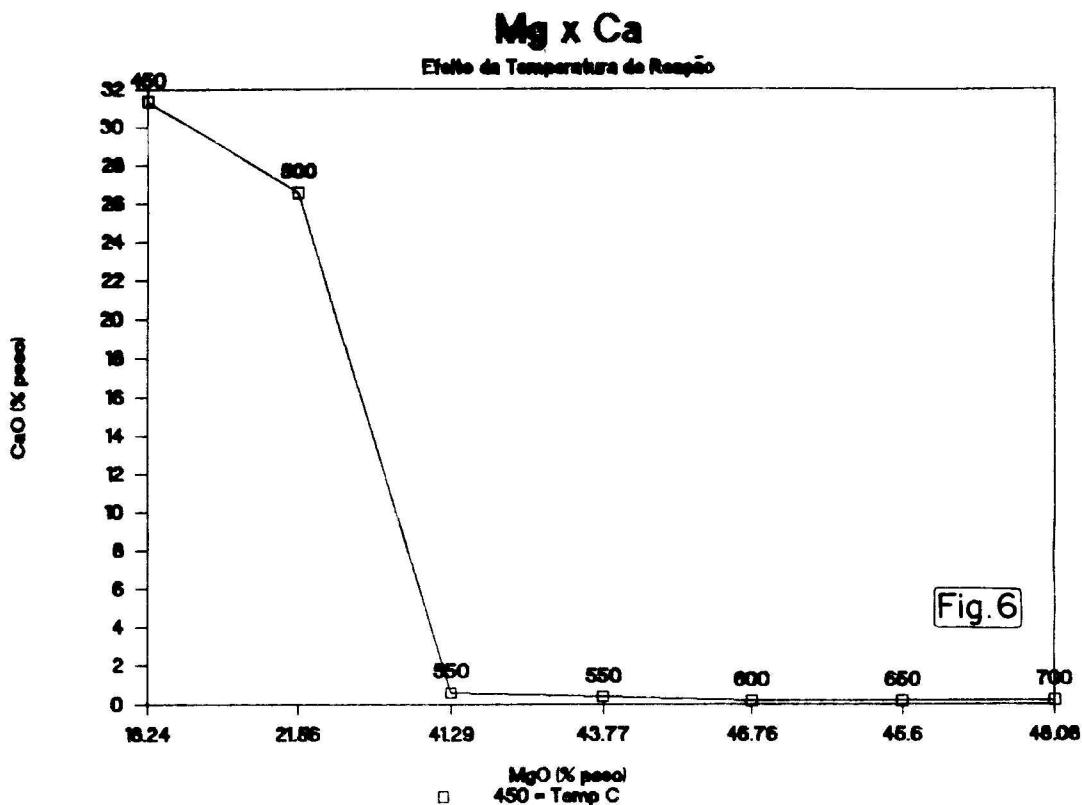
Efeito da Temperatura de Reação



## Mg x Solubilidade do Fósforo

Efeito da Temperatura de Reação





**TABELA 5:** Análise semi-quantitativa através de DRX  
para produto de reação; efeito da temperatura.

mineral \ T°C	450	500	550	550	600	650	700
fluorapatita	xxxxx	xxxx	tr	-	-	-	-
dolomita	xxx	xx	-	-	-	-	-
calcita	x	-	-	-	-	-	-
quartzo	x	x	x	x	x	x	x
farringtonita	-	x	xxx	xxxx	xxxxx	xxxxx	xxxx
wagnerita	-	x	xx	xxx	xxxx	xxxx	xxxx
brucita	x	xx	xx	xx	xx	xx	xx
sellaita	x	x	?	tr	?	?	?

**TABELA 6:** Análise semi-quantitativa através de DRX  
para o resíduo do ataque cítrico; efeito da temperatura.

mineral \ T°C	450	500	550	550	600	650	700
fluorapatita	xxxxx	xxxx	-	-	-	-	-
dolomita	xxx	xx	-	-	-	-	-
calcita	-	-	-	-	-	-	-
quartzo	x	x	xxx	xxx	xxx	xxx	xxx
wagnerita	-	x	xxxx	xxxx	xxxx	xxxx	xxxx
sellaita	tr	x	xx	xx	xx	xx	xx