

Sessão - dia 03/08/76

**CONCENTRAÇÃO DE FELDSPATOS POR FLUTUAÇÃO CATIONICA**

*Expositor:*

Prof. Dr. WALDEMAR CONSTANTINO  
Prof. Livre Docente, Escola Politécnica — USP.  
Departamento de Engenharia de Minas

## INTRODUÇÃO

Os granitos em geral e rochas afins, são potencialmente fonte de matéria prima de feldspatos. Tais rochas (granitos, pegmatitos, aplitos, alaskitos) são basicamente constituídas de feldspatos, quartzo, micas e secundariamente de alguns minerais ferríferos, chamados "pesados". O termo feldspato é aplicado a um grupo de minerais de silicatos de alumínio com proporções variáveis de sódio, potássio e cálcio. Os feldspatos potássicos são o ortoclásio e a microclina. Os plagioclásios formam a conhecida série isomórfica, na qual o membro final sódico é a albita e o cálcico é a amorfita. Os feldspatos utilizados comercialmente são os potássicos e sódicos. O valor dessa matéria prima pode portanto ser especificado em termos de alumina,  $Al_2O_3$ , óxido de potássio,  $K_2O$  e óxido de sódio  $Na_2O$ . Ver-se-á mais adiante que cada um desses óxidos desempenha uma função técnica importante, tanto nas indústrias vidreiras como também nas cerâmicas. Todo o feldspato consumido neste país é proveniente da lavra de pegmatitos, na qual a "Concentração" é feita visualmente a mão, nas frentes de desmonte. É sabido, que tais rochas (pegmatitos) tem pequenas reservas e possuem grande variabilidade mineralógica. Este fato aliado aos métodos de lavra primitivos, fornecem um produto com uma acentuada variabilidade, tanto granulométrica como também química. A lavra de grandes massas graníticas, possuidoras de variabilidade muito pequena, bem como a extração de seus feldspatos por flutuação, permitirão o fornecimento de um produto rigorosamente controlado física e quimicamente.

Os principais usos dos feldspatos se baseiam na sua mais importante característica tecnológica, que é a *fusibilidade*, pela sua capacidade de *vidrar*. Ela fornece a peça queimada: resistência, maciês e durabilidade, suportando a ação da maioria dos agentes químicos. Nos vidros, os feldspatos melhoram as possibilidades de sua trabalhabilidade e retardam a sua devitrificação. Entende-se por devitrificação, a transformação do estado vítreo para o cristalino. A massa (vítreo) vai se transformando num agregado finamente cristalizado, composto principalmente de quartzo, tridimita e feldspato alcalino. Pela sua relativa dureza, os feldspatos também podem ser utilizados como abrasivo de ação mediana. A indústria vidreira tem evoluído muito, estes últimos anos, permitindo a feitura de vidros altamente resistentes aos choques térmicos e mecânicos. O vidro de sílica é o mais simples mas de difícil fabricação devido a alta temperatura de fusão e a viscosidade do banho. Para reduzir-se essa temperatura e aumentar a capacidade de moldagem, adiciona-se um *fluxo*. O mais comum dos fluxos ou fundentes é a soda adicionada na forma de carbonato de sódio. Um vidro assim produzido tem no entretanto, pouca durabilidade química. Para aumentar essa durabilidade, adiciona-se

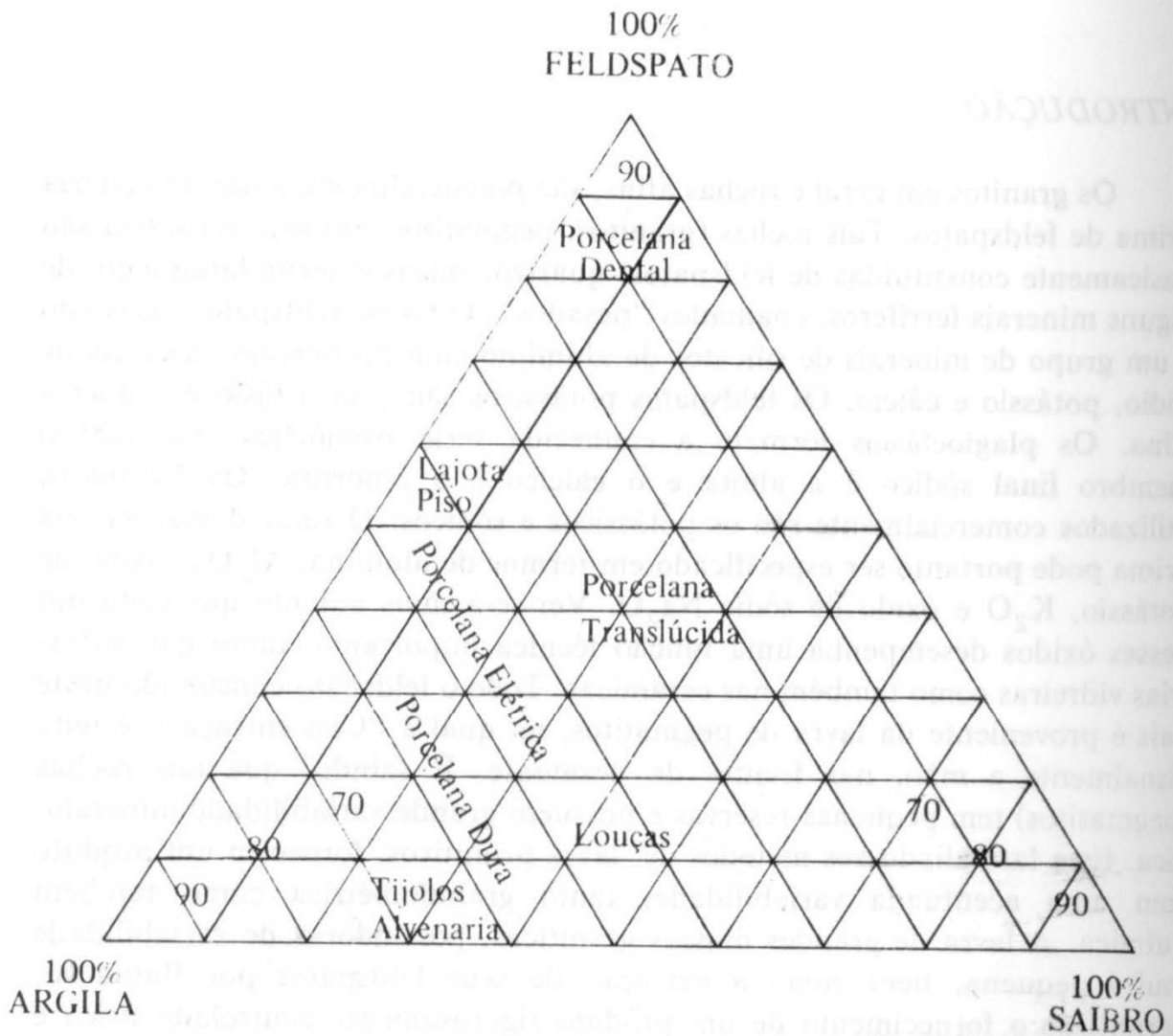


Fig. 1. DIAGRAMA TERNÁRIO MOSTRANDO AS PROPORÇÕES DE MATERIAS QUE ENTRAM NOS PRODUTOS CERÂMICOS MAIS COMUNS DE SINGER E SINGER

cal, que por sua vez pode provocar uma devitrificação, daí a necessidade de se adicionar alumina para estabilizá-lo. Assim é produzido o mais comum dos vidros, denominado sódico-cálcico, e se constituem no grosso da produção vidreira. Outros tipos são também produzidos com finalidades especiais e de devitrificação controlada (pyrex).

Um segundo grande mercado para os feldspatos reside na indústria cerâmica. O tradicional *corpo cerâmico*, base para as louças brancas, sanitários e ladrilhos é formado por argilas, saibros e um fluxante feldspático, que ajuda a manutenção da forma do corpo, sem entortamentos. A porcentagem aproximada que entra na composição dos produtos cerâmicos pode ser vista na Fig. 1.

Outro mercado importante é o da produção de vidrados e esmaltes. São materiais semelhantes aos vidros aplicados sobre corpos cerâmicos (vidrados)

ou metálicos (esmaltes), conferindo resistência ao ataque químico, mesmo a temperaturas relativamente elevadas. Agosti, 1.964, dá uma relação completa desses materiais e suas aplicações. De menos importância, pode-se citar ainda, a utilização de feldspatos em tintas e veículos de substâncias químicas. Os resíduos radioativos da indústria nuclear, são estabilizados num "vidro", sendo que o custo dessa estabilização geralmente não ultrapassa 1 a 2% da energia elétrica produzida.

O panorama do mercado brasileiro da produção e consumo de feldspatos, pode ser visto na Fig. 2, extraída do último Anuário Mineral Brasileiro, 1.974, e para efeito comparativo a Fig. 3 dá a produção e consumo por uso em 1.971, na América do Norte.

A justificativa para o presente trabalho pode ser resumida nos seguintes pontos:

- 1) a existência de um mercado consumidor e em expansão,
- 2) a existência de rochas graníticas em abundância nas vizinhanças da Grande São Paulo e finalmente
- 3) a existência de inúmeras indústrias de concentração de feldspatos por flutuação em inúmeros países estrangeiros.

Conseqüentemente, tentamos nestes últimos quatro anos, a aplicação dessa tecnologia mineral às rochas brasileiras, procurando um selecionamento das melhores. Tais estudos obedeceram uma marcha padronizada em testes de laboratório em bancada ("batch tests"), cujos dados serviram para a montagem de um *Engenho Piloto* contínuo com capacidade para 100 quilos por hora.

### MÉTODOS E EQUIPAMENTOS USADOS

O conhecimento preparatório a caracterização a flutuabilidade, exigiu estudo detalhado sobre cada tipo de granito das seguintes características: composição mineralógica, composição química, cominubilidade e distribuição granulométrica, grau de liberação dos feldspatos por moagem, os ensaios de flutuabilidade propriamente ditos, estudos de lixiviação e determinação da fusibilidade dos concentrados feldspáticos. Os métodos utilizados para cada característica foram resumidamente os seguintes:

—Composição Mineralógica  
-método: Microscopia ótica.

As rochas estudadas são constituídas quase totalmente de minerais transparentes e alguns poucos minerais opacos, principalmente magnetita e pirita. As identificações das espécies minerais foram feitas pelos métodos petrográficos comuns, com um microscópio Ortholux — Pol de fabricação Leitz. Os minerais opacos foram identificados por meio da determinação sistemática das reflectividades com um microfotometro MPE—Leitz e da

2.27 Feldspato

## RESERVAS-1973

Unit : t

Unidade Federação	Medida	Indicada	Inferida
Espírito Santo	112.700	12.800	—
Minas Gerais	383.975	119.555	45.136
Rio de Janeiro	861.321	55.873	128.452
Santa Catarina	86.726	74.817	62.105
São Paulo	2.167.652	2.167.200	302.942
Total	3.612.374	2.430.305	538.635

Unit : t e Cr\$

## PRODUÇÃO (BRUTA) - 1973

Unidade Federação	Estoque Inicial	Quantidade Produzida	Quantidade Vendida	Quantidades Transferidas			Estoque Final	Tratamento na Mina	Transf. na Mina	Vendas	Transfe- rência
				Com Tributação (1)	Sem. Tributação (2)	Total (1) + (2)					
Espírito Santo	800	8.700	9.400	—	—	—	100	—	—	1.315.300	—
Minas Gerais	201	18.842	18.864	—	—	—	179	—	—	1.183.731	—
Rio de Janeiro	—	14.129	761	—	—	—	—	13.369	—	82.507	—
Santa Catarina	—	231	231	—	—	—	—	—	—	28.032	—
São Paulo	882	48.679	27.384	—	6.442	6.442	2.499	13.236	—	1.264.364	—
Total	1.883	90.581	56.640	—	6.442	6.442	2.778	26.604	—	3.873.929	—

## PRODUÇÃO BENEFICIADA - 1973

Unit : t e Cr \$

Unidade Federação	Estoque Inicial	Quantidade Produzida	Quantidade Vendida	Quantidade Transferida	Estoque Existente	Valor das Vendas	Valor das Transf.
Rio de Janeiro	—	13.378	13.378	—	—	1.423.346	—
São Paulo	—	19.236	19.236	—	—	2.288.414	—
Total	—	32.614	32.614	—	—	3.711.760	—

Fig. 3 – PRODUÇÃO TOTAL DE FELDSPATO POR USO 1971.

Feldspato total	Quantidade (t)	Valor US\$
<b>Lavra manual</b>		
Vidrarias	n.c.	n.c.
Cerâmicas	12.294	284.706
Vidrados e Fritas	n.c.	n.c.
Outros	24.435	530.426
Total . . . . .	36.729	815.132
<b>Concentração de Flutuação</b>		
Vidrarias	n.c.	n.c.
Cerâmicas	174.660	2.902.224
Outros	255.513	2.759.837
Total . . . . .	430.173	5.662.061
<b>Misturas Feldspatossílica</b>		
Vidrarias	n.c.	n.c.
Cerâmicas	n.c.	n.c.
Outros	134.716	2.238.450
Total . . . . .	134.716	2.238.450
<b>Total geral</b>		
Vidraria	306.919	3.532.706
Cerâmica	n.c.	n.c.
Vidros e Fritas	n.c.	n.c.
Outros	294.699	5.182.937
Total . . . . .	601.618	8.715.643

n : c. = dados não conhecidos

microdureza Vickers com um durímetro também de fabricação Leitz. O proporcionamento dos principais minerais foi feito por análise nodal com contagem de pontos. Uma atenção especial foi dada para as possíveis presenças dos seguintes espécies minerais: grupo da sillimanita, indesejáveis pela sua alta refratariedade; fluorita que perturbaria a flutuação das micas e a presença de calcita ou outros carbonatos, que dificultariam o controle da acidez (pH). Os esquemas de identificação obedeceram os seguintes autores: para os minerais transparentes, Kerr (1959) e para os opacos, Uytendogaardt e Burke (1971).

#### Composição Química

Métodos: Análise química elementar.

Espectrofotometria de Absorção Atômica e  
Fluorescência de Raio-X. (tentativa)

Cuidados especiais foram dadas às análises químicas. Várias marchas de análise foram tentadas. O problema da redução da amostra e seus erros foram considerados, já que o ferro é um dos principais contaminantes dos feldspatos e provem: das micas, turmalinas, magnetita, resíduos de ferro devido ao desgaste dos equipamentos de cominuição. As análises de ferro foram feitas por Espectrofotometria de Absorção Atômica, assim como os demais elementos (alumínio, potássio, sódio, cálcio e magnésio). Algumas tentativas foram feitas para a utilização da fluorescência de Raio—X, as quais envolvem a fabricação de uma pastilha de “vidro” de tetraborato de lítio. Com isso procura-se minimizar o erro devido ao efeito da matriz. A marcha das análises químicas obedeceram as receitas propostas pelo “Cook Book” da Perkin Elmer, fabricante do próprio aparelho de Espectrofotometria de Absorção Atômica.

#### Cominubilidade e Distribuição Granulométrica

Métodos: Britagem, Moagem e Classificação por peneiramento.

A cominuição tem por objetivo a fragmentação dos sólidos. No caso dos granitos para obtenção dos feldspatos ela visa especificamente a *liberação* maior possível daqueles minerais. Isto é, a obtenção de grânulos de feldspatos livres, isentos de qualquer contaminação. O estudo da liberação é portanto fundamental, merecendo porisso uma atenção especial, como veremos adiante. Os granitos são rochas relativamente duras, cujo *índice energético*  $W_i$  (“work index”) compara-o aos minerais componentes têm os seguintes valores:

<i>Mineral</i>	$W_i$
Feldspato	11,67
Quartzo	13,67
Granito	14,39

O valor mais baixo dos Feldspatos, leva a uma acumulação dos mesmos, nas frações mais finas. A prática tem demonstrado que a maior parte (acima de 80%) dos feldspatos já estão liberados abaixo de 20 mesh. Portanto, a cominuição deverá visar um intervalo granulométrico que se inicia com a granulometria de liberação até digamos 44 microns. Os finos (abaixo de 44 microns) formam lamas, com uma superfície específica muito grande, consumindo reagentes em excesso. A visto disso, a cominuição é feita por britagens (primária e secundária) levando os materiais até a ordem de 10 a 20 mm de diâmetro. A moagem é feita então com moinho de barras ao invés de bolas, no sentido de se evitar uma degradação excessiva.

A classificação dos produtos cominuidos pode ser feita por simples peneiramento no limite superior (granulometria de liberação). O limite inferior, aceitável praticamente, situa-se em torno da peneira 325 mesh (44 microns de abertura). Nos testes de bancada, esse controle pode ser feito por peneiramento via úmida. Na prática, entretanto, só poderá ser feito

hidrociclonação, cones estáticos ou classificadores tipo arraste ("rake"). Lembramos que a inevitável produção das lamas é agravada pela presença maior ou menor de caulim, produto natural da intemperização dos feldspatos.

**Liberção dos Feldspatos por Moagem.**

**Métodos:** Classificação granulométrica. Estudo microscópico por contagem de pontos.

Salienta-se a importância do estabelecimento do *grau de liberação* dos feldspatos. Chama-se grau de liberação a relação entre o número de grânulos de feldspatos livres para o número total de grânulos contendo feldspato e mixtos com os outros minerais da rocha. Geralmente considera-se uma percentagem prática, aquela acima de 90%. O método se inicia com a classificação granulométrica do material moído. Pesando-se com precisão de 0,1 g as frações retidas em cada peneira amostra-se com quarteador uma alíquota de cada fração retida. Confecciona-se lâminas delgadas de cada amostra por fusão prévia em resina epoxy. No microscópio, com auxílio de um contador de células, efetua-se a contagem dos grânulos de feldspato livres e de mixtos. Os mixtos são avaliados visualmente em intervalos convenientes (ver figuras obtidas pelos estudos específicos mais adiante). Dos valores obtidos e calculados pode-se estabelecer o grau de liberação e o *norma* para os feldspatos em cada granito estudado.

**Caracterização e Flutuabilidade**

**Método:** Flutuação Catiônica, em células de 500 e 2000 gramas de carga.

Os métodos de concentração dos feldspatos mais comumente usados no mundo, podem ser agrupados em duas grandes classes: separação eletrostática e flutuação catiônica. Ambos os métodos, são coadjuvados por separações magnéticas (até cerca de 1000 gauss), que extraem os minerais fortemente magnéticos (magnetita, pirrotita), alguma biotita, alguma turmalina e resíduos metálicos oriundos do desgaste das máquinas de cominuição. A separação eletrostática é muito utilizada para os sienitos nefelínicos, e de modo geral onde a granulometria de liberação está acima de um milímetro. É um processo que exige um aquecimento prévio da carga a 150° C, e onde os gases podem atingir até 1000° C (consultar Mudd Series, 1960). Como consequência da composição mineralógica do granito, foi necessária a aplicação de três etapas de flutuação:

- 1) Flutuação das micas,
- 2) Flutuação dos Minerais Pesados e
- 3) Flutuação dos Feldspatos.

Todas as três etapas usou-se meio ácido (pH variando de 1,5 a 5,0). Para a coleta das micas e dos feldspatos, usou-se acetato de cômico amina e para os minerais pesados, sulfonatos. A máquina de flutuação usada, de marca "Denver", aerada pela sucção da própria turbina, tinha rotação variável. A densidade da polpa foi variada de 25 a 30% em peso.



### Estudos de Lixiviação

Métodos: Lixiviação com ácido sulfúrico e cloreto de sódio e com ácido hidrofluorídrico e ditionito.

Os concentrados feldspáticos obtidos provem, muito comumente, de uma rocha já em início de caulinização, embora a aparência seja de rocha fresca. Os minerais ferríferos liberam óxidos de ferro que impregnam os grânulos de feldspatos através de microfissuras. Por outro lado, após as três etapas de flutuação os grânulos, apesar de todo atritamento, acham-se envolvidos por películas dos coletores orgânicos (aminas, sulfonatos) que adsorvem parte dos óxidos de ferro. É preciso portanto, "limpar" os grânulos desses resíduos ferríferos e orgânicos. O poder de coberturas dos coletores atômicos é muito grande, de modo que, não é fácil a sua remoção. Tentou-se o cloro nascente, pelo ataque do  $H_2SO_4$  sobre o NaCl e a ação simultânea do HF com ditionito. Ambos os métodos são eficientes, trata-se apenas de se apropriar convenientemente os custos. Após a lixiviação, sempre por agitação em batedor de pás, a lavagem com água fresca deverá ser abundante.

### Estudos sobre a fusibilidade

Métodos: Queima em Forno Mufla automático com temperaturas programadas.

Os concentrados feldspáticos obtidos, após a lixiviação, lavagem e secagem, foram moídos totalmente a uma malha menor 200 mesh (75 microns), em moinho de porcelana automático e com o pó menos 200 malhas, foram feito cones moldados com água e secados em estufas a  $110^\circ C$ . Em seguida eram queimadas em três temperaturas:  $1250^\circ$ ,  $1300^\circ$  e  $1350^\circ C$ . Resíduos ferríferos microscópicos, prontamente se sobressaem na massa semi fundida dos feldspatos (nas temperaturas citadas, os feldspatos apenas "vidram"). Se o ferro estiver numa forma hidratada, a massa adquire uma tonalidade cinzenta, tanto mais escura, quanto maior o teor da contaminação em ferro.

## RESULTADOS

Foram estudadas exaustivamente cerca de 20 (vinte) rochas provenientes de várias localidades no Estado de São Paulo. Seria por demais enfadonho enumerar todos os resultados obtidos, os quais na sua grande maioria se apresentaram negativos. Portanto serão apresentados somente as características das três melhores rochas, a saber: Granito Itú, Alaskito Terra Nova e o Granito Bragança Paulista.

Para facilitar a comparação entre essas três melhores rochas e facilitar o cômputo geral dos resultados, cada característica obtida atribuiu-se um *índice numérico ponderado*. A soma total desses índices, dado mais adiante, permitiu colocar as rochas numa ordem de preferência, quanto a continuação dos estudos.

Como já foi ressaltado, previamente, a cada etapa de flutuação a polpa era cuidadosamente deslamada. Geralmente a reação abaixo de 325 malhas era totalmente removida. A seguir estão apresentados os resultados de todas as características estudadas:

## COMPOSIÇÃO MINERALÓGICA

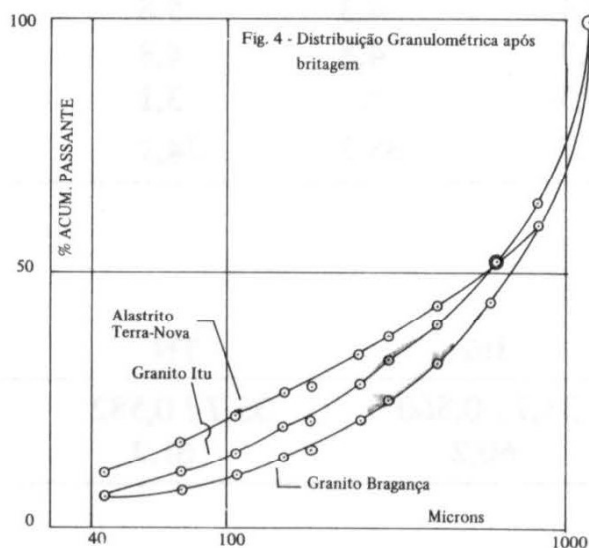
Minerais	% Volume		
	Itú	TN	BR
Feldspato Alcalino	33,4	46,7	52,0
Plagioclásio	29,1	20,3	8,0
Quartzo	32,5	29,5	35,2
Mica biotica	4,2	3,5	4,3
Outros minerais	0,8	0,5	0,5

## COMPOSIÇÃO QUÍMICA

Óxido	% Peso		
	Itú	TN	BR
SiO <sub>2</sub>	72,5	73,1	72,8
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	12,9	13,8	14,1
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3,24	1,92	2,47
TiO <sub>2</sub>	0,29	0,13	0,21
Na <sub>2</sub> O	4,22	4,82	3,03
K <sub>2</sub> O	5,02	5,01	5,33
Outros	1,83	1,22	2,06

Todas as amostras foram britadas num britador de mandíbulas e em seguida, moidas ea úmido num moinho de bolas, com cargas de 1 kg. durante 15 minutos.

As distribuições granulométricas forneceram as curvas mostradas na Fig. 4.



Para se avaliar a mobilidade de cada rocha selecionada, pode-se de modo grosseiro comparar as curvas de distribuição granulométrica, já que os testes de moagem foram feitas sob mesmas condições. Esse índice pode ser expresso pela quantidade de material que passou na peneira 200 mesh (abertura 0,074 mm). Comparando-se então as percentagens de material passante nessa peneira teremos:

	Itú	TN	BR
% passante	10,8	17,0	7,7
Moabilidade	1,40	2,22	1,0

#### Caracterização quanto a liberação

O assunto, em geral, refere-se evidentemente aos mineral útil. Todavia, neste caso particular, é interessante considerar-se também, a liberação da ganga, representada pelo quartzo e particularmente pelos minerais máficos, portadores de ferro nas suas estruturas. Tal estudo foi feito sob o microscópio e os resultados constam das tabelas 1, 2 e 3 respectivamente referentes aos Granitos Itú, Terra Nova e Bragança Paulista.

Com os resultados obtidos podemos, considerando ainda as percentagens em peso retidos nas peneiras observadas, calcular as *normas* para cada granito, a saber:

Intervalo	Valores		
	Itú	TN	BR
14 - 20	21,3	22,4	20,4
35 - 48	4,4	4,3	5,8
60 - 80	4,7	4,8	4,8
100 - 150	3,3	4,2	3,1
Totais	33,7	35,7	34,1

	Itú	TN	BR
Feldspato (%)	33,7 / 0,560	35,7 / 0,582	34,1 / 0,566
	60,2	61,3	60,2

Há sempre certa discrepância entre os valores calculados para as porcentagens de feldspatos em relação ao obtido pela análise modal. Isso se deve aos erros de amostragem.

TABELA 1

## LIBERAÇÃO POR MOAGEM

Material: GRANITO ITÚ-FLORESTA

	FRAÇÕES			
	14-20	35-48	60-80	100-150
1. Contagem Global				
Feldspatos livres	300	370	502	530
Predomínio dos F	291	130	73	56
Predomínio de G	78	29	18	9
Ganga livre	231	271	307	335
TOTAL	900	800	900	930
2. Porcentagem na fração				
Feldspatos livres	33,3	46,2	55,8	57,0
Predomínio de F	24,2	12,2	6,1	4,5
Ganga	8,1	4,0	2,0	1,5
Predomínio de G	2,2	0,9	0,5	0,2
Ganga	6,5	2,7	1,5	0,8
Ganga livre	25,7	33,9	34,1	36,0
TOTAL FELDSPATOS	59,7	59,3	62,4	61,7
Ganga	40,0	40,6	37,6	38,3
LIBERAÇÃO				
Feldspatos	55,8	77,9	89,4	92,4
Ganga	63,8	83,4	90,7	94,0

TABELA 2  
LIBERAÇÃO POR MOAGEM

MATERIAL – ALASKITO TERRA NOVA

	FRAÇÕES			
	14 – 20	35 – 48	60 – 80	100 – 150
1. Contagem global				
Feldspatos livres	176	631	520	674
Predomínio de F	320	101	63	46
Predomínio de G	132	85	77	39
Ganga livre (G)	172	176	188	191
TOTAL	800	998	850	950
2. Porcentagem na fração				
Feldspato livre	22,0	63,2	61,2	70,9
Predomínio F	30,0	7,6	5,7	3,6
Ganga	10,0	2,5	1,9	1,2
Predomínio G	4,1	2,2	2,3	3,1
Ganga	12,4	6,6	6,8	1,0
Ganga livre	21,5	17,8	22,1	20,1
Feldspatos	56,1	73,0	69,2	77,6
TOTAL				
Ganga	43,9	26,9	30,8	22,3
LIBERAÇÃO				
Feldspatos	39,2	86,6	38,4	91,4
Ganga	50,0	66,0	71,7	90,1

#### *Caracterização quanto a Flutuabilidade*

Já foi dito que as flutuações até a obtenção de um concentrado feldspático, exigem três etapas: extração das micas, extração dos minerais pesados e separação entre os feldspatos e o quartzo. Nas operações preparatórias, as amostras cominuidas foram batidas na própria célula com soda (para eliminar gorduras estranhas) durante 10 minutos e em seguida deslamadas na peneira 325 mesh e lavadas. Cerca de 500 gramas desse material eram levados a célula onde se procedeu a extração das micas.

TABELA 3  
LIBERAÇÃO POR MOAGEM

Material: GRANITO BRAGANÇA-PAULISTA

	FRAÇÕES			
	14 - 20	35 - 48	60 - 80	100 - 150
1. Contagem global				
Feldspatos livres	162	593	590	621
Predomínio de F	251	158	124	77
Predomínio de G	357	57	77	38
Ganga livre	81	62	90	165
TOTAL	851	870	881	901
2. Percentagem na fração				
Feldspatos livres	19,0	68,2	67,0	68,9
Predomínio F	22,1	13,7	10,5	6,4
Ganga	7,4	4,6	3,6	2,1
Predomínio G	10,5	1,6	2,0	1,0
Ganga	31,4	4,8	6,5	3,2
Ganga livre	9,5	7,1	10,2	18,4
TOTAL FELDSPATOS	51,6	83,5	79,7	76,3
Ganga	48,3	16,5	20,3	23,7
LIBERAÇÃO				
Feldspatos	36,8	81,7	84,1	90,6
Ganga	19,7	43,0	50,2	77,6

#### Flutuabilidade das Micas

O condicionamento foi feito obedecendo o seguinte esquema:

- 1 — Batido durante 10 minutos com quantidade várias de ácido sulfúrico.
- 2 — Batido durante 10 minutos com 200 g/t de acetato de Côco-amina.
- 3 — Ar total, flutuação e extração da mica durante 10 minutos. A formação de espumas, era auxiliada pela adição de 50 g/t de metil isobutil carbinol.

Os resultados podem ser de duas maneiras: em função do  $Fe_2O_3$  extraído da amostra original e pela alumina arrastada (isto é, pelos grânulos de feldspatos arrastados, junto aos concentrados de mica). Ver figuras 5, 6, 7.

#### Flutuação de Minerais Pesados

Os minerais portadores de ferro mais importantes são as micas biotita e subordinariamente, a muscovita. Os minerais "pesados", constituem cerca de 1% da rocha. Procurou-se uma flutuação em conjunto, sem se especificar a extração de um mineral em particular. Casos há como o Pegmatito de Perú,

no qual se sobressae a flutuação e extração da Turmalina até mesmo uma carta parte da mica, que escapou durante sua extração, poderá ser extraída pelos sulfonatos.

FIGURA 5 – FLUTUAÇÃO DA MICA GRANITO ITÚ

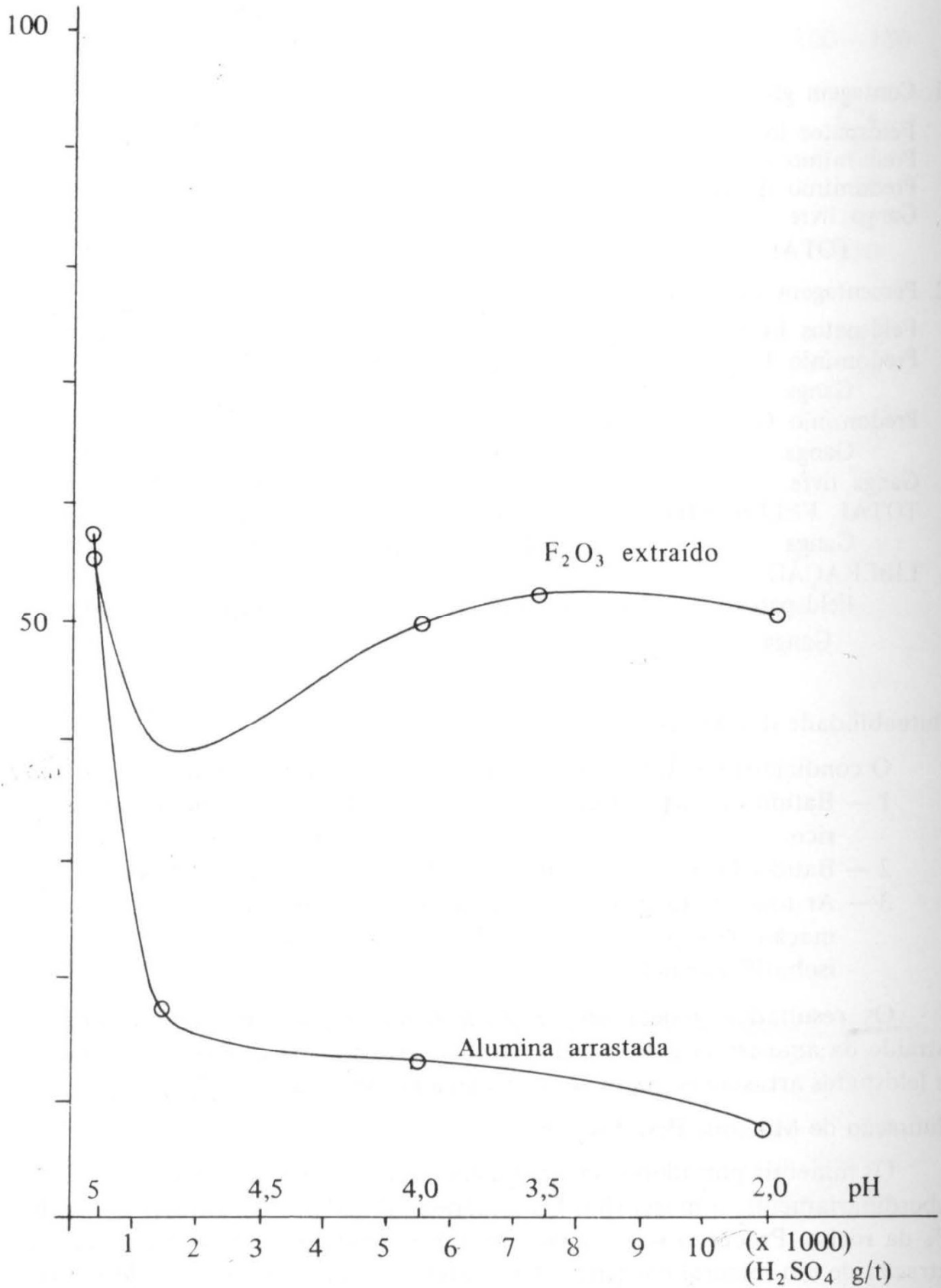
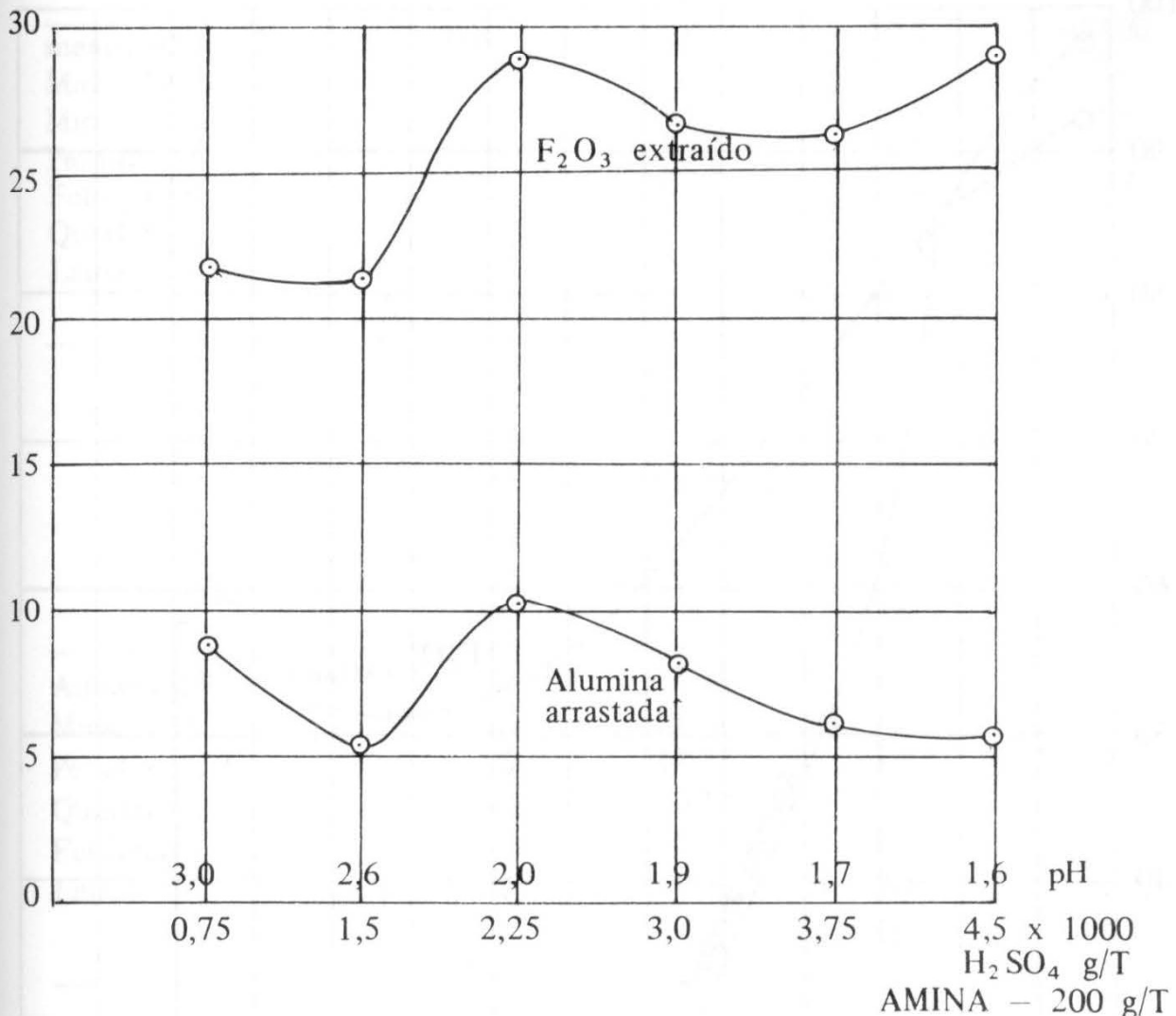


FIGURA 6 – FLUTUAÇÃO DA MICA ALASTRITO TERRA NOVA



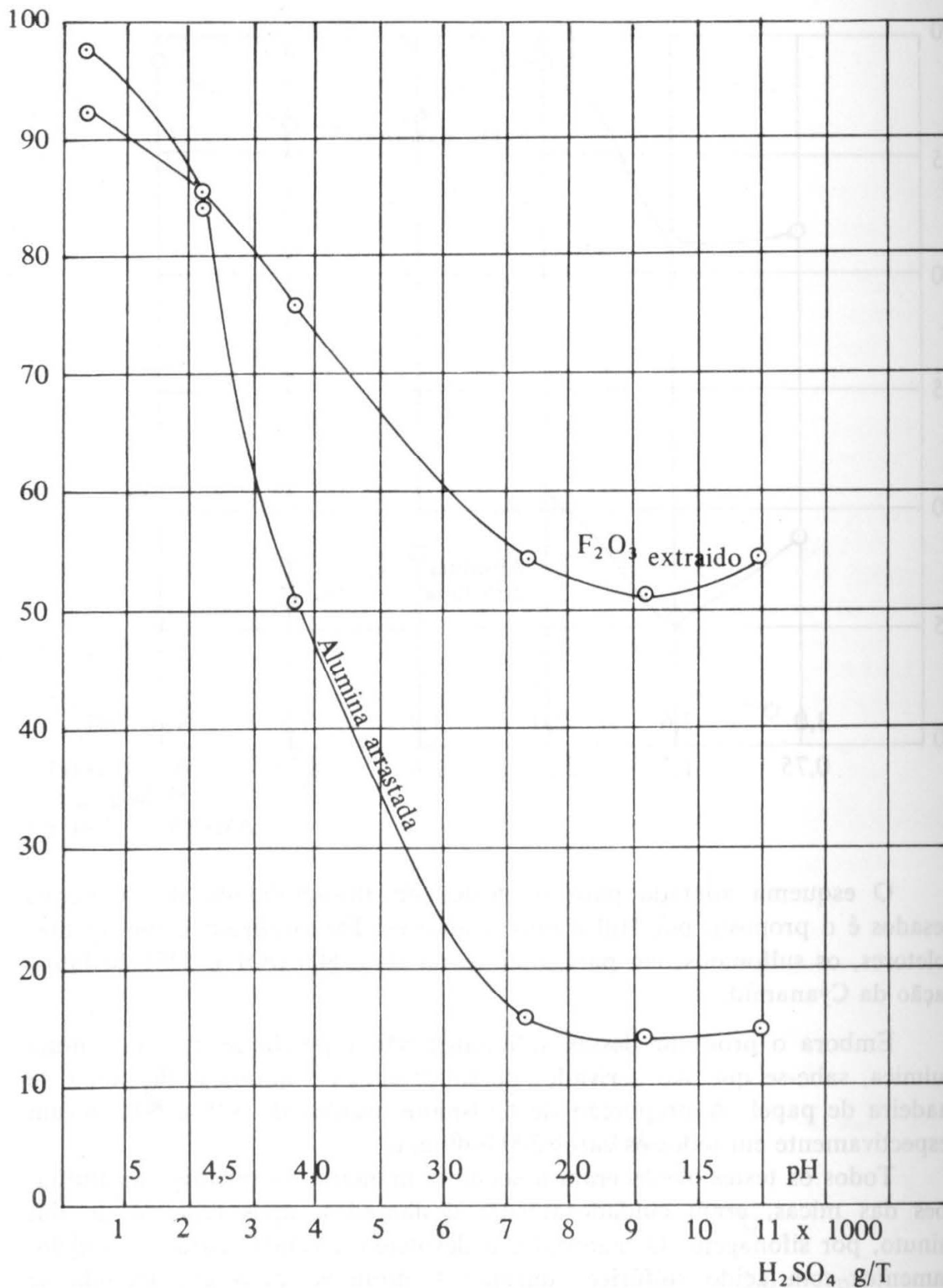
O esquema adotado para os testes da flutuabilidade dos minerais pesados é o proposto por Hill e outros autores. Eles utilizam como agentes coletores, os sulfonatos, em particular os da série 800 (801 e 825) de fabricação da Cyanamid.

Embora o produtor desses sulfonatos não especifique a sua fórmula química, sabe-se que são derivados de subprodutos químicas de polpa de madeira de papel. A proporção de feldspatos usados de 825 e 801, foram respectivamente em todos os casos 300 e 40 g/t.

Todos os testes obedeceram a seguinte maneira: os rejeitos das flutuações das micas, eram cuidadosamente deslamados, após repouso de um minuto, por sifonagem. O material era devolvido à célula, para o condicionamento, com ácido sulfúrico, durante 5 minutos, para em seguida se adicionar os dois sulfonatos e bater-se mais 5 minutos. A flutuação era feita durante 5 a 10 minutos, utilizando-se como espumante o reagente 250 da Dow Chemical na proporção de 20 g/t.



FIGURA 7 – FLUTUAÇÃO DA MICA GRANITO BRAGANÇA-PAULISTA



Para se ter uma idéia dos níveis de distribuição do ferro nos diversos produtos manuseados, é dada a seguir uma média das análises realizadas para cada tipo de granito.

## Granitu Itú

Material	Peso %	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> %	Fe (g)	Conteúdo %
menos 48 mesh	2000 g	1,04	20,4	100,00
Mica (1.º conc.)	123	7,80	9,6	47,0
Mica (2.º conc.)	66	4,62	3,1	15,2
Peaados	26	3,58	0,9	4,4
Feldspatos	933	0,14	1,3	6,4
Quartzo	508	0,10	0,5	2,4
Lamas	344	5,0	5,0	24,0
TOTAL . . . .				99,4

## Alaskito Terra Nova

Material	Peso (g)	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> %	Fe (g)	Conteúdo %
Alimentação	500	1,21	6,05	100,00
Micas	10	11,57	1,16	19,2
Pesados	15	12,21	1,83	30,2
Quartzo	158	0,14	0,22	3,6
Feldspatos	285	0,22	0,63	10,4
Lamas	32	6,76	2,16	35,7
TOTAL				99,1

## Granito Bragança

Material	Peso (g)	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> %	Fe (g)	Conteúdo %
Alimentação	500	2,16	10,8	100,00
Micas	56	9,91	5,55	51,4
Pesados	18	5,75	1,04	9,1
Quartzo	158	0,22	0,35	3,2
Feldspatos	278	0,26	0,69	6,4
Lamas	22	14,41	3,17	29,0
TOTAL				99,6

Vê-se que mais de 50% do ferro contido na rocha original é extraído com as micas, nos casos dos granitos Itú e Bragança. Já no Alaskito Terra Nova, que tem relativamente menos mica (ver Tabela da Composição Mineralógica) e devido o estado de alteração das mesmas, elas são mais extraídas na flutuação dos minerais pesados. Uma grande porcentagem do ferro é eliminada pela lavagem das lamas. Possivelmente na forma de magnetita e óxidos de ferro hidratados, produto da intemperização das micas, principalmente. Daí o fato já por vezes ressaltado, da necessidade de uma cuidadosa deslamagem.

#### Flutuação dos Feldspatos

Os rejeitos das flutuações dos minerais pesados, eram constituídos essencialmente de feldspatos e quartzo, o que pode chamar de uma *areia feldspática* ("feldspatic sand"), resíduos de mica, magnetita e limalha de ferro. Alguns países já comercializam esse produto, após submetê-lo a um separador magnético para eliminar a magnetita e limalha. Normalmente, porém, procede-se a separação entre os feldspatos e o quartzo. Esta operação de flutuação, também de caráter catiônica, utiliza a amina como agente coletor e o ácido hidrófluorídrico como condicionador, cuja atuação ainda é inexplicável. Nas experiências utiliza-se o ácido fluorídrico marca Merck, com densidade  $d = 1,178$  a  $20^{\circ} \text{C}$ .

A marcha executada obedecia o seguinte esquema: os rejeitos da flutuação dos minerais pesados eram cuidadosamente deslamados, manualmente, por sifonagem, bem como desaguado até uns 70% de sólidos. Na própria célula essa polpa densa, recebia uma dose equivalente de 600 g/t de ácido fluorídrico para obtenção de um  $\text{pH} = 2$ . Batido 2 a 3 minutos, adicionava-se a respectiva quantidade de acetato de côco amina, variável de 100 a 200 g/t. Elevado o volume de água normal na célula, adicionava-se cerca de 20 g/t de espumante (metil isobutil carbinol). Aberto a entrada de ar para célula, a formação de espuma é rápida bem como a extração dos feldspatos. Essa separação é na maioria dos casos muito eficiente, provocando mesmo, o arraste de partículas de quartzo. Isso exigirá evidentemente operações de limpeza dos concentrados feldspáticos, para eliminação desse quartzo.

#### CONCLUSÕES: Quadro comparativo geral

Conforme já foi dito, os estudos sobre as diversas rochas, visaram a seleção e escolha dos melhores do ponto de vista essencialmente técnico (processamento). As três rochas escolhidas foram então comparadas por meio dos citados índices ponderados de cada característica. Isso pode ser vista pelo quadro comparativo dado na Fig. 8 da possibilidade de extração dos feldspatos.

*Características Técnicas dos Feldspatos*

Entre as características técnicas dos feldspatos, de maior importância, destacam-se as seguintes:

- a) Distribuição granulométrica
- b) Composição química
- c) Fusibilidade

FIGURA 8 – POSSIBILIDADE DA EXTRAÇÃO DOS FELDSPATOS

Quadro comparativo

	ITÚ	TN	BR
Mica na rocha	-1,40	-1,00	-1,43
Feldspatos na rocha	1,04	1,12	1,00
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> na rocha	-1,69	-1,00	-1,20
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> na rocha	1,00	1,07	1,09
K <sub>2</sub> O/Na <sub>2</sub> O na rocha	1,14	1,00	1,69
Moabilidade	1,40	2,22	1,00
Feldspato – liberação	-1,00	-1,54	-1,59
Ganga – liberação	-1,00	-1,47	-5,07
Mica-flutuabilidade H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> – consumo	-2,46	-1,00	-3,57
Ferro – extração	1,87	1,00	2,08
Alumina – arraste	-1,67	-1,00	-2,03
Amina – consumo	-1,80	-2,00	-1,00
Extração de ferro total	1,35	1,00	1,23
Consumo HF	-1,00	-1,33	-1,00
Consumo – amina – feldspato	-2,67	-1,33	-1,00
Recuperação – feldspatos	1,13	1,00	1,09
<b>TOTAIS</b>	<b>-5,76</b>	<b>-3,26</b>	<b>-6,80</b>

De acordo com esses valores obtidos, conclui-se que as possibilidades da extração dos feldspatos tem a seguinte ordem de importância:

- 1º Alaskito Terra Nova
- 2º Granito Itú
- 3º Granito Bragança-Paulista

Estas tais características podem inclusive definir o campo de aplicação do produto. A indústria vidreira, na fabricação do vidro comum, exige um feldspato com as seguintes características:

#### Granulometria

Mesh	% passante
28	100
200	30 (máximo)

#### Composição Química

Óxido	%
SiO <sub>2</sub>	64,00 a 67,70
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	18,00 a 20,00
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	menor que 0,20
alcalis	13,00 a 16,50

A indústria cerâmica, na fabricação dos corpos básicos não é tão exigente quanto ao teor de ferro, quando posteriormente eles recebem um esmalte opaco. Do ponto de vista da granulometria, é óbvio que, quanto mais fino for o feldspato, melhor, porque o preparo da massa exigirá de qualquer modo uma moagem final (menos 200 mesh).

A distribuição granulométrica dos feldspatos é evidentemente afetada pela exigência do *grau de liberação* dos mesmos, quanto mais fina a granulometria, maior será a proporção de finos (abaixo de 200 malhas) formada. Em consequência disso, os concentrados do granito Bragança tem em média 60% dos grãos abaixo de 74 micras (peneira 200) e os dos granitos Itú e Alaskito Terra Nova cerca de 40%. Portanto na hipótese de fornecimento à indústria vidreira, todos os concentrados deveriam sofrer correções granulométricas.

A composição química é característica fundamental, particularmente em relação aos teores de ferro e a relação dos teores de álcalis. O quadro abaixo fornece valores médios de análises dos concentrados feldspáticos obtidos pela flutuação catiônica.

Óxido	Itú %	TN %	%
SiO <sub>2</sub>	64,8	65,5	65,7
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	20,7	20,1	20,0
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,11	0,20	0,13
TiO <sub>2</sub>	0,03	0,03	0,03
Na <sub>2</sub> O	6,04	6,06	5,33
K <sub>2</sub> O	7,76	7,14	8,07

De acôrdo com essas análises, os três tipos de concentrados seriam aprovados para vidro e cerâmica. A relação  $K_2O/Na_2O$  é respectivamente 1,28; 1,18 e 1,51, destacando-se o concentrado do granito Bragança pelo seu teor mais elevado de  $K_2O$ .

### CONSIDERAÇÕES ECONÔMICAS, PROBLEMAS DE SEGURANÇA DE TRABALHO E POLUIÇÃO

Todos os testes realizados nos levaram ao estabelecimento de 16 índices, determinativos das características tecnológicas das três rochas estudadas. A exclusão de um estudo mais detalhado de muitas rochas, durante a fase seletiva teve, como fator determinante, a viabilidade econômica futura. Principalmente a posição geográfica em relação ao mercado consumidor potencial mais importante: a região da Grande São Paulo. Dando sequência aos estudos de bancada estão sendo realizados estudos ainda em *escala de laboratório*, mas agora de modo *contínuo*. Para isso, o autor e colaboradores montaram um *engenho piloto*, com capacidade de tratar 100 quilos por hora, no próprio Laboratório de Tratamento de Minérios, do Departamento de Engenharia de Minas, da Escola Politécnica da USP. A ordem de importância proposta para as tais rochas estudadas diz respeito ao comportamento das mesmas em relação ao *processo*, e nada dizem da viabilidade econômica.

É bem difícil a obtenção de valores exatos de custos das diversas operações unitárias, que eventualmente compõem o fluxograma de tratamento. Isto porque na fase dos estudos de óxidos pode-se apenas fazer hipóteses. Somente com os dados obtidos nos estudos do Engenho Piloto, poder-se-á fazer um cálculo realístico. Pode-se, todavia, fazer uma estimativa do custo médio operacional, baseado em dados obtidos em engenhos estrangeiros em operação produtiva. Portanto, a tabela dada a seguir, é uma estimativa média desse custo.

#### *Custo por tonelada da concentração de Feldspatos por flutuação:*

item	custo Cr\$	% total
Descarga e Britagem	2,58	13,5
Moagem	4,29	22,4
Flutuação	5,68	29,7
(Reagentes)	(3,30)	(17,2)
Filtragem e Secagem	1,72	9,0
Deposição de rejeitos	0,40	2,0
Vários	4,48	23,4
Total Direto	19,15	100,00

Pode-se incluir no item *vários*, o custo das operações de despoluição das águas do engenho.

Examinando-se essa tabela, ve-se que os custos da cominuição e flutuação, são os de maior importância. Considerando somente os índices relativos a esses dois tópicos na Fig. 8 podemos concluir que: considerando o custo do Alaskito TN como base, então o custo da cominuição do Itú será 37% mais caro e o do BR 55% mais caro ainda. Relativamente ao consumo de reagentes, ainda uma vez mais o TN é o que menos reagentes consumirá, vindo a seguir o BR que consumirá 14% mais que o TN, por último, o Itú com 29% mais que o TN.

A flutuação dos feldspatos, etapa final do processamento, exigirá a utilização de ácido hidrófluorídrico. Este produto químico, tem alto poder corrosivo, podendo provocar queimaduras irreversíveis. Além disso, em temperaturas acima de 20° C, nas concentrações elevadas, evolue normalmente. Isso obrigará a medidas de segurança quanto ao seu armazenamento e manuseio. As bombas dosadoras e tubulações deverão ser construídas de plásticos especiais como: Teflon, Vitron, etc. Geralmente os próprios produtores de ácido fluorídrico poderão auxiliar na solução de tais problemas técnicos.

## DESPOLUIÇÃO

Como consequência das características peculiares do processamento, após cada etapa de flutuação, haverá operações de deslamagens. Duas delas rejeitarão filtrados com pH bem baixo, provocados pela utilização do ácido sulfúrico. A última etapa, vimos, utiliza ácido hidrófluorídrico. Esses rejeitos aquosos, deverão ser tratados antes de sua defecção em área reservada. A agitação e o emprego de neutralizantes, como leite de cal, parece ser a maneira mais eficiente e econômica. De modo geral, deve-se prever o custo das instalações de despoluição que poderá atingir de 10 a 15% do valor do investimento total.

Março, 1.976

*BIBLIOGRAFIA*

- AGOSTI, G.: “Vidrados e Esmaltes”, Cerâmica, S. Paulo, 10(37), março 1.964.
- KERR, P.F.: “Optical Mineralogy”, Mc-Grow Hill Publ. Co., N. York, 1.959.
- UYTENBOGAARDT, W. e BURKE, E.A.J.: “Tables of Microscopic identification of ore minerals”, Sec. Rev. Ed., Amsterdam, Elsevier. 1.971.
- PERKIN ELMER: “Cook Book”.
- SEELEY W. Mudd Series: “Industrial Minerals and Rocks”, Am. Inst. Min. Met. and Petr. Engn., N. York, 1.960, pag. 356.
- HILL, T.E., KENWORTHY, H., RITCHEY, R.H., E GERARD, J.A.: “Separation of feldspar, quartz and mica from granite”, V.S. Bureau of Mines, Rep. Inv. n° 7245.