

CARACTERIZAÇÃO TECNOLÓGICA COM VISTAS AO APROVEITAMENTO DE FELDSPATOS CONTIDOS EM FINOS DE GRANITO

Marcelo Corrêa de Andrade, Adão Benvindo da Luz e Luiz Carlos Bertolino
Avenida. Pedro Calmon, 900, Cidade Universitária. CEP 21941.908 - Rio de Janeiro - RJ
Centro de Tecnologia Mineral - CETEM/MCT
E-mail: mandrade@cetem.gov.br, aluz@cetem.gov.br, Lcbertolino@uol.com.br

RESUMO

Estudos tecnológicos foram realizados para o aproveitamento do feldspato contido em finos de granito gerados durante as etapas de produção de brita para construção civil. Assim, este trabalho teve por objetivo caracterizar e avaliar a viabilidade técnica de utilização da fração abaixo de 4,8 mm, como fonte potencial de feldspato para as indústrias de cerâmica e vidro. Uma amostra representativa foi coletada de uma pilha estoque de finos de granito da pedreira Convem Mineração Ltda, no município de Magé, Estado de Rio de Janeiro.

Os finos de brita da Convem Mineração foram caracterizados, como um granito, possuindo uma composição mineralógica média: albite 35%, microclínio 14%, anortita 3%, biotita 14% e quartzo 33%. O feldspato está representado pela albite (sódico), microclínio (potássico) e a anortita (cálcica). A sílica apresenta-se sob a forma de quartzo e o ferro na de biotita. Visando definir uma rota de beneficiamento para o feldspato, optou-se pela rota de flotação seguida de separação magnética. Os ensaios revelaram ótima recuperação tanto em massa quanto em teor de álcalis, enquadrando os produtos dentro das especificações para as indústrias de cerâmica e vidro.

Palavras chaves: feldspato, caracterização e flotação.

ABSTRACT

Technological studies have been carried out aiming at recovering feldspar contained in fine granite obtained from the production of crushed rock for building activities. Thus this work has been conducted in order to characterize and evaluate the technical feasibility of using the - 4,8 mm size fraction as a potential source of feldspar for ceramic and glass industries. A representative sample has been collected from a stock pile of fine granite from Convem Mineração Ltda., at Magé County, in Rio de Janeiro.

Quarry fines from Convem Mineração Ltda has been characterized as containing 35,0% albite, 14,0% microcline, 3% anortite, 14% biotite and 33,0% quartz (% mass). Feldspar is found in albite (Na), microcline (K) and anortite (Ca). Flotation tests carried out on such fines brite have shown promising mass recovery and high alkali content in products, placing them within the specifications for ceramic and glass industries.

Key words: feldspar, characterization and flotation

1. INTRODUÇÃO

O Brasil apresenta, em seus mais de 8,5 milhões de km², uma grande diversidade de solos e formações geológicas, que lhe conferem o *status* de possuidor de um dos maiores potenciais minerais do mundo. Esta característica, internacionalmente reconhecida, é de certa forma refletida na importância e na variedade da produção mineral brasileira, que tem grande destaque internacional: o Brasil é um dos principais produtores de minerais do mundo e registra, oficialmente, a produção de 83 substâncias minerais diferentes, apesar de, até o momento, haver explorado predominantemente depósitos superficiais e sub-afflorantes (Anuário Mineral Brasileiro, 2000-2001).

No entanto, a produção de minerais industriais, se comparada a padrões internacionais, pode ser classificada como pequena e meramente extrativa, haja visto que somente são produzidos insumos minerais de pouco valor agregado e qualidade às vezes inferior aos produtos de outros países. O setor, de uma maneira geral, é caracterizado por mineradores de pequeno porte, onde é comum a prática de exploração manual ou semimecanizada, seja através de empresas ou garimpagem.

Dentre os principais minerais industriais produzidos no Brasil, destaca-se o feldspato pela diversidade do uso. A produção brasileira de feldspato é proveniente das rochas pegmatíticas, principalmente da Província do Seridó - Borborema, nos estados da Paraíba e Rio Grande do Norte. O feldspato pertence ao grupo dos aluminossilicatos de potássio, sódio, cálcio e mais raramente bário, sendo que o primeiro tem grande aplicação na indústria de cerâmica, particularmente na produção de pisos e revestimentos e de vidro (Luz e Coelho, 2005).

Por serem oriundos de rochas graníticas, os finos gerados na produção de brita apresentam a mesma composição mineralógica dessas rochas, que são constituídas essencialmente, de feldspatos, quartzo e micas. Esses finos de pedreira após beneficiamento, podem gerar produtos com maior valor agregado, os quais podem ser utilizados pelas indústrias de cerâmica e vidro.

A pedreira Convem Mineração Ltda processa, mensalmente, em torno de 40.000 m³ de granito para produção de britas. Durante o processo de britagem são produzidos cerca de 10.000 m³ de finos (< 4,8 mm). Atualmente, esses finos produzidos são destinados à produção de arcia artificial e empregados como insumo em misturas asfálticas.

2. METODOLOGIA

Os trabalhos de amostragem foram realizados no pátio estoque da pedreira Convem Mineração Ltda, no município de Magé, estado do Rio de Janeiro, na pilha de estoque da fração fina produzida durante as etapas da britagem do granito. Foram coletadas amostras representativas de vários pontos da pilha, totalizando 300 kg a qual, foi acondicionada em tambores e enviada para o CETEM.

A amostra foi homogeneizada em homogeneizador rotativo tipo "Y" e, em seguida, foi distribuída em uma pilha longitudinal, de seção triangular, da qual foram retiradas alíquotas de 20 kg. A seguir, as alíquotas de 20 kg foram homogeneizadas, novamente, em misturador (homogeneizador) rotativo do tipo "Y" e distribuída em pilha longitudinal, de seção triangular, da qual foram retiradas alíquotas de 1kg.

As alíquotas de 1kg foram utilizadas para realizar a caracterização tecnológica da amostra, constando de análise granulométrica, análise química, análise mineralógica (difração de raios-X e MEV), determinação do grau de liberação e ensaios moagem. Para realização dos ensaios de flotação, houve uma adequação quanto a granulometria.

Os ensaios de flotação foram executados seguindo os procedimentos normais para ensaios em laboratório e para tal foi utilizada uma célula do tipo *Denver*, subaerada, modelo D12, rotação de 900 rpm. Nos dois primeiros estágios da flotação, optou-se pela flotação reversa, sendo flotado a mica no primeiro estágio e os minerais portadores de ferro, no segundo. Para a realização dos ensaios foram usados 3 L de polpa com 40% de sólidos.

A primeira etapa da flotação, como apresentado na Tabela I, destina-se a remoção das micas. O primeiro condicionamento para flotar a mica foi realizado com a polpa a 40% de sólidos. O pH inicial da polpa é de 7,5, ajustado para 3,00 com ácido sulfúrico a 10% V/V. A seguir adicionou-se 400 g/t de amina (aero promoter 3000c) e 0,126 g/t de óleo combustível (óleo diesel), e condicionou-se por 4 minutos. Após 4 minutos adicionou-se 0,126 g/t de α -terpineol (óleo de pinho puro) e condicionou-se a polpa por 2 minutos. Após as etapas de condicionamento, a flotação da mica foi realizada por 6 minutos.

Tabela I. Condições experimentais para a flotação da mica (moscovita).

1ª Etapa – Flotação da Mica	
Ajuste de pH = 3,0 (solução de H ₂ SO ₄ a 10%)	
Aero promoter 3000c (solução a 10%)	400 g/t
Óleo combustível (diesel)	0,126 g/t
Condicionamento	4 minutos
α -terpineol (óleo de pinho)	0,126 g/t
Condicionamento	2 minutos
Flotação	6 minutos

Para remoção dos minerais de ferro, foi realizado apenas um condicionamento, seguido da flotação. As condições da etapa de flotação dos minerais portador de ferro estão apresentadas na Tabela II. O condicionamento da polpa ocorreu no pH 3,00 ajustado com ácido sulfúrico, utilizando 800 g/t de sulfonato de petróleo (aero promoter 801), diluído em solução de 10%. Após o condicionamento por 4 minutos, realizou-se a flotação dos minerais portadores de ferro, por 5 minutos.

Tabela II. Condições experimentais para a flotação dos minerais de ferro.

2ª Etapa – Flotação dos Minerais Portadores de Ferro	
Ajuste de pH = 3,0 (solução de H ₂ SO ₄ a 10%)	
Aero promoter 801 (solução a 10%)	800 g/t
Condicionamento	4 minutos
Flotação	5 minutos

Na separação dos feldspatos, o pH da polpa foi ajustado para 2,5 com ácido fluorídrico diluído a 2%. O primeiro condicionamento ocorreu após a adição de 600 g/t de amina (aero promoter 3000c) e 126,4 g/t de óleo combustível (óleo diesel), durante 4 minutos. O segundo condicionamento ocorreu durante 2 minutos, com adição de 144,3 g/t de α -terpineol (óleo de pinho puro). A flotação do feldspato foi realizada durante 3 minutos (Tabela III).

Tabela III. Condições experimentais para a flotação dos minerais de feldspato.

3ª Etapa – Flotação do Feldspato	
Ajuste de pH = 2,5 (solução HF a 2%)	
Aero promoter 3000c (solução 10%)	600 g/t
Óleo combustível (diesel)	126,4 g/t
Condicionamento	4 min
α -terpineol (óleo de pinho)	144,3 g/t
Condicionamento	2 minutos
Flotação	3 minutos

Os concentrados de feldspato e areia feldspática obtidos por flotação, foram submetidos a uma etapa de purificação, para remoção do ferro residual, através de separação magnética. Nesta etapa utilizou-se um separador magnético de rolo de terras raras, modelo RE-ROLL, fabricado pela INBRAS. As regulagens de inclinação das aletas de corte foram: 45° para o corte do material magnético e de 15° para o material não-magnético. A velocidade do rotor foi de 240 rpm e a taxa de alimentação de 20 kg/h.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A caracterização mineralógica das amostras foi realizada por difração de raios X e fluorescência de raios X. Estas técnicas permitiram o cálculo aproximado da composição mineralógica das amostras. Por meio do difratograma de raios X (Figura 1) foram identificados o quartzo, albita, anortita, microclínio e biotita como os principais minerais dos finos de granito.

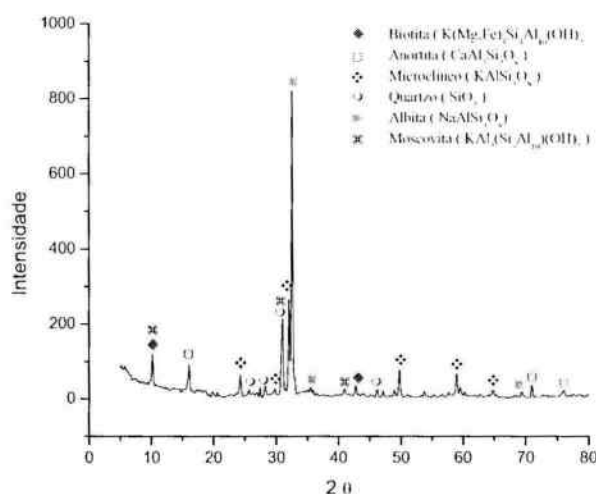


Figura 1. Difratoograma de raios X da alimentação (granito Suruí) da Pedreira Convem.

A composição química de cada uma das frações granulométricas da amostra foi determinada por fluorescência de raios X. A seguir foram obtidos os teores calculados e analisados da alimentação (Tabela IV), sendo os valores obtidos das duas análises muito próximos, o que demonstra a coerência das análises químicas.

Tabela IV. Composição química das frações granulométricas e da alimentação da amostra.

Fração (μm)	Peso (%)	Distribuição dos elementos por fração (%)					
		Na ₂ O	K ₂ O	CaO	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	SiO ₂
4750	2,08	4,4	4,0	1,0	12,5	1,2	76,0
3350	0,37	4,4	4,0	0,7	12,3	1,2	76,0
2360	12,86	4,4	4,2	0,6	12,5	1,1	76,0
1700	12,16	4,0	4,2	0,6	11,7	1,3	77,0
1180	8,83	3,5	4,0	0,6	10,9	1,0	79,0
850	5,92	3,5	3,9	0,5	10,5	1,0	80,0
590	8,74	3,6	3,7	0,5	10,9	0,9	79,0
420	13,86	4,1	3,8	0,5	12,0	0,9	78,0
297	7,50	4,8	4,0	0,6	13,0	0,9	76,0
210	6,13	4,0	4,0	0,7	13,7	1,2	74,0
149	6,15	4,1	4,1	0,8	14,1	1,3	73,0
105	3,80	4,2	4,2	0,9	14,7	1,2	72,0
74	3,26	4,3	4,3	1,0	14,7	1,2	72,0
53	1,33	4,4	4,4	0,9	15,1	1,1	72,0
44	1,06	4,5	4,5	1,0	15,3	1,1	71,0
37	0,95	4,5	4,5	1,0	15,3	1,2	71,0
-37	4,99	4,5	4,5	1,1	15,5	2,3	68,2
Teor calculado	-	4,1	4,1	0,7	12,5	1,1	76,0
alimentação (analisado)	100,00	4,0	4,0	0,7	12,7	1,2	76,0

O teor médio de álcalis (Na₂O + K₂O) na amostra analisada foi 8,0% e o calculado de 8,2%. O teor de Fe₂O₃ analisado foi de 1,2% e calculado de 1,1%. O teor da sílica (SiO₂) analisado e calculado foi de 76%.

Com relação ao teor de álcalis, observa-se uma distribuição uniforme por todas as frações granulométricas, descartando a possibilidade de uma pré-concentração do feldspato, por classificação granulométrica. Os teores de Fe_2O_3 e SiO_2 também apresentam pouca variações nas frações granulométricas.

Verifica-se ainda na Tabela IV, que o teor de álcalis (8,0%) encontra-se abaixo das especificações exigidas pela indústria cerâmica, que é maior que 12%, sendo necessário um beneficiamento para atingir esse valor. O teor de Fe_2O_3 (1,2%) na amostra (alimentação) também se encontra acima das especificações, que é menor que 0,5% para massas cerâmicas e 0,1% para sua utilização no recobrimento (esmalte).

am A composição mineralógica da amostra foi determinada por cálculos estequiométricos e com base nas análises químicas (Tabela IV), fazendo-se as seguintes considerações: i) o quartzo foi calculado a partir de SiO_2 não consumido pelos minerais albita, anortita, k-feldspato e biotita; ii) todo o Ca pertence a anortita; iii) todo o Na pertence a albita; iv) provavelmente o Fe_2O_3 e H_2O estão associados a biotita; v) o K_2O não utilizado pela biotita foi calculado como k-feldspato. A Tabela V apresenta os resultados da composição mineralógica da amostra, que deu origem à Tabela VI, onde são apresentados os resultados dos cálculos médios da composição mineralógica da amostra.

Tabela V. Composição mineralógica das frações granulométricas dos finos do granito Suruí.

Fração (μm)	Distribuição (% peso) dos minerais por fração granulométrica				
	Quartzo (1)	Albita (2)	Anortita (3)	Biotita (4)	K-feldspato (5)
4750	16	46	5	17	16
3350	16	47	4	13	20
2360	17	46	3	14	20
1700	24	40	3	14	18
1180	32	35	3	12	18
850	33	35	3	10	19
590	30	38	3	10	19
420	21	45	3	11	20
297	13	51	3	12	20
210	20	43	4	15	19
149	17	44	5	17	18
105	14	45	5	18	18
74	13	45	5	19	18
53	11	46	5	19	18
44	9	48	6	19	19
37	9	48	6	19	19
-37	21	41	5	15	17
Amostra	33	35	3	14	14

Tabela VI. Composição mineralógica aproximada da amostra dos finos do granito Suruí.

Mineral	Fórmula	Teor (%)
Albita	$\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$	35
Microclínio	KAlSi_3O_8	14
Anortita	$\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$	3
Biotita	$\text{K}(\text{Mg,Fe})_3\text{Si}_3\text{AlO}_{10}(\text{OH})_2$	14
Quartzo	SiO_2	33
Outros	-	1

O feldspato está representado pela albita (sódico), microclínio (potássico) e a anortita (cálcica). O ferro encontra-se na forma de biotita e a sílica na forma de quartzo.

Os resultados dos ensaios de flotação revelaram uma recuperação em massa de 27,65% no concentrado de feldspato e de 59,24% no concentrado de areia feldspática. O balanço de massa e metalúrgico dos produtos de interesse comercial obtidos na última etapa da flotação, encontram-se na tabela VII.

Tabela VII. Balanços de massa e metalúrgico dos produtos da última etapa da flotação.

Produtos	Peso (%)	Teor (%)				Distribuição (%)			
		Na ₂ O	K ₂ O	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	Na ₂ O	K ₂ O	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃
Feldspato	31,82	6,6	5,1	18,2	1,9	46,11	43,43	44,03	34,28
Areia Feldspática	68,18	3,6	3,1	10,8	1,7	53,89	56,57	55,97	65,72
Total	100,00	4,55	3,74	13,15	1,76	100,00	100,00	100,00	100,00

A partir do concentrado de flotação do feldspato, foi obtida imagem pela microscopia eletrônica de varredura (Figura 2). Pode-se notar uma morfologia característica dos cristais de feldspato, confirmando a eficiência da flotação para recuperação dos feldspatos.



Figura 2. Micrografia obtida por microscopia eletrônica de varredura (MEV/SE) do concentrado de feldspato.

Após o processo de concentração por flotação, pode-se observar um aumento no teor de álcalis (Na₂O + K₂O) de 8,0% na amostra para 11,7%, no concentrado de feldspato. O teor de Fe₂O₃ encontra-se fora da especificação exigida pela indústria de cerâmica, sendo necessária mais uma operação unitária para a remoção da biotita e, portanto diminuir o teor de Fe₂O₃. Para tal, foram realizados ensaios de separação magnética para a remoção do ferro, cujos resultados são apresentados na tabela 8.

Tabela VIII. Balanços de massa e metalúrgico dos produtos após a etapa de separação magnética.

Produtos	Peso (%)	Teor (%)				Distribuição (%)			
		Na ₂ O	K ₂ O	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	Na ₂ O	K ₂ O	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃
Feldspato	26,27	6,6	5,1	18,2	0,17	39,51	36,95	37,51	40,22
Areia Feldspática	73,73	3,6	3,1	10,8	0,09	60,49	63,05	62,49	59,78
Total	100,00	4,39	3,63	12,74	0,11	100,00	100,00	100,00	100,00

Pode-se observar que o ensaio de separação magnética proporcionou uma diminuição no teor de Fe_2O_3 de 1,9% na alimentação para 0,17% no concentrado de feldspato, adequando o produto para a indústria de cerâmica.

A areia feldspática é um subproduto de interesse comercial, pois além de apresentar próximo de 7% de álcalis, contém baixos teores de ferro (0,09%) e se enquadra dentro das especificações da indústria de cerâmica e vidro. Os ensaios de separação magnética apresentaram uma diminuição no teor de Fe_2O_3 de 1,7% para 0,09%, considerada significativa.

O processo utilizado para o beneficiamento do granito Suruí, resultou numa recuperação em massa final de 18,08% no concentrado de feldspato e de 50,76% do concentrado da areia feldspática.

4. CONCLUSÕES

Em função dos dados apresentados neste estudo, pode-se afirmar que o processo de beneficiamento proposto para obtenção do feldspato e areia feldspática a partir dos finos do granito Suruí, é promissor. O processo de concentração do feldspato elevou o teor de álcalis de 8,0% para 11,7 %. O teor de Fe_2O_3 foi diminuído por separação magnética, atendendo as especificações da indústria cerâmica e de vidro. A areia feldspática é um subproduto que ao ser submetido ao processo de separação magnética, também se adequou às especificações requeridas pela indústria de cerâmica e vidro.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Anuário Mineral Brasileiro. Brasília: DNPM, 1993 a 1997, 2000, 2001, 2004 e 2005.

LUZ, A. B.; COELHO, J. M. Feldspato. In: Rochas & Minerais Industriais, Centro de Tecnologia Mineral - CETEM, Rio de Janeiro, p. 413-430, 2005.

SEKULIĆ, Ž.; CANIĆ, N.; BARTULOVIĆ, Z.; DAKOVIĆ, A. Application of different collectors in the flotation concentration of feldspar, mica and quartz sand, *Mineral Engineering* nº17. p.77-80, 2004

TANNO, L. C. MOTTA, J. F. M., Panorama Setorial - **Minerais Industriais**, Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo - IPT. São Paulo, 2000.