

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS – UFG
REGIONAL CATALÃO – CAC
ESPECIALIZAÇÃO EM TRATAMENTO DE MINÉRIOS**

SILVIO DIVINO CAROLINA

**OBTENÇÃO DE FEDSPATO A PARTIR DE REJEITOS
DO GRANITO MARROM-GUAÍBA– RS.**

CATALÃO GO

2016

SILVIO DIVINO CAROLINA

**OBTENÇÃO DE FEDSPATO A PARTIR DE REJEITOS
DO GRANITO MARROM-GUAÍBA – RS.**

Monografia apresentada ao curso de Especialização em Tratamento de Minérios da Universidade Federal de Goiás – UFG, como requisito parcial para obtenção do título de Especialista em Tratamento de Minérios.

Orientador: Prof Dr André Carlos Silva

UFG – Regional Catalão

Abril 2016

**OBTENÇÃO DE FEDSPATO A PARTIR DE REJEITOS
DO GRANITO MARROM-GUAÍBA– RS.**

Autor: SILVIO DIVINO CAROLINA

Monografia apresentada em seção pública e aprovada, em 27/04/2016, ao curso de Especialização em Tratamento de Minérios da Universidade Federal de Goiás – UFG, como requisito parcial para obtenção do título de Especialista em Tratamento de Minérios.

Prof Dr André Carlos Silva – UFG.

Profa. MSc. Rita de Cássia Pedrosa Santos –UFG.

Profa. Débora Nascimento Sousa –IF Goiano

AGRADECIMENTOS

Agradeço minha família e amigos, filhas, neto, a meu pai “in memoriam” e em especial a minha mãe de enorme compreensão, dedicação e amor.

E também a todos aqueles, cuja contribuição direta ou indireta, foi fundamental para a realização desse trabalho.

RESUMO

Este estudo tem por objetivo obtenção de feldspatos dos rejeitos da lavra da extração de rochas ornamentais da Mineração Serra Geral, denominado comercialmente de Granito Marrom-Guaíba, do distrito de Piquiri, município de Cachoeira do Sul, do Estado do Rio Grande do Sul. Tem potencial elevado de aplicação na indústria cerâmica, por ser uma rocha alcalina rica em feldspato de potássio e sódio. Mas os minerais contendo ferro na sua composição são considerados contaminantes. As etapas foram preparação e moagem das amostras, análises químicas e difratométricas, concentração por separação magnética e flotação. Trata-se de uma rocha com composição mineralógica média em massa de 58,0% de microclínio e plagioclásio, com 8,4% de quartzo e outros minerais contendo ferro como magnetita e a hornblenda. Os resultados mostraram que a separação magnética possibilitou reduzir o teor de Fe_2O_3 de 3,2 para 0,4% e aumentar o teor de álcalis de 10,2 para 11,8%. A flotação proporcionou pequeno acréscimo nos teores de feldspatos de 66,4 para 67,8% em média e diminuiu o teor de quartzo de 8,4 para 3,9%. A amostra corresponde à rocha ígnea, classificada petrograficamente como quartzo álcali-feldspato sienito.

PALAVRAS-CHAVE: Granito, sienito-feldspato, separação magnética, flotação, indústria cerâmica.

ABSTRACT

This study aims to feldspars use of natural stone extraction of mining tailings Mining Serra Geral, commercially known as Marron-Guaíba Granite, Piquiri district in the city of Cachoeira do Sul, from the Rio Grande do Sul State. It has high potential for application in the ceramic industry, being a rich alkaline rock in potassium and sodium feldspars. However, the minerals containing iron in its composition are considered contaminants. The steps were the preparation and grinding of the samples, chemical analysis and analysis difratométricas, magnetic separation and flotation. It is a rock with average mineralogical composition by mass of 58% of microcline and plagioclase, with 8.4% quartz and other minerals containing iron as magnetite and hornblende. The results show that the magnetic separation possible to reduce the Fe_2O_3 content of 3.2 to 0.4% and increasing the alkali content of 10.2 to 11.8%. Flotation provided small increase in feldspar content of 66.4 to 67.8% on average and decreased the quartz content of 8.4 to 3.9%. The sample corresponds to the igneous rock, petrographically classified as alkali-feldspar syenite quartz.

KEYWORDS: Granite, sienite, feldspar, magnetic separation, flotation, ceramic industry.

Sumário

1. INTRODUÇÃO	1
2. OBJETIVOS	3
2.1 Objetivo geral	4
2.2 Objetivos específicos.....	4
3. JUSTIFICATIVA	5
4. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	6
4.1 – Caracterização da fonte do rejeito	6
4.2 – Flotação	6
4.3 – Separação magnética	9
5. METODOLOGIA	12
5.1 – Preparação da amostra.....	12
5.2 – Ensaio de moagem	12
5.3 – Ensaio de separação magnética	12
5.4 – Ensaio de flotação	13
5.5 – Análises químicas e petrográfica.....	13
6. RESULTADOS E DISCUSSÃO	14
6.1 – Ensaio de moagem e granulometria.....	14
6.2 – Ensaio de separação magnética	15
6.3 – RESULTADOS DAS ANÁLISES QUÍMICAS	16
6.3.1 – Teores de quartzo.....	16
6.3.2 – Análises químicas amostra cabeça	17
6.3.3 – Análises químicas dos produtos magnéticos	17
6.3.3 – Análises químicas do produto não magnético	18
6.3.4 – Análises químicas do concentrado da flotação.....	19
6.3.4 – Análises químicas do rejeito da flotação	19
7 – REUSULTADOS DA ANÁLISE PETROGRÁFICA	20
7.1 – Estudo petrográfico	20
7.2 – Descrição macroscópica.....	21
7.3 – Descrição microscópica.....	21
8 - RESULTADOS DA DIFRATOMETRIA DE RAIOS-X	23
8.2 – Difratoograma do produto paramagnético.	24
9 – RESULTADOS DA FLOTAÇÃO	25

10. CONCLUSÃO	26
11. REFÊRENCIAS.....	27

Fluxograma 01:	03
----------------------	----

LISTA DE FIGURAS

Figura 01: Fotografia da pedreira Marron-Guaíba.....	02
Figura 02: Célula de flotação	04
Figura 03: Separador isodinâmico Frantz.	08
Figura 04: Distribuição granulométrica dos produtos da moagem e alimentação.....	16
Figura 05: Separação magnética das moagens 5, 10 e 15 minutos.....	16
Figura 06: imagem do produto paramagnético	18
Figura 07: imagem do produto diamagnético	19
Figura 08: Diagrama QAPF	20
Figura 09: Análise petrográficas A e B.....	21
Figura 10: Análise petrográficas C e D.....	22
Figura 11: Análise petrográficas E e F	22
Figura 12: Análise petrográficas G e H	23
Figura 13: Difratoograma do produto final não magnético	23
Figura 14: Difratoograma do produto final magnético	24
Figura 15: Difratoograma do produto magnético em imã de Ferrita.....	24

LISTA DE TABELAS

Tabela 01: Feldspato de potássio: fórmula $KAlSi_3O_8$	14
Tabela 02: Feldspato de sódio: fórmula $NaAlSi_3O_8$	14
Tabela 03: Análises granulométricas da amostra cabeça e nos três tempos de moagens	15
Tabela 04: Separação magnética da moagem 5, 10 e 15 min.	16
Tabela 05: Teor de quartzo em %.	17
Tabela 06: Análises químicas da amostra cabeça	17
Tabela 07: Análises químicas produto paramagnético.....	17
Tabela 08: Análises químicas produto diaamagnético.....	18

Tabela 09: Análises químicas do concentrado da flotação.....	19
Tabela 10: Análises químicas do rejeito da flotação.....	10
Tabela 11: Resultados da flotação	25

ANEXOS:

Tabela 12: Análises químicas da amostra cabeça	29
Tabela 13: Análises químicas do produto paramagnético	29
Tabela 14: Análises químicas do produto diamagnético.	30
Tabela 15: Análise química do concentrado da flotação	30
Tabela 16: Análise química do rejeito da flotação.....	31

1. INTRODUÇÃO

O Brasil possui uma das maiores reservas mundiais de granitos, e a lavra extensiva dos mesmos gera um volume expressivo de resíduos, superior a 50 % do material extraído, o qual provoca um grande impacto ambiental. Em virtude de suas características mineralógicas e petrográficas, alguns granitos apresentam concentrações expressivas de feldspato e quartzo passíveis de recuperação e utilização na indústria cerâmica (Dutra, 2006).

A produção bruta de feldspato proveniente de lavras regulares pelo DNPM em 2014 foi de 320.048 t, o que representou uma queda de 2,4% em relação ao ano anterior. O Estado do Paraná foi responsável por 54,8 % da produção bruta, seguido por Santa Catarina (15,7 %), Paraíba (11,5 %), Rio Grande do Norte (6,2%), Minas Gerais (6,1%), Bahia (5,0%), São Paulo (0,5 %) e Pernambuco (0,2 %). A produção beneficiada totalizou 294.357 t.

A produção mundial de feldspato em 2013 atingiu aproximadamente 22,96 milhões de toneladas e os maiores produtores foram: Turquia (30,5 %), Itália (20,5 %), China (9,1 %), Tailândia (4,8 %), França (2,8 %), Irã (2,8 %), Japão (2,6 %), Espanha (2,6 %), e Índia (2,3 %) e Brasil 1,2 %. A importação e exportação foram menores que 1.000 t. (DNPM, 2014).

Uma das principais características exigidas dos feldspatos é o teor dos minerais portadores de ferro (óxidos ou silicatos) os quais são considerados contaminantes, quando acima de 0,5 %, pois promovem a coloração escura e outras irregularidades, sendo, portanto nocivos aos processos de produção da indústria cerâmica.

A utilização dos processos de tratamento mineral como a separação magnética e flotação, em escala laboratorial, foca na redução dos teores dos minerais portadores de ferro, para obtenção de concentrado de feldspato de alta pureza, de valor agregado, adequado à indústria cerâmica e vidro.

As especificações requeridas na indústria cerâmica exigem um teor de Fe_2O_3 abaixo de 0,5% para massas cerâmicas, e para utilização no recobrimento, como esmalte (frita), menor que 0,1%. O conteúdo de álcalis ($\text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O}$) deve ser acima de 12%. (França, et al, 2002).

As indústrias de cerâmica e vidro são os principais consumidores de feldspato no Brasil. Na indústria cerâmica o feldspato atua como fundente (diminuindo a temperatura de fusão), além de

fornecer SiO_2 . Na fabricação de vidros o feldspato é utilizado também como fundente e fonte de alumina (Al_2O_3), álcalis (Na_2O e K_2O) e sílica. (Sumário Mineral, DNPM, 2014).

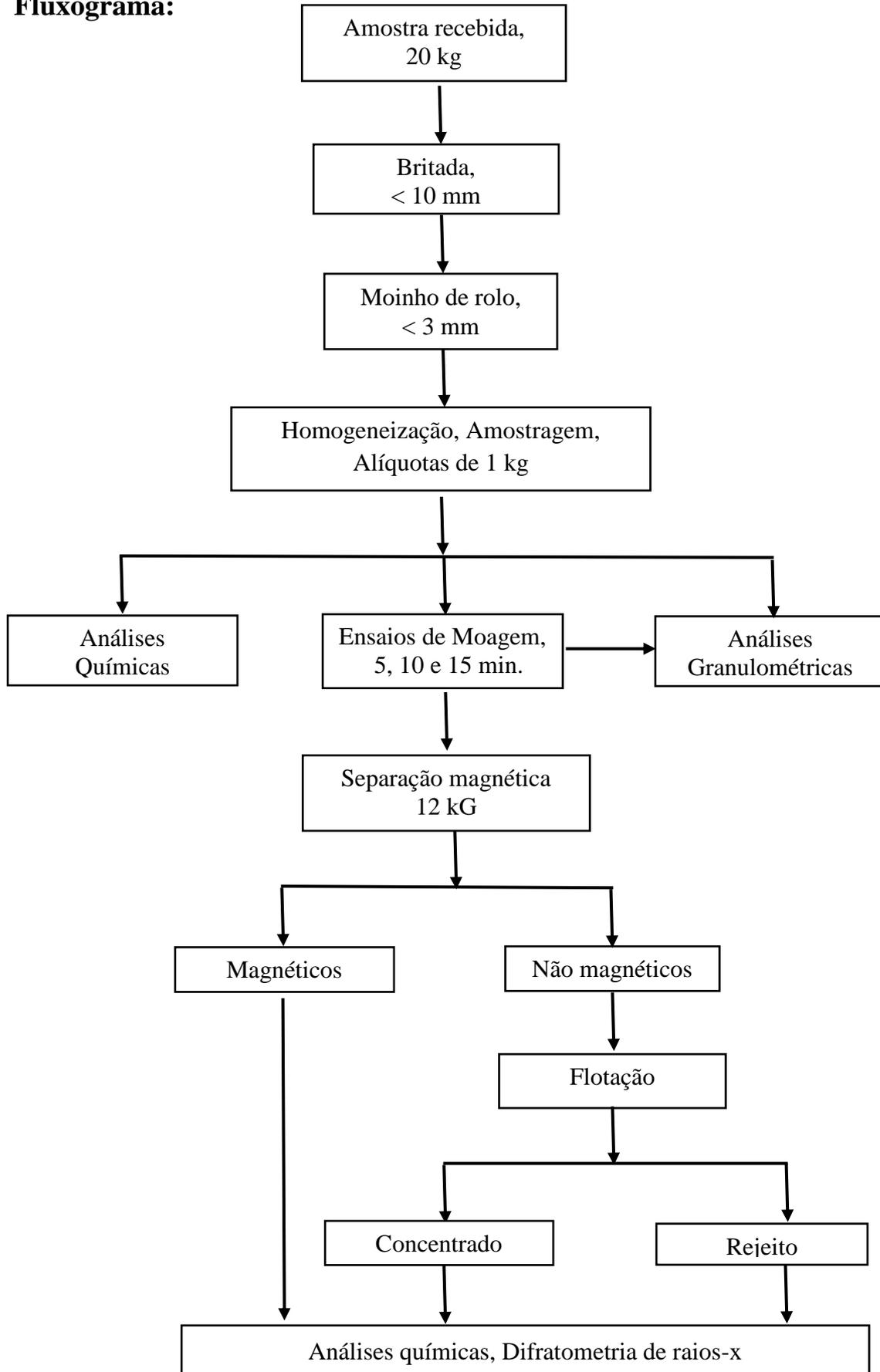
As exigências da indústria cerâmica são bastante diversificadas, uma vez que dependem do tipo de material a ser produzido. Por exemplo, na produção de louça branca, o teor máximo de ferro tolerável, expresso em Fe_2O_3 é 0,1%. Entretanto, se a alvura não for importante, o que ocorre nos casos em que o corpo receberá pigmentação colorida posterior, esse teor pode chegar a 2 ou 3% de Fe_2O_3 . Quanto a granulometria, de um modo geral, o feldspato destinado à indústria cerâmica deve-se apresentar menor que $0,074 \mu\text{m}$, pois o seu poder fundente é inversamente proporcional à sua granulometria (ALAMADA e VLEEK, 2000).

Figura 01: Fotografia da pedreira Marrom-Guaíba



Fonte: Sousa, et al, 2002

Fluxograma:



2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Este estudo tem por objetivo o aproveitamento dos rejeitos da lavra da extração de rochas ornamentais da Mineração Serra Geral, denominado comercialmente de Granito Marrom-Guaíba, do distrito de Piquiri, município de Cachoeira do Sul, do Estado do Rio Grande do Sul para produção de feldspato como insumo para utilização na indústria cerâmica.

2.2 Objetivos específicos

As etapas seguidas neste trabalho foram:

1. Caracterizar os rejeitos provenientes da lavra
2. Concentrar os feldspatos
3. Minimizar o impacto ambiental

3. JUSTIFICATIVA

O Brasil possui uma das maiores reservas mundiais de granitos, e a lavra extensiva dos mesmos gera um volume expressivo de resíduos, superior a 50 % do material extraído, o qual provoca um grande impacto ambiental. Em virtude de suas características mineralógicas e petrográficas, alguns granitos apresentam concentrações expressivas de feldspato e quartzo passíveis de recuperação e utilização na indústria cerâmica (DUTRA, 2006).

A recuperação e a comercialização dos rejeitos de mineração estão entre as possíveis soluções tecnológicas para minimizar o impacto ambiental desses materiais ou mesmo pelo declínio dos teores de concentração nas jazidas de diversos minerais e as consequentes oportunidades de aproveitamento dos rejeitos.

O montante de rejeitos gerados nos processos de produção de substâncias minerais pode ser estimado a partir da diferença entre a produção bruta e a produção beneficiada. Em se tratando da extração de rochas ornamentais como granitos, sienito e outros, a quantidade de rejeitos gerados é superior a 50% e em muitos casos chegam a 80%.

Devido a essas concentrações elevadas de feldspatos presentes em muito desses rejeitos, estudos podem ser feitos com a possibilidade de obtenção de produtos dentro das especificações comerciais para a aplicação na indústria cerâmica e vidro, entre outros usos.

Outro fator relevante é o preço médio do feldspato, em 2013, o valor de venda do feldspato beneficiado no Brasil foi de R\$ 135,56/t (FOB) e para exportação US\$347,36/t (FOB). (DNPM, 2014).

4. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

4.1 – Caracterização do rejeito Marron-Guaíba

O granito Marron-Guaíba trata-se de nome comercial e é também conhecido por Sienito Piquiri, município de Cachoeira do Sul, do distrito de Piquiri, do Estado do Rio Grande do Sul.

Trata-se de uma rocha com composição mineralógica média em massa de 58% de microclínio e plagioclásio, com 8,4% de quartzo e outros minerais contendo ferro como magnetita e a hornblenda.

O Sienito Piquiri é uma intrusão ígnea, com idade mínima de 570 Ma, localizada a cerca de 50 km ao sul da cidade de Cachoeira do Sul. Ocupa uma área aproximada de 120 km². Estas rochas são usadas como pedra ornamental e produtos de exportação. Os constituintes mineralógicos são: feldspato alcalino, plagioclásio, anfibólio, piroxênio, quartzo, biotita, titanita, apatita, magnetita e ilmenita. (Stabel, et al, 1998).

4.2 – Flotação

O processo de flotação atua geralmente nas interfaces água/ar e água/óleo (pouco utilizado), para realizar a separação entre os minerais de interesse. Diversas outras interfaces têm sido estudadas, como a interface água+álcool/ar e água/plástico na tentativa da descoberta de outras aplicações, sendo assim, o sistema de interfaces origina o nome do processo de flotação. Flotação por Espumas (*Froth flotation*) - é o processo mais comum e o mais importante. Neste processo, os minerais hidrofobizados dispersos, no meio aquoso, são coletados por bolhas de ar e arrastados à superfície, sendo removidos na camada de espumas por transbordo ou mecanicamente. Os minerais hidrofílicos permanecem na fase aquosa acompanhando o fluxo de água. (Luz, et al, 2010).

A propriedade de determinadas espécies minerais capturarem bolhas de ar no seio da polpa é designada por hidrofobicidade, e exprime a tendência dessa espécie mineral ter maior afinidade pela fase gasosa que pela fase líquida. Quanto mais hidrofóbico for um mineral, maior será sua repelência por água e maior sua afinidade por substâncias apolares ou lipofílicas, como o ar atmosférico e substâncias graxas (Leja, 1982).

A propriedade de determinadas espécies minerais de serem umectados ou molhados pela água é designada por hidrofilicidade, e exprime a tendência dessa espécie mineral ter maior afinidade pela fase líquida que pela fase gasosa. Quanto mais hidrofílico for um mineral, maior será a molhabilidade de sua superfície pela água ou por outros líquidos apolares. O processo de flotação por espumas é a modalidade de flotação mais utilizada na tecnologia mineral, para concentração de minerais e apresenta termos técnicos específicos para definir a maneira ou *modus operandi* de como a flotação está sendo conduzida. A seguir, algumas definições dos processos mais usuais de flotação (Beraldo, 1983):

- *Flotação direta* - é quando os minerais de interesse são flotados e separados nas espumas. Os minerais de ganga acompanham o fluxo da polpa mineral.
- *Flotação reversa* - é quando os minerais de ganga são flotados e os minerais de interesse permanecem na polpa mineral.
- *Flotação coletiva (Bulk flotation)* - é quando um grupo de minerais com características semelhantes são flotados em conjunto.
- *Flotação seletiva* - é quando uma única espécie mineral é flotada.
- *Flotação instantânea (Flash flotation)* - é quando a flotação é realizada em intervalos de tempo curto, logo após a moagem. As partículas mistas (não liberadas) retornam ao moinho para uma nova etapa de moagem e, a seguir, são novamente flotadas.

4.2.1 - Regentes da flotação

Os principais reagentes da flotação são os coletores, espumantes, depressores e reguladores de pH.

Os coletores são surfactantes que têm uma estrutura típica composta de uma parte de natureza molecular (não iônica) e outra de natureza polar (iônica). São distinguidos em função da sua carga iônica, podendo ser aniônicos ou catiônicos, conforme a carga elétrica do grupo polar, resultante da ionização da molécula.

Os coletores catiônicos são as aminas (de 8 a 15 carbonos) e seus acetatos. São coletados eletricamente por um mecanismo de primeira espécie e, em consequência, são adsorvidos e desorvidos fácil e rapidamente. Sua aplicação típica é na flotação de não-metálicos, tais como o quartzo (no beneficiamento do itabirito), silicatos, alumino-silicatos e vários óxidos, talcos,

micas etc. Minerais facilmente flotáveis usam aminas de 8 a 15 carbonos e minerais difíceis precisam de aminas de até 22 carbonos.

Os coletores aniônicos sulfidrílicos, também conhecidos como tióis ou mercaptans, são compostos que contêm o grupamento $-SH$, associado a uma molécula orgânica. Esses grupos de coletores são utilizados, principalmente, na flotação de minerais sulfetados.

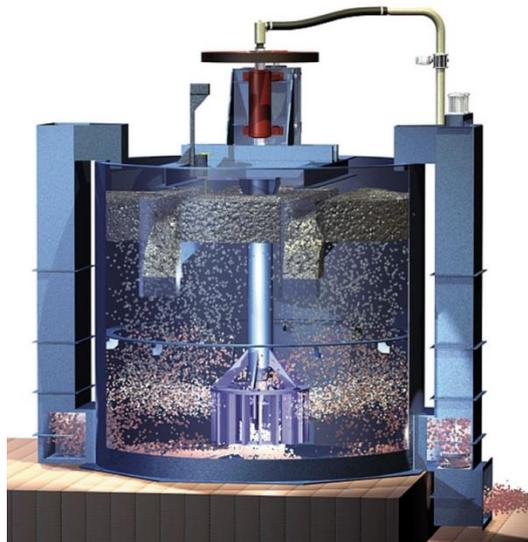
Certos minerais como grafite, enxofre nativo, molibdenita, talco e carvões betuminosos são naturalmente hidrofóbicos. Os reagentes utilizados nestes casos são óleos minerais e derivados da destilação do carvão ou então, simplesmente meros espumantes. Existem ainda, alguns reagentes reforçadores de coleta, classificados erroneamente como coletores não ionizáveis, sendo constituídos em sua maioria por hidrocarbonetos líquidos (diesel, óleo combustível, querosene), (Beraldo, 1983).

Os espumantes utilizados na flotação são compostos orgânicos heteropolares, cuja estrutura é, portanto, parecida com a dos coletores. A diferença reside no caráter funcional do grupo polar: o radical dos coletores é quimicamente ativo e capaz – em princípio - de interagir elétrica ou quimicamente com a superfície do mineral a ser coletado. Já os espumantes têm um radical liofílico de grande afinidade pela água. Esta diferença funcional determina o comportamento dos dois grupos de reagentes: enquanto os coletores tendem a migrar para a interface sólido-gás, os espumantes se dirigem para a interface líquido-gás.

Os depressores são sais metálicos utilizados para deprimir as espécies minerais presentes e, assim, tornar a coleta seletiva. Os principais depressores inorgânicos são: silicato de sódio, sulfeto de sódio, dicromato de potássio, cianeto de sódio. Também são muito usados colóides orgânicos, tais como amido, dextrina, tanino, quebracho e lignino-sulfonato.

O pH da polpa mineral tem um papel importante e influi, de forma significativa, no processo de flotação, atuando sobre: o potencial Zeta dos minerais; dissociação de coletores e outros reagentes modificadores; adsorção de cátions e ânions em diversos minerais; adsorção de coletores; estado de floculação da polpa.

Figura 02: Célula de flotação



Fonte: Célula de flotação Metso.

4.3 – Separação magnética

A aplicação da separação magnética ao processamento mineral depende da susceptibilidade magnética dos minerais a serem processados, enquanto o método eletrostático de beneficiamento de minérios considera a condutividade elétrica dos minerais, como a propriedade básica de separação (Sampaio, et al 2007)

O uso da separação magnética no beneficiamento de minérios consiste, não só na remoção dos minerais de ferro considerados contaminantes, como também na concentração de minérios, como exemplo, na concentração de hematita contida em itabirito. Os avanços obtidos na ciência dos materiais e na tecnologia de fabricação dos novos equipamentos de separação magnética permitiram o desenvolvimento de campos magnéticos de elevadas intensidades, inclusive gradientes de campos mais elevados. Esses avanços permitiram o uso mais diversificado da separação magnética na área de tratamento de minérios. Desta feita, surgiram novos mercados com o emprego dos separadores de ímãs permanentes de terras raras e os separadores com a tecnologia dos supercondutores (SAMPAIO, et al., 2007).

A susceptibilidade magnética pode ser utilizada como parâmetro diferencial para beneficiamento de minérios, cuja eficiência de separação dependerá principalmente das propriedades magnéticas dos minerais e da granulometria da amostra, exercendo influência ainda o tempo de residência

da amostra no campo magnético, a liberação dos minerais presentes e as forças de gravidade e de fricção (Augusto *et al.*, 2002).

A propriedade de um material que determina a sua resposta a um campo magnético é a susceptibilidade magnética. Com base nessa propriedade, os minerais ou materiais são classificados em duas categorias: aqueles que são atraídos pelo campo magnético e os que são repelidos por esse campo. Os minerais ferromagnéticos compreendem aqueles que são fortemente atraídos pelo ímã comum. O exemplo mais conhecido é a magnetita (Fe_3O_4). Os minerais paramagnéticos são fracamente atraídos pelo ímã comum e o exemplo clássico é a hematita (Fe_2O_3). Esses minerais possuem permeabilidade magnética mais elevada que a do meio circundante, usualmente, água ou ar. Além disso, concentram um elevado número de linhas de indução provenientes do campo externo. Finalmente, os minerais diamagnéticos possuem susceptibilidade magnética negativa e, portanto, são repelidos quando submetidos um campo magnético. Nesse caso, além do quartzo, destacam-se: a cerussita, magnesita, calcita, barita, fluorita, esfalerita, dentre outros. Esses minerais possuem permeabilidade magnética mais baixa que a do meio circundante (usualmente água ou ar). Esse efeito diamagnético é geralmente menor que o correspondente efeito de atração dos minerais paramagnéticos (SAMPAIO, *et al.*, 2007)

Essa propriedade é utilizada para calcular a força de atração magnética exercida sobre uma partícula mineral, que depende da susceptibilidade magnética do mineral, da massa da partícula e das condições (intensidade e gradiente) do campo magnético aplicado. Com base nos dados da literatura sobre susceptibilidade magnética e na classificação dos minerais para fins de beneficiamento, verifica-se que o principal intervalo para separação dos silicatos varia de 10 a 20 kG, sendo necessária a utilização de um separador magnético com alto gradiente de campo para remoção dos mesmos e concentração dos não-magnéticos apatita e carbonatos. (Augusto *et al.*, 2002)

O separador magnético mais comumente utilizado em laboratório é o modelo Isodinâmico Frantz L-1, pioneiro na linha de equipamentos de bancada, devido à sua versatilidade e à existência de diversos dados publicados sobre sua aplicação (Luz, 2004), mostrado na figura 03.

O separador Isodinâmico Frantz, que realiza separações a seco, consiste basicamente de uma calha vibratória, com inclinações longitudinal e lateral variáveis (0 a 90°), situada entre os polos

de um eletroímã gerador de campo magnético. Pode gerar uma densidade de fluxo magnético de 0 até 20.000 Gauss, variável sem intervalos, e pode processar com eficiência partículas entre 0,833 a 0,074 mm.

A calha é o local onde efetivamente ocorre a separação entre minerais fortemente magnéticos e fracamente magnéticos.

Sua inclinação, tanto lateral quanto longitudinal, e vibração são importantes para determinar o tempo de exposição dos minerais ao campo magnético, e seu valor máximo é de aproximadamente 20.000 Gauss, equivalente à intensidade máxima de corrente atingida pelo equipamento, (2,0 A).

Figura 03: Separador isodinâmico Frantz.



Fonte: Autoria própria.

5. METODOLOGIA

5.1 – Preparação da amostra

Foram recebidos aproximadamente 20 kg de amostra com granulometria entre 25 a 50 mm. A amostra integral foi britada em britador de laboratório abaixo de 10 mm e em seguida cominuída em moinho de rolo abaixo de 3 mm.

Em seguida a amostra foi homogeneizada em pilhas longitudinais tipo Chevron, com três retomadas e retirada de alíquotas de 1 kg.

5.2 – Ensaio de moagem

Foram realizados ensaios para os tempos de moagem: 5, 10 e 15 minutos, com o objetivo de se determinar o tempo ideal para cominuição da amostra na granulometria $100\% < 600 \mu\text{m}$.

Optou-se por fazer as moagens com tempo de duração de 15 minutos, pois a separação magnética no equipamento Frantz apresenta melhor resultados nas frações acima de $74 \mu\text{m}$. Como não havia presença de sulfetos, não foi necessário de moagem fina para promover a liberação dos minerais.

Os ensaios de moagem foram conduzidos a úmido em moinho de barras de laboratório de 400 x 200 mm (comprimento x diâmetro), de fabricação própria, em aço, e com corpo moedor com 06 barras de diâmetro de 25 mm, 07 barras de 20 mm e 08 barras de diâmetro de 10 mm.

Para cada ensaio utilizou-se amostra de 1 kg e a percentagem de sólidos na polpa de moagem foi de 55%. Em seguida as amostras foram deslamadas através de peneiramento à úmido (peneira Série Tyler, de $38 \mu\text{m}$), sem dispersante, separando e descartando a fração menor que 0,038 mm, em tempo de 10 minutos.

Em seguidas as amostras foram secas em estufa a 80°C , por 4 horas.

5.3 – Ensaio de separação magnética

A separação magnética foi realizada, na fração maior que 0,038 mm, primeiramente manualmente em imã de Ferrite de aproximadamente 1 kG e em seguida no separador isodinâmico Frantz em várias etapas: 4, 6, 8 e 12 kGauss, separando em cada etapa os produtos magnéticos. A inclinação da calha utilizado foi de 25° na longitudinal e 20° na lateral, com intensidade de vibração de $n^{\circ}6$.

5.4 – Ensaio de flotação

As amostras dos testes de flotação foram realizadas após separação magnética em 12.000 Gauss.

Optou-se pelo estudo da flotação direta, na tentativa de separar os feldspatos e quartzo e possibilitar maior concentração dos feldspatos.

Nos ensaios de flotação utilizou-se uma célula Denver de laboratório, cuba com capacidade de 2,5 litros e aproximadamente 0,5 kg de amostra, o coletor foi a amina fornecida pela Akzonobel, (TRIAMEEM X12D) na dosagem de 200 g/t, correção de pH 2,5 com ácido fluorídrico, com tempo de condicionamento de 5 minutos, querosene com 50 g/t como reforçador de coleta e espumante, velocidade de rotação da célula de flotação de 1400 rpm, 35% de sólidos.

Os ensaios de flotação foram realizados nas etapas *rougher* e *scavenger* em sequência, nas com as mesmas concentrações de reagentes, onde foram juntados os concentrados.

A recuperação dos feldspatos foi calculada pela equação $R = c.C/a.A$, onde R é a recuperação da espécie *i*, *c* = teor da espécie *i* no concentrado, C = massa do concentrado, *a* = teor da espécie *i* na alimentação e A = massa da alimentação. A recuperação mássica foi calculada pela equação $Y = C / A$.

5.5 – Análises químicas e petrográfica.

As análises químicas foram realizadas nos laboratórios minerais da SED-FUNMINERAL do Estado de Goiás, pelos métodos de via úmida por métodos titulométricos e gravimétricos, por Espectrofotometria de Absorção Atômica (Perkin Elmer modelo Analyst 200) e por Difratometria de Raios-x (Rigaku, modelo Ultima IV).

Para a Difratometria de raios-X as amostras foram moídas em grau ágata, abaixo de 0,074 mm, em seguida preparadas as lâminas de pó prensadas manualmente.

As análises de óxidos totais foram analisadas nas amostras de alimentação, nos produtos da separação magnética e da flotação.

Os teores de quartzo foram determinados semi-quantitativamente, pela solubilização dos silicatos com ácido fluorídrico com concentração de 30%, em 10 gramas de amostra e reação em 10 minutos. Duas contraprovas de referência com quartzo puro moído em 15 minutos no moinho de barras, também foram ensaiadas seguindo as mesmas condições. As perdas de quartzo puro na reação foram corrigidas para as amostras como fator de correção do ensaio de solubilização dos silicatos e parte do quartzo.

Os teores dos feldspatos foram calculados por estequiometria com base nos teores de sódio e potássio, mostradas nas tabelas 01 e 02.

Tabela 01: Feldspato de potássio: fórmula KAlSi_3O_8

Óxido/Silicato	K_2O	Al_2O_3	SiO_2	KAlSi_3O_8
Peso Molecular	94,2	101,9	60,1	278,3
Equivalente	1	1	6	2
%	16,9	18,3	64,7	100

Tabela 02: Feldspato de sódio: fórmula $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$

Óxido/Silicato	Na_2O	Al_2O_3	SiO_2	$\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$
Peso Molecular	61,9	101,9	60,1	262,2
Equivalente	1	1	6	2
%	11,8	19,4	68,7	100

As análises petrográficas foram realizadas no Instituto Federal de Goiás – IFG.

6. RESULTADOS E DISCUSSÃO

6.1 – Ensaios de moagem e granulometria

As Amostras para alimentação da moagem, com massas de 1 kg, após britagem apresentaram granulometria em torno de F80 em torno de 3 mm.

A análise granulométrica em moagem 5 minutos mostrou que 100% do produto ficaram abaixo de 0,600 mm (28#) com $P_{80} = 0,280$ mm e a distribuição apresentou massa expressiva na faixa 0,150 mm (tabela 05).

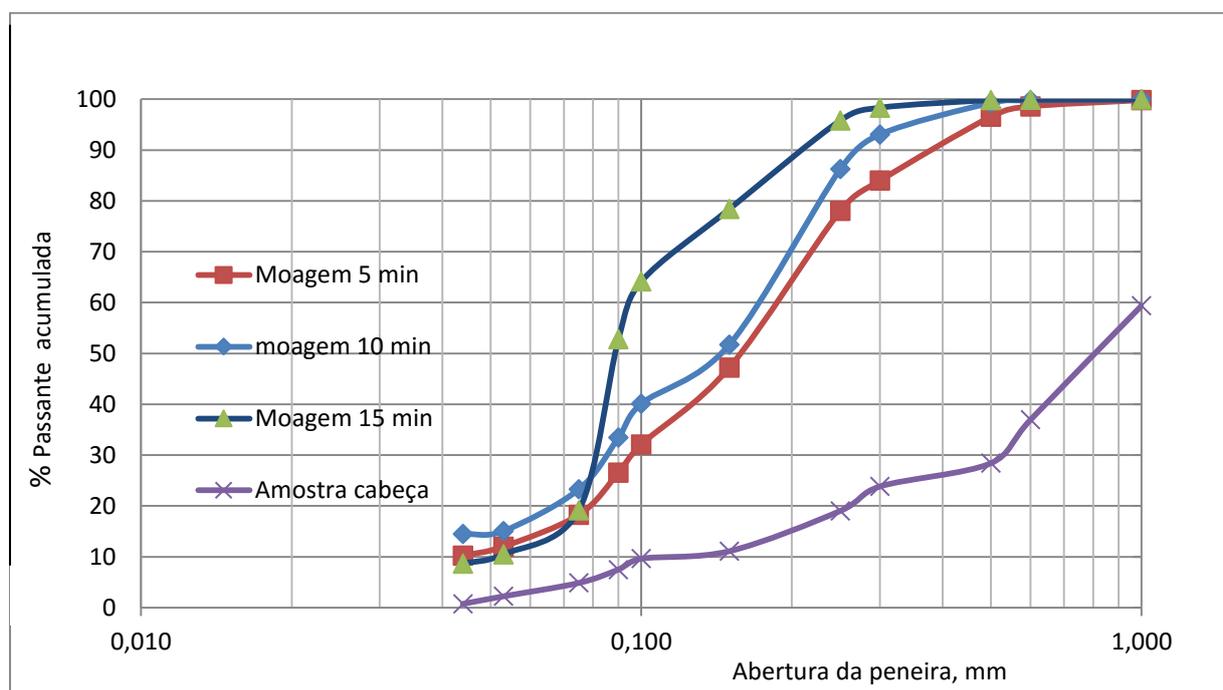
A análise granulométrica em moagem 10 minutos mostrou $P_{80} = 0,220$ mm, com maior concentração também na faixa 0,150 mm, mas com maior quantidade de materiais abaixo de 0,150 mm em relação ao tempo anterior (tabela 05).

A análise granulométrica em moagem 15 minutos mostrou $P_{80} = 0,160$ mm e que a distribuição granulométrica foi variada com maior concentração também na faixa 0,074 mm, porém com maior quantidade de materiais abaixo de 0,074 mm em relação ao tempo anterior (tabela 05).

Tabela 03: Análises granulométricas da amostra cabeça e nos três tempos de moagens

Malha, mm	% passante acumulada			
	Amostra cabeça, > 3 mm	5 minutos	10 minutos	15 minutos
1,000	59,4	99,8	100,0	99,9
0,600	37,0	98,6	99,8	99,9
0,500	28,4	96,6	99,3	99,8
0,300	23,8	84,0	93,1	98,4
0,250	19,0	78,1	86,3	95,9
0,150	11,1	47,3	51,7	78,9
0,100	9,6	32,1	40,1	64,9
0,090	7,5	26,6	33,4	53,8
0,075	4,9	18,3	23,3	20,8
0,053	2,2	12,0	15,1	10,5
0,044	0,7	10,2	14,5	8,7
> 0,044	20,0	0,0	0,0	0,0

Figura 04: Distribuição granulométrica dos produtos da moagem e alimentação.



6.2 – Resultados da separação magnética

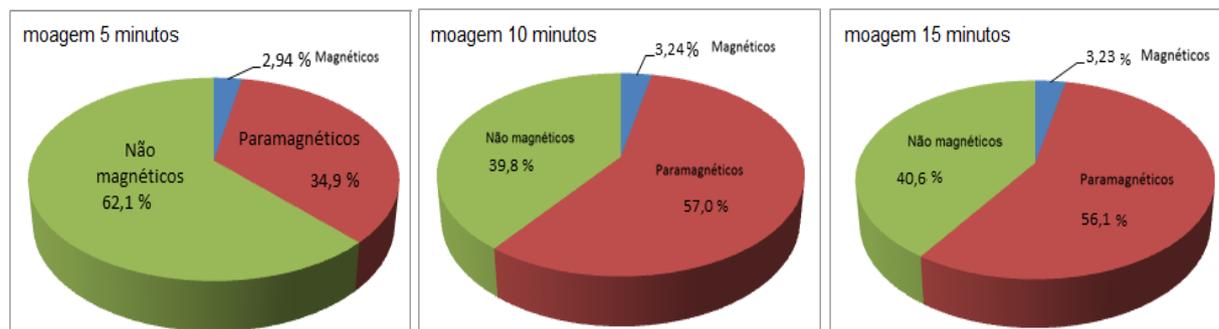
A separação magnética na moagem em 5 minutos apresentou maior teor dos minerais não magnéticos (feldspatos, quartzo e silicatos sem conter ferro), 62,1% destes minerais. Os minerais

ferromagnéticos como magnetita apresentaram teor de 2,94%. Nas moagens de 10 e 15 minutos respectivamente, houve uma inversão de massas onde a recuperação foi baixa possivelmente devido a granulometria fina (< 0,074 mm) abaixo do limite do Separador Isodinâmico Frantz que tem melhor recuperação em granulometria acima de 0,074 mm (Tabela 04).

Tabela 04: Separação magnética da moagem 5, 10 e 15 minutos.

	Tempos de moagem					
	5 minutos		10 minutos		5 minutos	
Produtos	Massa, g	%	Massa, g	%	Massa, g	%
Magnéticos, 1 kG	7,36	2,94	8,12	3,24	8,07	3,23
Paramagnéticos, 12 kG	87,3	34,93	142,8	57	140,3	56,13
Não magnéticos	155,3	62,12	99,6	39,76	155,3	40,64
Total	249,96	100,00	250,52	100,00	249,97	100,00

Figura 05: Separação magnética das moagens 5, 10 e 15 minutos.



6.3 – RESULTADOS DAS ANÁLISES QUÍMICAS

6.3.1 – Teores de quartzo

O ensaio semi-quantitativo mostrou teor de 8,40% na amostra cabeça e menor quantidade de quartzo nas moagens mais fina, possivelmente devido ao grau de liberação de partículas mistas de quartzo e silicatos. Há maior concentração de quartzo nos rejeitos e o concentrado da flotação em 15 minutos apresentou 3,9 %, devido ao amido utilizado como depressor de quartzo na flotação (Tabela 05).

Tabela 05: Teor de quartzo.

Teores de quartzo semi-quantitativo, %	Tempo de moagem, minutos.			
	PRODUTO	0	5	10
Amostra cabeça	8,4	-	-	-
Não magnético	-	14,5	7,2	4,4
Concentrado da flotação	-	16,6	8,2	3,9
Rejeito da flotação	-	39,3	27,8	47,8

6.3.2 – Teores da amostra de cabeça

Os resultados de análises químicas em quase todos os produtos analisados mostraram que há inconsistência em alguns teores de óxidos, pois a somatória dos óxidos totais não chegou a 90%. Foram realizadas repetições e confirmações de teor somente elementos de maior interesse tais como SiO₂, K₂O, Na₂O e Fe₂O₃. As tabelas abaixo foram resumidas mostrando apenas os teores dos principais elementos químicos, a somatória de álcalis feldspatos e quartzo (Tabela 06).

Tabela 06: Análises químicas da amostra cabeça.

Fe ₂ O ₃ , %	K ₂ O, %	Na ₂ O, %	Σ dos álcalis, %	KAlSi ₃ O ₈ , %	NaAlSi ₃ O ₈ , %	Σ de feldspatos	Quartzo, %
3,20	6,41	3,84	10,20	37,90	19,80	57,70	8,40

6.3.3 – Produtos paramagnéticos.

Os produtos das moagens seguidos da separação magnética em 12 kG, os paramagnéticos, os teores de Fe₂O₃ aumentaram de 3,20% para mais de 11,2 %. Os feldspatos presentes no produto magnético são partículas que possivelmente sofreram arraste mecânico no separador Isodinâmico Frantz. Houve um enriquecimento de minerais portadores de cálcio e magnésio, possivelmente devido à presença de minerais portadores de ferro na sua estrutura como a Hornblenda (Tabela 07).

Tabela 07: Análises químicas dos produtos paramagnéticos

Amostra	Fe ₂ O ₃ , %	K ₂ O, %	Na ₂ O, %	Σ dos álcalis, %	KAlSi ₃ O ₈ , %	NaAlSi ₃ O ₈ , %	Σ de feldspatos
Moagen 5 min.	11,20	4,82	3,35	8,17	28,50	17,20	45,70
Moagen 10 min.	12,20	4,80	3,73	8,53	28,40	19,20	47,50
Moagen 15 min.	15,90	3,73	3,71	10,18	38,20	19,10	57,30

Figura 06: Produto paramagnético



Fonte: Autoria própria.

6.3.3 – Produto diamagnético

Os produtos das moagens seguidos da separação magnética mostraram que foi possível reduzir o teor de Fe_2O_3 de 3,20 % para 0,42 % e aumentar o teor de álcalis de 10,2 para 11,8 %, em média nas moagens (Tabela 08).

Tabela 08: Análises químicas produto diamagnético

Amostra	Fe_2O_3 , %	K_2O , %	Na_2O , %	Σ dos álcalis, %	KAlSi_3O_8 , %	$\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$, %	Σ de feldspatos
Moagen 5 min.	0,43	8,06	3,65	11,70	47,60	18,80	66,40
Moagen 10 min.	0,36	8,10	3,54	11,60	47,90	18,20	66,10
Moagen 15 min.	0,48	8,18	3,68	11,90	48,30	18,90	67,30

Figura 07: Produto diamagnético



Fonte: Autoria própria.

6.3.4 – Concentrado da flotação

As análises químicas do concentrado da flotação se mostraram inconsistentes para as moagens de 5 e 10 minutos, mas a moagem em 15 minutos os resultados foram mais consistentes pois a somatória dos óxidos fechou em 94,3%. Houve um ligeiro aumento dos teores de feldspatos e redução dos teores do quartzo (Tabela 09).

Tabela 09: Análise química do concentrado da flotação

Amostra	Fe ₂ O ₃ , %	K ₂ O, %	Na ₂ O, %	Σ dos álcalis, %	KAlSi ₃ O ₈ , %	NaAlSi ₃ O ₈ , %	Σ de feldspatos	Quartzo, %
Moagen 5 min.	0,41	8,10	4,20	12,30	47,90	21,60	69,30	16,60
Moagen 10 min.	0,40	7,81	3,94	12,00	45,90	20,40	68,30	8,20
Moagen 15 min.	0,42	8,09	3,57	11,70	46,70	18,40	66,20	3,90

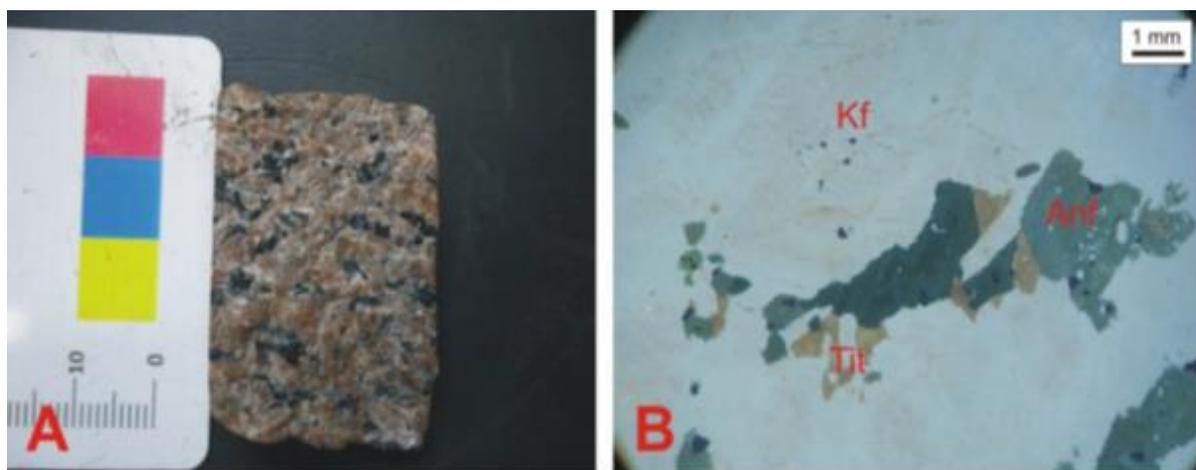
6.3.4 – Rejeito da flotação

A análise química no rejeito mostrou melhor condição para a moagem em 15 minutos, onde houve a redução dos teores de álcalis e aumento expressivo dos teores de quartzo (tabela 10).

7.2 – Descrição macroscópica

Rocha marrom avermelhada, fanerítica, equigranular, de granulação média, constituída predominantemente por feldspato potássico e anfibólio (preto), subordinadamente por titanita, e raramente pirita; apresenta magnetismo moderado indicando a presença de magnetita. Em termos estruturais é anisotrópica, caráter dado pela orientação preferencial dos cristais de feldspato e anfibólio, (Figura 09).

Figura 09: Análise petrográficas A e B

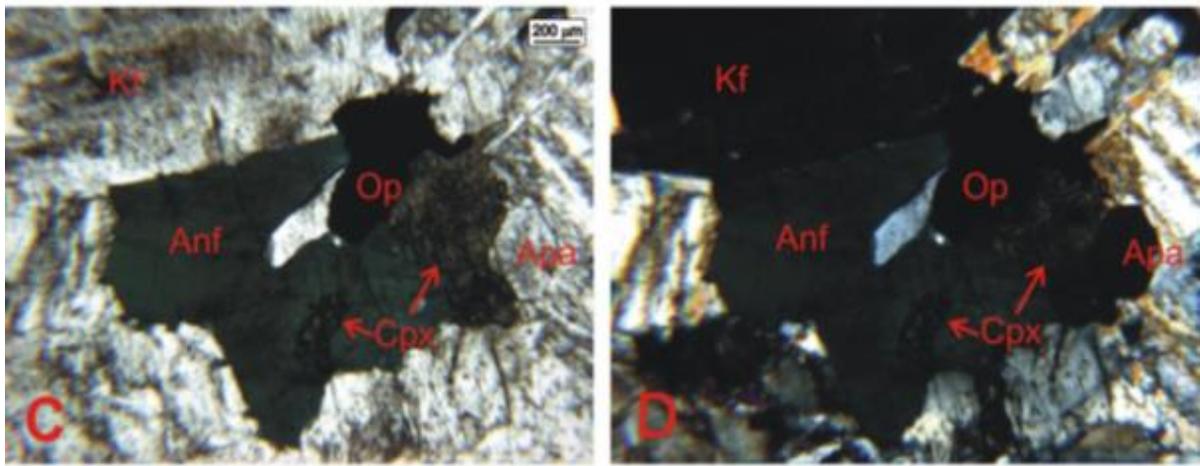


A figura A mostra o aspecto macroscópico da amostra com orientação preferencial dos minerais no eixo horizontal e figura B a fotomicrografia em lupa binocular evidenciando cristais de titanita.

7.3 – Descrição microscópica

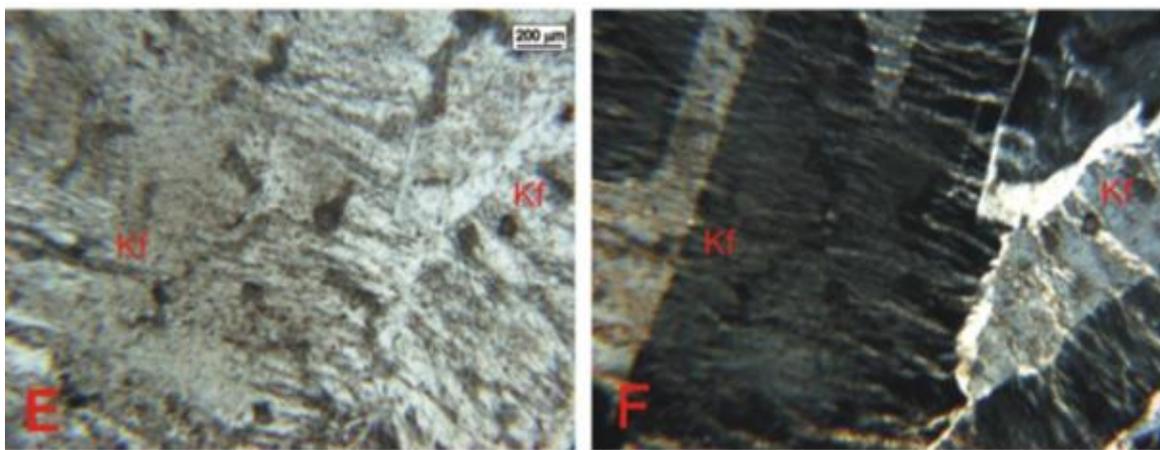
Rocha constituída predominantemente por k-feldspato e anfibólio, tendo subordinadamente titanita, apatita e minerais opacos, e como traços clinopiroxênio. A textura é do tipo traquitóide, dada pelo arranjo empilhado dos cristais de k-feldspato, os quais mostram alinhamento preferencial. A composição modal estimada é dada por 66 % de k-feldspato, 24 % de anfibólio, 4 % de quartzo, 3 % de titanita, 2 % de minerais opacos, e 1 % de apatita, (Figuras 10 a 12).

Figura 10: Análise petrográficas C e D



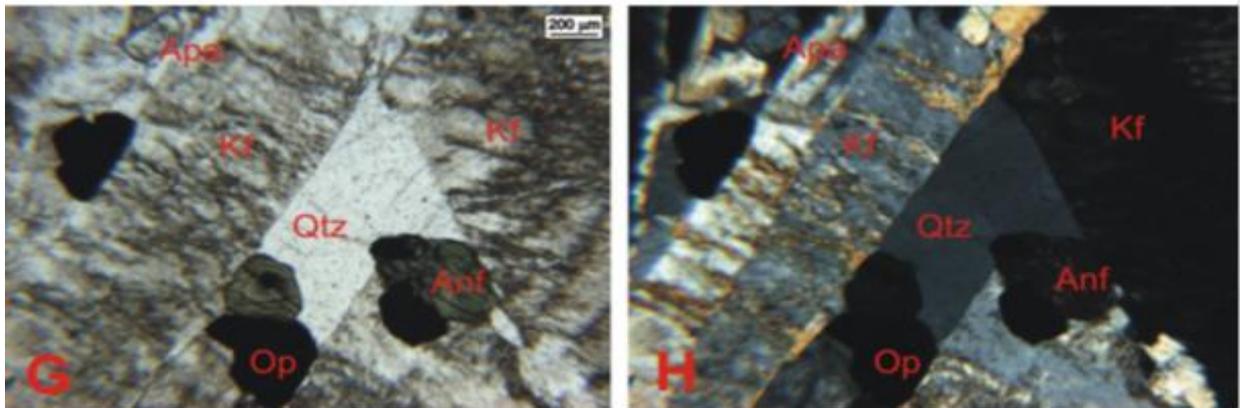
Nas Figuras C e D tem-se a fotomicrografias em luz natural e luz polarizada, respectivamente, com grão de anfibólio contendo inclusão de clinopiroxênio e associação com minerais opacos e apatita.

Figura 11: Análise petrográficas E e F.



Nas figuras E e F, tem-se as fotomicrografias em luz natural e luz polarizada, respectivamente, com detalhe da geminação do tipo Carlsbad e intercrescimentos peritéticos em k-feldspato.

Figura 12: Análise petrográficas G e H.



Nas figuras G e H tem-se a fotomicrografias em luz natural e polarizada, respectivamente, com detalhe de grão de quartzo em meio a cristais de k-feldspato.

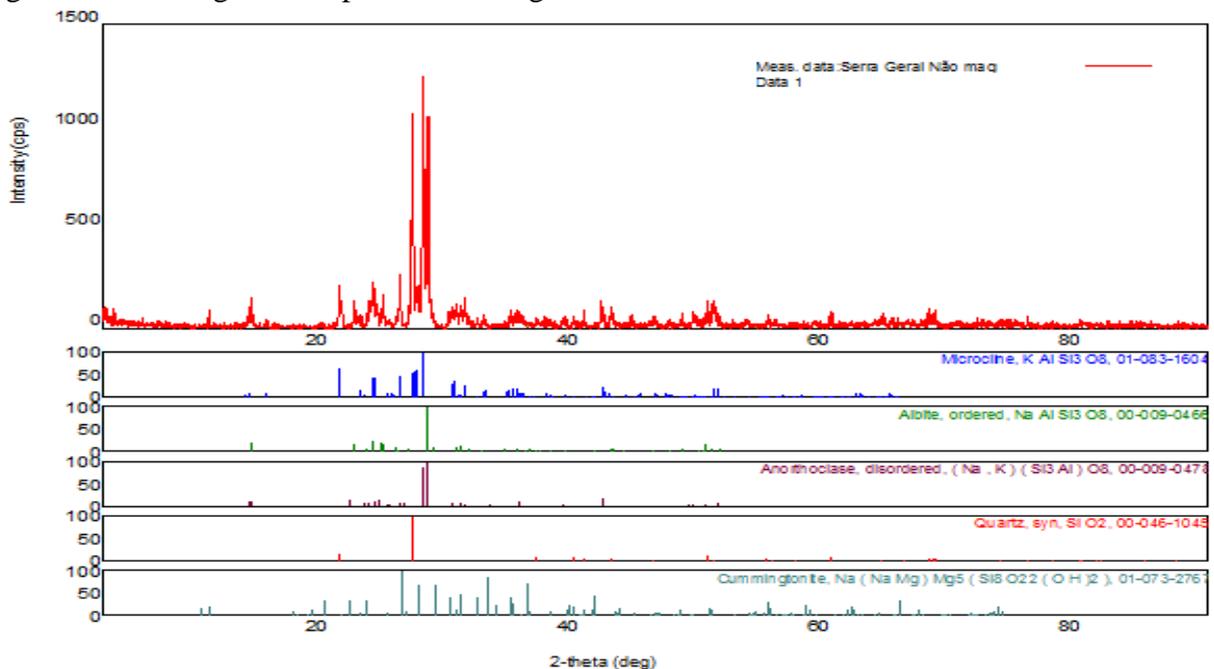
Abreviaturas das figuras 10 a 13: K-f – K-feldspato Anf – Anfibólio Tit – Titanita Qtz – Quartzo - Cpx – Clinopiroxênio Op – Opaco Apa – Apatita.

8 - DIFRATOMETRIA DE RAIOS-X

8.1 – Difratoograma do produto diamagnético.

A interpretação dos gráficos no produto diamagnético da separação em 12 kG possibilitou a identificação de anortoclásio, microclina, albita, quartzo e Cummingtonita (Figura 13).

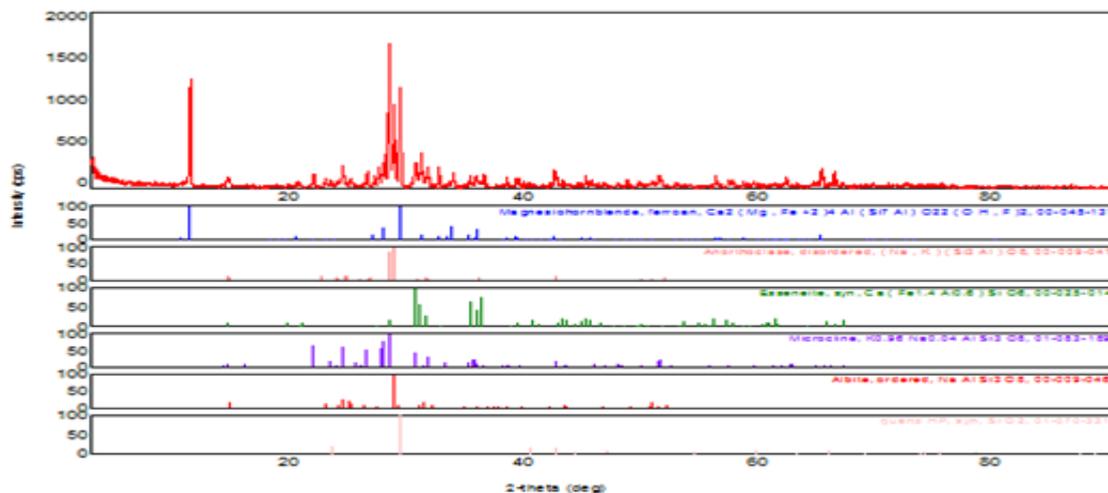
Figura 13: Difratoograma do produto diamagnético



8.2 – Difratoograma do produto paramagnético.

Nos paramagnéticos da separação em 12 kG foi identificado a hornblenda, anortoclásio, microclina, albita e quartzo (Figura 14).

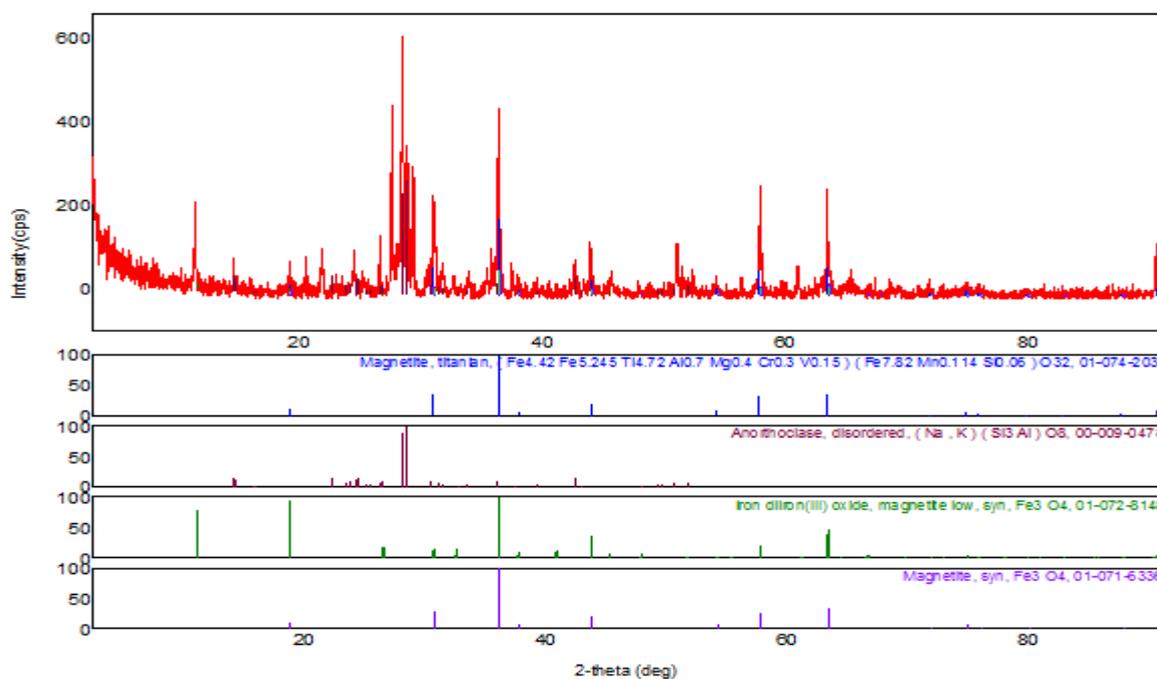
Figura 14: Difratoograma do produto paramagnético (12 kG)



8.3 – Difratoograma do produto magnético em imã de ferrita.

No rejeito magnético em imã de ferrita foi identificado magnetita, e magnetita-titânio e Anortoclásio (Figura 15).

Figura 15: Difratoograma do produto magnético em imã de ferrita.



9 – FLOTAÇÃO

A flotação investigada proporcionou pequeno acréscimo nos teores de feldspatos de 66,4 % para 67,8 % em média e diminuiu teor de quartzo de 8,4 % para 3,9 %.

Os ensaios de flotação não foram eficientes para moagens mais grosseiras, entretanto houve um ligeiro incremento dos teores de álcalis (de 11,7 para 12,0 %) consequentemente nos teores de feldspatos nestes concentrados (de 66,6 para 67,9 %).

A moagem em tempo de 15 minutos apresentou melhores resultados e houve diminuição do teor de quartzo de 8,4 % para 3,9 %. (Tabela 11).

Tabela 11: Resultados da flotação (rougher + scavenger).

Produtos da flotação	Tempos de moagem		
	5 min.	10 min.	15 min.
Massa da alimentação, g (A)	630,0	539,2	526,8
Massa do concentrado, g (C)	321,8	427,6	487
Massa do rejeito, g	318,0	109,0	36,9
Teor de feldspatos na alimentação, % (a)	66,4	66,1	67,3
Teor de feldspatos no concentrado, % (c)	69,3	68,3	66,2
Teor de feldspatos no rejeito, %	60,6	61,5	55,2
Recuperação mássica, % (Y)	51,0	79,0	92,0
Recuperação dos feldspatos, % (R)	53,3	81,9	90,9

10. CONCLUSÃO

A amostra corresponde à rocha ígnea, classificada como quartzo álcali-feldspato sienito pela baixa quantidade de quartzo, 5,7 % na análise petrográficas e 8,4 % na determinação semi-quantitativa de quartzo, portanto não se caracteriza como rocha granítica ou granitoide.

Este trabalho investigou a possibilidade de se produzir um concentrado de feldspato que atendesse às especificações químicas para a produção de cerâmica, porcelanatos, louças sanitárias, vidros, isolantes, etc.

Nestas especificações para aplicação na indústria cerâmica os elementos ou óxidos mais controlados são o Fe_2O_3 que deve ter teor menor que 0,5%, e $\text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O}$ (álcalis) acima de 10 % em peso.

No processo de separação magnética, via seca, foi possível retirar o maior contaminante que é o ferro, expresso como Fe_2O_3 (teor residual de 0,42 %) e elevar o teor de álcalis de 10,2 a 11,7%, obtendo-se uma recuperação de 62% dos feldspatos na moagem mais grosseira. Portanto esses teores são indicativos que este processo possa ser empregado industrialmente para produção de concentrados de feldspatos a partir dessa rocha para insumos da indústria cerâmica, exceto para aplicação em esmalte em que o teor de Fe_2O_3 deve ser $< 0,10\%$.

Os ensaios de flotação não foram eficientes para moagens mais grosseiras, entretanto houve um ligeiro incremento dos teores de álcalis (de 11,7 para 12,0 %) conseqüentemente nos teores de feldspatos nestes concentrados (de 66,6 para 67,9 %) em média e diminuição do teor de quartzo para 3,9 %.

Como trabalho futuro sugere-se a investigação e ajustes de processos de tratamento mineral através de testes de separação magnética a úmido, de baixo e alto campo, em escala laboratorial e planta piloto.

11. REFÊRENCIAS

- AUGUSTO, P.A.; AUGUSTO, P.; CASTELO-GRANDE, T. Magnetic classification; **Minerals Engineering**, Oxford, v. 15, n. 1-2, p. 35-43, 2002.
- ALMADA, M. M.; VLACK, T. F. Pilhas de homogeneização: uma nova visão para feldspato cerâmico. **Cerâmica Industrial**, São Paulo, v.5, n.4, p.31-34, jul./ago. 2000.
- BALTAR, C.A.M. **Flotação no Tratamento de Minérios**. Recife: Departamento de Engenharia de Minas/UFPE, 2008.
- BARBATO, C. N.; OGASAWARA, T.; SAMPAIO, J. A. **Aproveitamento de feldspato pegmatítico da região de Borborema-Seridó para a produção de uma vitrocerâmica feldspática reforçada com leucita**. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2008. 41p. (Série Rochas de Minerais Industriais, 13).
- BARD, J. P. **Microtextures of igneous and metamorphic rocks**. Boston: H. D. Reidel Publishing Company, 1986. 264p.
- BERALDO, J.L. **Concentração por flotação**. São Paulo: Escola Politécnica da USP, São Paulo, 1983.(Apostila)
- BEST, M. G. **Igneous and metamorphic petrology**. New York: W. H. Freeman and Company, 1982. 630p.
- DANA, J. D. **Manual de Mineralogia**. Rio de Janeiro: Ao Livro Técnico, 1969. v.2, p.536-556.
- DUTRA, R. Rochas Ornamentais – Feldspato e Quartzo. In: ENCONTRO DE ENGENHARIA E TECNOLOGIA DOS CAMPOS GERAIS, 2., 2006, Ponta Grossa, (PR). **Anais...** Ponta Grossa: SENAI, 2006.
- FRANÇA, S. C. A.; SAMPAIO, J. Obtenção de feldspato a partir de finos de pedreira de nefelina sienito e utilização como insumo para a indústria cerâmica. In: ENCONTRO NACIONAL DE TRATAMENTO DE MINÉRIOS E METALURGIA EXTRATIVA, 19, 2002. Recife. **Anais...** Recife, 2002.
- FELSPAR Flotation. Technical Guidelines. Sweden: AkzoNobel Surface Chemistry – EMEIA, 2014.
- JÚNIOR, R. F. P. In: **Sumário Mineral**. Brasília: DNPM, 2014. p.70 - 71.
- LEAL FILHO, L. S. **Concentração por Flotação**. 1995. Trabalho de conclusão de Curso de Pós Graduação em Engenharia Mineral - Escola Politécnica da USP, São Paulo, 1995.
- LEJA, J. Surface chemistry of froth flotation. New York: Plenum Press, 1982. 758p.
- LUZ, A. B. da; COELHO, J. M. Feldspato. In: LUZ, A. B. da; LINS, F. A. F. (Ed.). **Rochas & Minerais Industriais**. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2005. p.413-430.
- LUZ, A. B. da; SAMPAIO, J. A.; FRANÇA, S. C. A.; 5 ed. **Tratamento de Minérios**: Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2010. 963p.
- KLEIN, C.; DUTROW, B. **Manual de Ciência dos Minerais**. 23.ed. Porto Alegre: BOOKMAN, 2012.
- SGARBI, G. N. C. (Org.). **Petrografia Macroscópica das Rochas Ígneas, Sedimentares e Metamórficas**. 2. ed. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2012. 632p.
- STABEL, L. Z.; GARAVAGLIA, L.; NARDI, L. V. S. Caracterização química das fases minerais do sienito Piquerí, Cachoeira do Sul-RS. In: SALÃO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA,

10., 1998, Porto Alegre. Set. 19-23: Porto Alegre - RS: UFRGS, 1998.

STABEL, L. Z.; NARDI, L. V. S.; CID, J. P. Química mineral e evolução metrológica do sienito Piquiri magmatismo shoshonítico, neoproterozóico, pós-colisional do sul do Brasil. **Revista Escola de Minas**, Ouro Preto, v.56, n.3, p.175-179, jul./set. 2003.

SAMPAIO, J. A.; FRANÇA, S. C. A.; BRAGA, P. F. A. (Ed.). **Tratamento de Minérios: práticas laboratoriais**. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2007. 570p.

SOUZA, J. C. de; TUBINO, L. C. B. Avaliação econômica na lavra de rocha ornamental – Granito Marrom Guaíba/RS. In: SIMPÓSIO DE ROCHAS ORNAMENTAIS DO NORDESTE, 2002, Recife. **Anais...** Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2002. p.154-159.

Anexos:

Tabela 12: Análises químicas da amostra cabeça.

Óxidos/minerais	%
SiO ₂	59,60
Al ₂ O ₃	12,10
Fe ₂ O ₃	3,20
K ₂ O	6,41
Na ₂ O	3,84
TiO ₂	0,69
CaO	1,57
MgO	1,95
P ₂ O ₅	0,25
S	0,48
P.F.	0,56
Soma dos óxidos	90,1
KAlSi ₃ O ₈	37,90
NaAlSi ₃ O ₈	19,80
Σ de feldspatos	57,70
Σ dos álcalis	10,20

Tabela 13: Análises químicas produto paramagnético

Óxidos/minerais	5 min.	10 min.	15 min.
SiO ₂	57,40	51,90	52,10
Al ₂ O ₃	8,70	8,65	7,92
Fe ₂ O ₃	11,20	12,2	15,90
K ₂ O	4,82	4,80	6,47
Na ₂ O	3,35	3,73	3,71
TiO ₂	1,10	1,10	0,90
CaO	6,64	4,15	5,92
MgO	5,34	5,19	5,40
P ₂ O ₅	0,10	0,10	0,10
P.F.	0,19	0,32	0,10
Soma dos óxidos	98,80	92,10	98,50
KAlSi ₃ O ₈	28,50	28,40	38,20
NaAlSi ₃ O ₈	17,20	19,20	19,10
Σ de feldspatos	45,70	47,50	57,30
Σ dos álcalis	8,170	8,53	10,18

Tabela 14: Análises químicas produto não magnético

Óxidos/minerais %	5 min.	10 min.	15 min.
SiO ₂	63,90	63,30	63,50
Al ₂ O ₃	10,20	7,52	9,43
Fe ₂ O ₃	0,43	0,36	0,48
K ₂ O	8,06	8,10	8,18
Na ₂ O	3,65	3,54	3,68
TiO ₂	0,33	0,27	0,75
CaO	1,05	4,15	5,92
MgO	0,04	0,04	0,05
P ₂ O ₅	0,10	0,10	0,10
S	0,04	0,04	0,03
P.F.	0,20	0,10	0,12
Soma dos óxidos	88,00	87,50	92,10
KAlSi ₃ O ₈	47,60	47,90	48,30
NaAlSi ₃ O ₈	18,80	18,20	18,90
Σ de feldspatos	66,40	66,10	67,30
Σ dos álcalis	11,70	11,60	11,90

Tabela 15: Análise química do concentrado da flotação

Óxido, %	5 min.	10 min.	15 min.
SiO ₂	59,90	60,90	64,40
Al ₂ O ₃	11,70	14,10	14,80
Fe ₂ O ₃	0,41	0,40	0,42
K ₂ O	8,10	7,80	8,09
Na ₂ O	4,20	3,94	35,70
TiO ₂	0,78	0,81	1,09
CaO	1,60	1,19	1,32
MgO	0,32	0,11	0,09
P ₂ O ₅	0,48	0,36	0,38
P.F.	0,25	0,53	0,10
Soma dos óxidos	87,40	90,10	94,30
KAlSi ₃ O ₈ , %	47,90	45,90	46,70
NaAlSi ₃ O ₈ , %	21,60	20,40	18,40
Σ de feldspatos	69,30	68,30	66,20
Σ dos álcalis	12,30	12,00	11,70

Tabela 16: Análise química do rejeito da flotação

Óxido, %	5 min.	10 min.	15 min.
SiO ₂	69,40	57,50	57,20
Al ₂ O ₃	9,17	14,10	14,80
Fe ₂ O ₃	0,43	0,42	0,42
K ₂ O	7,23	5,56	3,56
Na ₂ O	3,49	3,04	1,66
TiO ₂	0,55	0,81	1,09
CaO	0,51	1,19	1,32
MgO	0,40	0,11	0,09
P ₂ O ₅	0,14	0,10	0,60
P.F.	0,15	0,53	0,10
Soma dos óxidos	91,50	83,50	80,80
KAlSi ₃ O ₈ , %	44,90	45,90	46,70
NaAlSi ₃ O ₈ , %	18,00	15,60	8,50
Σ de feldspatos	60,60	61,50	55,20
Σ dos álcalis	10,70	9,12	5,22