

CARACTERIZAÇÃO TECNOLÓGICA E MINERALÓGICA DA UNIDADE LITOLÓGICA ZONA DE XENÓLITOS DA MINA DE CAJATI, SP

M. Brumatti¹, L.M. Sant'Agostino², T.B. Bonás³

1 - Universidade de São Paulo - Escola Politécnica - Departamento de Engenharia de Minas e de Petróleo. Av. Prof. Mello Moraes, 2373. CEP 05508-900 - São Paulo-SP
E-mail: mariane.brumatti@poli.usp.br

2 - Universidade de São Paulo - Instituto de Geociências. Rua do Lago, 562. CEP 05508-900 - São Paulo-SP
E-mail: agostino@usp.br

3 - Bunge Fertilizantes S.A. Rodovia Régis Bittencourt, km 488,5. CEP 11950-000 - Cajati-SP
E-mail: thiago.bonasa@bunge.com

RESUMO

No Complexo Ultramáfico-Alcalino de Jacupiranga, localizado na região sudeste do Estado de São Paulo, ocorre um plug carbonatítico mineralizado a apatita encaixado em uma rocha piroxenítica denominada jacupiranguito. Através de lavra a céu aberto e concentração por flotação, a apatita é explorada para a fabricação de ácido fosfórico, que é aplicado a matéria-prima carbonática para obtenção de fosfálcio-bicálcico, suplemento mineral em rações animais.

O corpo de minério é subdividido em unidades geológicas, dentro das quais destaca-se a Zona de Xenólitos, gerada da incorporação de rochas encaixantes na intrusão, e caracterizada pela presença de fragmentos de jacupiranguito distribuídos caoticamente em uma massa carbonatítica, além de zonas de reação, que correspondem a bandamentos de minerais carbonáticos e silicáticos neoformados, geradas da assimilação do jacupiranguito pelo carbonatito. Essa unidade é mineralizada a apatita e representa significativa parcela dos recursos minerais da jazida.

Com o intuito de otimizar seu aproveitamento na usina de concentração mineral foram efetuados ensaios de caracterização tecnológica que revelaram para o material desta unidade teores de P_2O_5 próximos ao teor de corte da mina (3% de P_2O_5), além de comportamento na moagem e granulometria da apatita semelhantes às unidades carbonatíticas. Ensaios realizados separadamente nos três componentes litológicos mostraram que a mineralização da unidade recebe importante contribuição das zonas de reação, e que estas apresentam características físicas semelhantes as dos carbonatitos.

A mineralogia principal compõe-se de calcita e flogopita, similar a dos carbonatitos, além de apatita, diopsídio, richterita, magnetita, serpentinas e sulfetos. As fases minerais silicáticas, provenientes essencialmente dos blocos de jacupiranguito e das zonas de reação, atribuem elevados teores de SiO_2 e MgO ao minério e representam um problema para o beneficiamento.

Os resultados permitiram caracterizar as Zonas de Xenólitos como minério de baixo teor do tipo Magnesiano, segundo classificação da operação de lavra.

PALAVRAS-CHAVE: Mina de Cajati, minério de fosfato, Zona de Xenólitos, carbonatito, apatita.

1. INTRODUÇÃO

O presente trabalho refere-se às rochas carbonatíticas mineralizadas a apatita que ocorrem no Complexo Ultramáfico-Alcalino de Jacupiranga, localizado na cidade de Cajati, sudeste do Estado de São Paulo, a cerca de 240 km da capital. A apatita é extraída para a fabricação de ácido fosfórico, que é aplicado à matéria-prima carbonatítica para obtenção de fosfocálcio-bicálcico, suplemento mineral em rações animais. Atualmente a mina opera com teor médio de 12% de apatita (cerca de 5% de P_2O_5) e produz cerca de 52.000t/mês de concentrado com 36% de P_2O_5 .

O Complexo é composto por dois corpos intrusivos principais: dunito e jacupiranguito, dentro do qual ocorre o corpo carbonatítico. Gaspar (1989) efetuou um mapeamento de detalhe e subdividiu o corpo em cinco intrusões carbonatíticas distintas, uma Zona de Falha e uma Zona de Xenólitos. Saito et al. (2004) refinaram essa divisão utilizando dados de mapeamento em frentes de lavra e identificaram 12 unidades geológicas, compreendendo uma subdivisão das cinco intrusões (Figura 1).

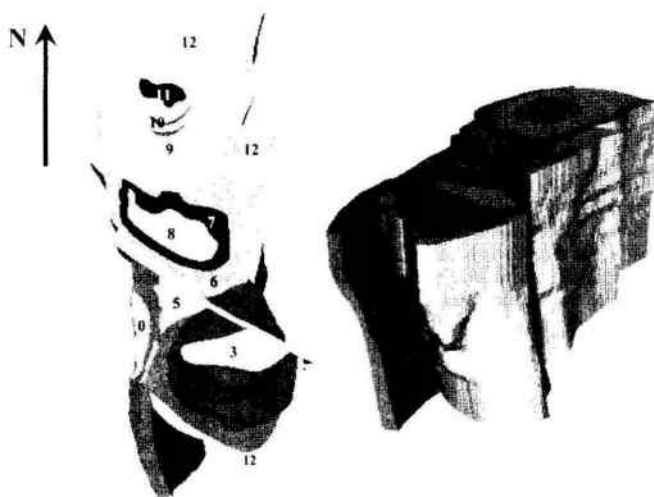


Figura 1. Mapa geológico e modelo tridimensional do corpo carbonatítico (Saito et al., 2004). Unidades geológicas: 1- Carbonatito Periférico Sul (CPS); 2- Carbonatito Calcítico Sul (CCS); 3- Carbonatito Oxidado (COX); 4- Zonas com Foscoritos Sul (FCS); 5- Zona de Falha (ZFA); 6- Carbonatito Intermediário (CBI); 7- Carbonatito Foliado (CBF); 8- Carbonatito Branco (CBR); 9- Carbonatito Norte (CBN); 10- Zonas com Foscoritos Norte (FCN); 11- Carbonatito Dolomítico (DOL); 12- Zonas de Xenólitos (XE:Norte, XE:Leste, XE:Sul); 0- Corpos de Jacupiranguito (JAC).

Dentre essas unidades destaca-se a Zona de Xenólitos, gerada da incorporação de rochas encaixantes na intrusão carbonatítica e caracterizada pela presença de fragmentos de jacupiranguito de tamanhos variados (centímetros a metros) distribuídos de maneira caótica em uma massa carbonatítica. A proporção entre essas duas fases varia amplamente, sendo que em alguns locais pode haver 70% de jacupiranguito em 30% de carbonatito. A região de principal ocorrência dessa zona é na porção Norte da mina.

Uma característica marcante dessa região é a presença de zonas de reação, que correspondem a um bandamento de minerais carbonatíticos e silicáticos neoformados, geradas da interação do carbonatito com o jacupiranguito, cuja espessura varia de milímetros a centímetros, podendo atingir até 30 cm.

Em Morbidelli et al. (1986, apud Ruberti et al., 1992) os autores elaboram pela primeira vez estudo detalhado sobre as zonas de reação. Eles descrevem uma seqüência de bandas silicáticas, a partir do jacupiranguito para o carbonatito, que se inicia com a banda A (anfíbolítica), banda F (flogopítica) e banda O (olivínica). A fase carbonatítica pode ocorrer como bandas, manchas ou veios, e é essencialmente calcítica. Em geral apresentam apatita associada, além de flogopita e anfíbólio.

Bonás & Sant'Agostino (2004), utilizando amostras de testemunhos de sondagens, baseiam-se nas características mineralógicas das litologias presentes nas Zonas de Xenólitos para definir uma relação entre o teor de SiO_2 e a

porcentagem de xenólitos presente (Jacupiranguito + zonas de reação) nos domínios litológicos, a partir de equações que correlacionam essas duas características, com a finalidade de estabelecer parâmetros para a recuperação do minério associado ao domínio.

A unidade é de ampla extensão e representa significativa parcela dos recursos minerais da jazida, e devido aos teores de fosfato a ela associados cresce sua incorporação ao minério carbonatítico rotineiramente lavrado, tornando-se relevante a determinação de suas feições mais importantes. Trata-se de uma unidade litológica bem definida em campo e representada por três porções espacialmente individualizadas na mina que, embora contenham mineralização de apatita, vinham sendo descartadas como estéril por apresentarem características distintas do carbonatito, situação que começou a ser revertida a partir de 1995. Porém, por possuírem composição bastante diferenciada do minério carbonatítico, ao serem agregadas a este promovem interferência no processo de beneficiamento.

O reconhecimento detalhado da Zona de Xenólitos no âmbito da química mineral, através de dados químicos e mineralógicos, assim como o comportamento do material quando submetido à britagem e aos processos de separação física, permitiu qualificar este material como matéria-prima para os produtos e os subprodutos desenvolvidos pela empresa. Desse modo, espera-se futuramente otimizar a utilização da unidade na alimentação da usina de concentração mineral, maximizando o aproveitamento do recurso mineral e reduzindo o volume de estéril gerado na mina.

Trabalhos de caracterização tecnológica realizados em amostras de testemunhos de sondagens da Zona de Xenólitos Norte revelaram que o corpo pode ser em parte aproveitável economicamente. Os teores de P_2O_5 chegam até a ultrapassar o teor de corte da mina (3% de P_2O_5), porém tem um valor médio próximo (2,87% de P_2O_5). Os resultados mostram também que o comportamento do material em relação à moagem é muito similar ao de um carbonatito típico.

Com base nessas informações, realizou-se o estudo detalhado das fases minerais presentes e da química mineral característica das Zonas de Xenólitos, em apoio à caracterização tecnológica. Foram enfocadas a porção Norte e a porção Leste, zona de xenólitos recentemente individualizada no contato com a encaixante. O comportamento deste material quanto à separação física e de composição química foi comparado com o comportamento típico de algumas tipologias da mina que, para fins de planejamento e operação de lavra, são caracterizadas a partir dos teores de P_2O_5 e MgO: Carbonatito Dolomítico, Carbonatito Magnésiano e Carbonatito Calcítico (para foscálcio, e com rejeitos destinados à fabricação de cimento).

2. METODOLOGIA

Os estudos se apoiaram em cinco amostras volumétricas coletadas em frentes de lavra, posicionadas em regiões da mina que abrangessem porções das Zonas de Xenólitos Norte e Leste e distribuídas ao longo das faixas aflorantes. Após o desmonte da frente de lavra foram geradas alíquotas de aproximadamente 135 toneladas, que foram submetidas no circuito industrial a cominuição primária em 8" (203,20 mm) e secundária com diâmetro máximo de 1½" (44,45 mm). O minério britado foi homogeneizado em pilha cônica nos pátios de produção e retomado em parte, gerando as alíquotas de aproximadamente 300 kg utilizadas nos procedimentos seguintes.

Observou-se que, após serem britadas as amostras apresentaram, na fragmentação, uma tendência natural de individualizar as três fases litológicas presentes: carbonatito, zona de reação e jacupiranguito. Procedeu-se, então, a uma separação manual por catação dessas fases em frações granulométricas retidas em 6,35 mm da amostra britada. Como objetivo de conhecer o comportamento individualizado destas litologias, foi realizada caracterização de produtos da catação para duas das amostras volumétricas, tendo-se selecionado a fração granulométrica retida em 12,7 mm devido à sua maior representatividade em massa.

Ao final dessa etapa, foram geradas um total de 11 amostras para a realização de ensaios laboratoriais: 5 amostras denominadas *totais*, provenientes diretamente das frentes de lavra; e 6 amostras denominadas de *catação*, correspondentes aos três produtos de separação manual de duas amostras iniciais e diferenciadas pelas letras C (Carbonatito), ZR (Zona de Reação) e J (Jacupiranguito).

Em escala de bancada, a preparação das amostras compreendeu as atividades:

- *Moagem*: as amostras foram moídas via úmida em um moinho de bolas, sendo reduzidas a diâmetro inferior a 0,833 mm (malha 20# na escala Tyler). No caso de restar material retido, este foi reduzido em moinho de disco até atingir o tamanho necessário;
- *Desmagnetização*: as amostras em pó foram submetidas a um campo magnético de baixa intensidade (2,5A), em um tambor magnético, gerando produtos não-magnéticos e magnéticos;
- *Deslamagem*: este procedimento visou a retirada por peneiramento a úmido do material fino, inferior a 0,038 mm (malha 400# na escala Tyler), da amostra moída e desmagnetizada;

- *Separação Granulométrica*: no produto retido na malha 400# (0,038 mm) é realizada a classificação por via úmida, onde o material foi peneirado em 0,295 mm; 0,147 mm, 0,074 mm e 0,038 mm.

Para estudo mais detalhado da mineralogia foram realizadas separações minerais por dois métodos:

- *Líquido denso*: utilizando o líquido tetrabromoetano (TBE), de densidade 2,96g/cm³, com a finalidade de concentrar basicamente carbonatos e flogopita no produto flutuado, e apatita e outros minerais (magnetita, piroxênios, anfibólios, olivina, serpentina) no produto afundado;
- *Magnética*: realizada no aparelho Frantz Isodinâmico, visando, através da aplicação de diferentes intensidades de campo magnético, concentrar as diversas fases minerais.

As análises químicas foram efetuadas por metodologia de fluorescência de raios X (através de pastilhas fundidas) e, em casos particulares, por absorção atômica. Para detalhamento de alguns produtos das separações minerais, foram realizadas análises estereomicroscópicas e por difratometria de raios X (método do pó).

3. RESULTADOS E CONCLUSÕES

3.1. Individualização das Litologias por Catação

A primeira etapa dos trabalhos de caracterização visou o estudo individualizado das três fases litológicas constituintes das Zonas de Xenólitos: carbonatito, zona de reação e jacupiranguito. Este trabalho que foi desenvolvido nas frações granulométricas retidas em 6,35 mm para o produto britado das cinco amostras de frente de lavra e os dados apresentados a seguir se referem a estas frações cuja representatividade em massa foi de 60 a 90%.

Como pode ser observado no primeiro gráfico da figura 2, a distribuição das litologias na unidade é heterogênea, porém o carbonatito é a fase predominante. Quanto aos teores de P₂O₅, observa-se que estes atingem valores próximos, às vezes superiores, ao teor de corte tanto nos carbonatitos quanto nas zonas de reação. O segundo gráfico da figura 2 apresenta a distribuição do P₂O₅ nas três litologias, e observa-se que uma porcentagem considerável deste encontra-se nas zonas de reação.

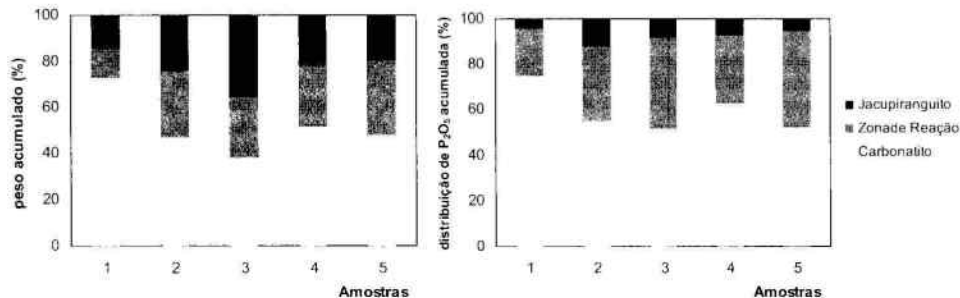


Figura 2. Gráficos de partição das diferentes litologias para as amostras de frentes de lavra relativa à fração retida em 6,35 mm do produto de britagem.

Os valores mostrados na tabela 1 confirmam a importância da zona de reação para a mineralização das Zonas de Xenólitos, comparando teores calculados de P₂O₅ para duas situações distintas: considerando a zona de reação como minério, juntamente com o carbonatito, e considerando a zona de reação como estéril. Apesar dos valores poucos variarem de uma situação para a outra e serem próximos ao teor de corte da mina, a incorporação da zona de reação aumenta a recuperação do fosfato associado ao recurso mineral.

Amostras	Zona de Reação como minério			Zona de Reação como estéril		
	% peso		Teore de P_2O_5 (%)	% peso		Teore de P_2O_5 (%)
	Carbonatito + Zona de Reação	Jacupiranguito		Carbonatito	Zona de Reação + Jacupiranguito	
1	85,4	14,6	2,36	72,4	27,6	2,17
2	75,8	24,2	2,80	47,1	52,9	2,81
3	64,4	35,6	2,53	38,1	61,9	2,42
4	78,3	21,7	2,89	51,3	48,7	2,98
5	80,5	19,5	2,48	48,0	52,0	2,31

Tabela 1. Composições de teores de P_2O_5 considerando a zona de reação como minério e como estéril.

3.2. Análises Granulométricas

Os ensaios seguintes focaram o conhecimento do comportamento da unidade na moagem. Foram geradas curvas de distribuição granulométrica para todas as amostras após o procedimento padronizado de moagem, e estas foram comparadas à curva granulométrica de um carbonatito típico.

Observa-se nos gráficos da figura 3 que as amostras totais apresentam comportamento na moagem muito similar ao material de alimentação da usina de beneficiamento, apesar da composição bastante diferenciada. As curvas de distribuição granulométrica das amostras de catação também são semelhantes a de um carbonatito tipo, porém apresentam grande variabilidade entre mesmas litologias em amostras diferentes. A maior porcentagem em massa ocorre entre 0,295 e 0,147 mm, faixa granulométrica na qual a apatita apresenta boa liberação e responde adequadamente aos processos de concentração por flotação nas condições correntes da mina.

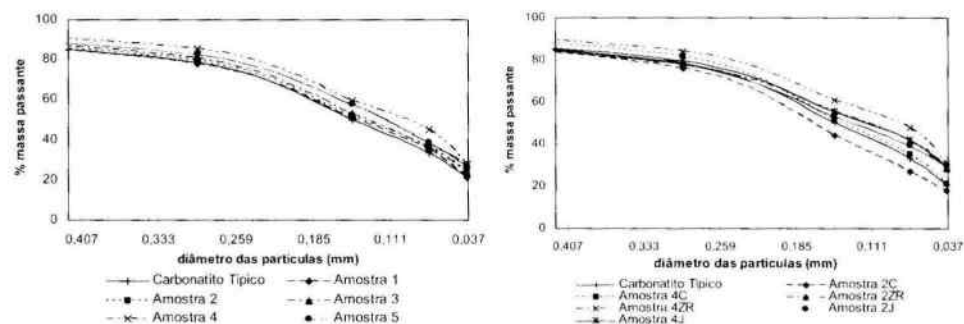


Figura 3. Gráficos de distribuição da massa passante para a separação granulométrica das amostras totais (à esquerda) e das amostras de catação (à direita).

3.3. Análises Químicas

As análises químicas das amostras totais mostram a heterogeneidade do domínio (Tabela 2): os teores de P_2O_5 frequentemente são próximos ao teor de corte da mina. Os teores de MgO e SiO_2 são elevados quando comparados a carbonatitos do depósito, estando esses associados principalmente aos blocos de xenólitos de jacupiranguito e das zonas de reação. O Fe_2O_3 ocorre principalmente na magnetita, porém os altos teores são devidos à presença desse óxido também em fases silicáticas presentes em abundância nos xenólitos e zonas de reação.

Amostras	leores (%)							
	P ₂ O ₅	MgO	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	CaO	Al ₂ O ₃	TiO ₂	PF
1	3,09	7,84	7,68	5,10	40,2	1,00	0,63	32,5
2	3,16	10,5	13,4	9,85	33,4	1,94	1,19	24,7
3	2,70	12,2	17,3	10,2	30,2	2,26	1,51	21,7
4	3,60	10,6	15,1	9,29	33,1	2,06	1,27	22,7
5	2,35	10,5	16,0	10,3	32,2	2,41	1,44	22,8

Tabela 2. Teores dos principais óxidos e perda ao fogo para as amostras totais.

Nos gráficos da figura 4 observa-se que os teores de P₂O₅ concentram-se entre 0,147 e 0,074 mm, porém as distribuições de fosfato no minério apresentam tendência geral a serem mais elevadas entre 0,295 e 0,147 mm, fração de elevada quantidade em massa.

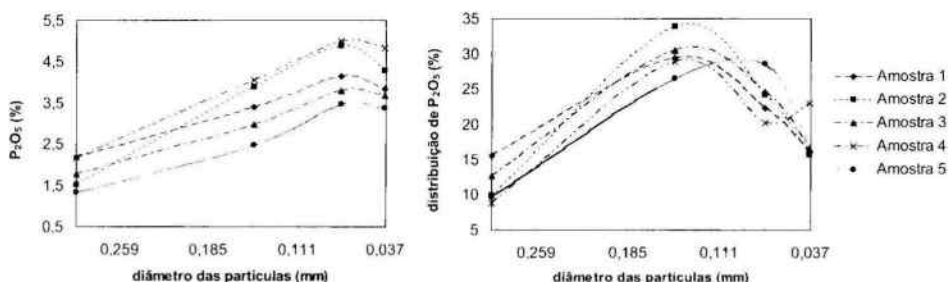


Figura 4. Gráficos de teores de P₂O₅ (à esquerda) e de distribuição de P₂O₅ (à direita) nas diversas frações granulométricas.

As análises químicas para as litologias individualizadas, que na amostra britada correspondiam à fração granulométrica retida em 12,7 mm, mostraram que as zonas de reação frequentemente apresentam teores de P₂O₅ mais elevados que os carbonatitos (Tabela 3). Observa-se que os teores de MgO, SiO₂ e Fe₂O₃ são muito maiores nas zonas de reação e nos jacupiranguitos, evidenciando a composição mineralógica bastante diferenciada dessas duas litologias para o carbonatito. Observa-se que a maior distribuição de fosfato é encontrada nos carbonatitos, porém as zonas de reação contribuem com importante parcela desse à Zona de Xenólitos, podendo corresponder a até 42% do P₂O₅ presente na amostra.

produto	peso (%)	leores (%)								distribuição de P ₂ O ₅ no minério (%)
		P ₂ O ₅	MgO	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	CaO	Al ₂ O ₃	TiO ₂	PF	
Amostra 1										
Carbonatito	72,4	2,17	5,31	0,37	4,07	46,1	0,08	0,09	40,0	74,8
Zona de Reação	12,9	3,43	14,6	17,8	12,0	25,0	2,91	1,41	18,8	21,1
Jacupiranguito	14,6	0,58	16,0	37,7	12,6	20,1	4,72	2,64	4,51	4,07
Amostra 2										
Carbonatito	47,1	2,81	4,31	0,27	2,90	47,9	0,07	0,11	39,8	55,0
Zona de Reação	28,7	2,80	18,5	21,0	16,4	18,2	3,29	1,73	14,3	33,4
Jacupiranguito	24,2	1,14	19,0	32,2	17,9	15,5	4,32	2,52	4,74	11,5
Amostra 3										
Carbonatito	38,1	2,42	5,58	1,27	4,13	45,5	0,07	0,17	39,1	51,7
Zona de Reação	26,4	2,70	17,5	21,9	14,3	19,5	3,06	1,93	14,9	39,9
Jacupiranguito	35,6	0,42	13,7	34,6	21,7	17,3	4,83	3,61	2,09	8,40
Amostra 4										
Carbonatito	51,3	2,98	4,36	0,81	6,32	45,6	0,10	0,17	38,3	62,7
Zona de Reação	27,0	2,71	17,1	18,7	12,1	21,2	2,74	1,45	17,7	30,0
Jacupiranguito	21,7	0,83	15,6	31,0	17,0	17,7	4,38	3,12	4,48	7,34
Amostra 5										
Carbonatito	48,0	2,31	4,35	0,45	4,59	46,5	0,11	0,17	39,7	52,5
Zona de Reação	32,6	2,73	17,8	18,4	12,5	21,7	2,74	2,02	17,2	42,1
Jacupiranguito	19,5	0,58	12,9	33,2	21,7	17,9	5,00	3,74	2,47	5,31

Tabela 3. Balanço metalúrgico dos principais óxidos e perda ao fogo das três fases litológicas constituintes das Zonas de Xenólitos.

3.4. Mineralogia

Devido à sua heterogeneidade, a composição mineralógica da Zona de Xenólitos é variável nos diferentes pontos estudados, porém apenas na proporção das fases minerais presentes. A mineralogia principal é composta por minerais carbonáticos, sendo o principal a calcita, e hidroxilapatita, além de diversos minerais silicáticos.

Associando os teores de MgO com a mineralogia e os resultados das difratometrias de raios X, nota-se que todos os minerais silicáticos da unidade contêm esse óxido em sua composição química teórica, o que se reflete em seus elevados teores observados em todas as análises químicas realizadas (Tabela 4).

MINERAIS	FÓRMULA QUÍMICA
Calcita	$(Mg_{0,01}Ca_{0,99})_2(CO_3)_2$
Dolomita	$CaMg(CO_3)_2$
Hidroxilapatita	$Ca_{4,42}Sr_{0,18}H_{0,4}(PO_4)_6(OH)_{1,00}$
Magnetita	$Fe_{2,94}O_4$
Flogopita	$KMg_3(Si_3AlO_{10})F_2$
Biotita	$K(Mg_{1,46}Fe_{1,34}Ti_{,20})(Al_{1,24}Si_{2,76}O_{10})(OH)_{1,84}O_{16}$
Diopsídio	$CaMgSi_2O_6$
Diopsídio ferroso	$(Mg_{0,992}Fe_{0,008})(Ca_{0,97}Mg_{0,022}Fe_{0,008})(Si_2O_6)$
Clinohiperstênio	$Mg_{0,11}Fe_{0,67}Ca_{0,01}SiO_3$
Richterita	$Na_2Ca(Mg,Fe)_2Si_4O_{12}(OH)_2$
Actinolita	$(Mg,Ca,Fe,Na,Al,Mn)_3(Na,K)_{0,11}(Si,Al)_8O_{22}(OH)_{1,7}F_{0,28}$
Forsterita	Mg_2SiO_4
Clinocrisotila	$Mg_3Si_2O_5(OH)_4$
Lizardita	$Mg_3Si_2O_5(OH)_4$

Tabela 4. Principais minerais identificados por difratometria de raios X.

Dentre os minerais micáceos ocorrem micas (flogopita e biotita) e serpentinas (clinocrisotila e lizardita). Olivina (forsterita) e magnetita estão presentes no domínio em quantidades muito elevadas, e ainda ocorrem piroxênio (predominantemente diopsídio e subordinadamente clinohiperstênio) e anfibólio (predominantemente richterita e subordinadamente actinolita), além de outras fases minerais menores (kinoshitalita e fassaíta). Todos esses minerais são provenientes dos blocos de jacupiranguito, porém a forsterita e a richterita são constituintes importantes das bandas silicáticas das zonas de reação. Os sulfetos presentes ocorrem essencialmente nos carbonatitos.

Observadas separadamente, as litologias carbonatito e zona de reação apresentam mineralogia principal semelhante, constituída por carbonatos, flogopita e apatita, sendo a flogopita abundante nas zonas de reação; o jacupiranguito é constituído principalmente por piroxênios, flogopita e magnetita, esta última causando grande interferência nas etapas de separação mineral da caracterização.

A apatita presente nas Zonas de Xenólitos pode ser avaliada quanto a sua granulometria e concentração em função dos teores de P_2O_5 e de suas distribuições nas frações granulométricas. Dessa forma, observou-se que a granulometria do mineral nas Zonas de Xenólitos é comumente fina, assim como em outras unidades de Carbonatito (Oxidado, Foliado, Branco e Norte) onde a granulação varia de fina a média, porém a quantidade de apatita nas Zonas de Xenólitos é menor, em contraste com outras três unidades carbonatíticas (Periférico Sul, Calcítico Sul e Intermediário) em que a apatita é predominantemente grossa.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O estudo detalhado da unidade litológica Zona de Xenólitos permitiu caracterizá-la como minério de baixo teor, inserindo-a na tipologia corrente de planejamento e operação de lavra como *Magnesiano*. Os elevados teores de MgO no domínio estão associados à presença de minerais silicáticos micáceos, forsterita, piroxênios e anfibólios, uma vez que a fase litológica carbonatítica e as bandas carbonáticas das zonas de reação são tipicamente calcíticas. A

mineralogia principal das Zonas de Xenólitos (carbonatos, flogopita, magnetita e apatita) é semelhante a das unidades carbonatíticas compartimentadas na mina, porém as proporções das fases minerais são bastante variáveis.

A granulometria fina da apatita presente na unidade é uma característica importante para a usina de concentração mineral, pois apatita de granulação grossa leva a necessidade de uma diminuição na alimentação dos moinhos para não sobrecarregá-los, prejudicando na ação dos ciclones na classificação granulométrica. Além disso, o grau de liberação na granulometria adequada ao processo é elevado: 88% para as zonas de reação e 96% para os carbonatitos.

Apesar da elevada porcentagem de flogopita e anfíbios nas zonas de reação, é importante ressaltar que boa parte da apatita presente nas Zonas de Xenólitos é proveniente desta litologia, pois quando analisada separadamente observa-se que seus teores de P_2O_5 são comumente mais elevados que nos carbonatitos, que por sua vez apresentam teores mais baixos que as médias das unidades carbonatíticas.

Além das características químicas, o comportamento físico do material é favorável ao seu processamento na usina de concentração mineral, com boa liberação dos minerais (carbonatos e apatita) na cominuição aplicada. Porém a elevada quantidade de blocos de jacupiranguito pode ser problemática para o beneficiamento, prejudicando principalmente a etapa de desmagnetização, sendo necessário um conhecimento prévio do comportamento desses blocos para evitar que muito material estéril entre na alimentação.

5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Bunge Fertilizantes S.A. a oportunidade de desenvolvimento deste trabalho, realizado sob a égide de um convênio com o Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo, bem como ter facultado a divulgação dos dados contidos neste artigo.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Bonás, T.B. & Sant'Agostino, L.M. Aplicação do índice mineralógico como apoio a avaliação de reserva e lavra da mina de fosfato de Cajati-SP. In: Congr. Bras. Geol., 42. Araxá, 2004. *Anais...Araxá*, SBG. CD-ROM, 2004
- Gaspar, J.C. Géologie et minéralogie du complexe carbonatitique de Jacupiranga, Brésil. França, Tese de Doutaramento U.E.R. de Science Fundamentales et Appliquées, Université d'Orleans, 334p, 1989.
- Ruberti, E., Marguti, R.L., Gomes, C.B. O Complexo carbonatítico de Jacupiranga, SP: Informações gerais. Roteiro das excursões do 37º Congresso Brasileiro de Geologia - SBG/SP, São Paulo, SP. V. 4, 16 p., 1992.
- Saito, M.M., Barros, G., Bonás, T.B., Bettencourt, J. Mapeamento geológico de detalhe da mina de Cajati (SP): modelo conceitual e aplicação à lavra, produção e beneficiamento. In: Congr. Bras. Geol., 42. Araxá, 2004. *Anais...Araxá*, SBG. CD-ROM, 2004.