

ESTUDO DE VIABILIDADE TÉCNICA E ECONÔMICA PARA O APROVEITAMENTO DE REJEITOS PROVENIENTES DO BENEFICIAMENTO DE ROCHA QUARTZO-FELDSPÁTICA NO SUL DE SANTA CATARINA

Fábio de Bona Sartor¹

Márcio Luiz Geremias²

Resumo: Este trabalho apresenta fundentes alternativos obtidos a partir do tratamento de rejeitos oriundos do beneficiamento rocha quartzo-feldspática desenvolvido pela empresa Mineração Nossa Senhora do Carmo Ltda, localizada no município de Morro da Fumaça (SC). A pesquisa e o desenvolvimento dos referidos produtos, vem ao encontro da carência de matérias-primas fundentes identificadas no estado de Santa Catarina para a produção de grés porcelanato e, também, como parte da solução de problemas ambientais relacionados aos depósitos de rejeitos. A geração de rejeito fica na casa de 3.500,00 t/mês. A caracterização dos rejeitos contou com as análises de fluorescência de Raio X para determinação e quantificação dos elementos químicos e a confecção e análise dos cones de fusão antes e após o processo de beneficiamento. Após a caracterização, os rejeitos foram submetidos aos processos de separação magnética e flotação e nova caracterização química e confecção e análise dos cones de fusão. Dessa forma, de acordo com os resultados obtidos a partir dos ensaios de beneficiamento, pode-se afirmar que é possível gerar matérias-primas fundentes a partir de rejeitos, com qualidade suficiente para aplicação em grés porcelanato esmaltado, ressaltando, ainda, o baixo custo de produção, principalmente por se tratar de materiais que não precisam ser submetidos ao processo de cominuição, além dos ganhos ambientais identificados.

Palavras-Chave: Rocha, Feldspato, Beneficiamento, Rejeitos, Flotação, Reagentes.

1 INTRODUÇÃO

A mineração se confunde com a história do Brasil, onde, desde o tempo do império onde a coroa portuguesa levava pra Portugal grande parte do ouro e diamantes encontrados no país. O setor mineral é considerado a base da pirâmide produtiva, gerador de empregos diretos e indiretos, além de proporcionar divisas ao

¹ Graduando em Engenharia de Minas. E-mail: fafo.sartor@gmail.com

² Professor de Centro Universitario UniSATC. E-mail: márcio.geremias@satc.edu.br

Brasil e uma parcela representativa de arrecadação de impostos a Estados e municípios.

Existe uma relação conflituosa entre a economia e o meio ambiente (natureza), contraposição das leis que regem a economia àquelas que regem os ciclos naturais (Passet, 1979). Esta relação conflituosa da mineração com o meio ambiente tem relação direta com a geração de rejeitos.

Por este motivo, este trabalho mostra a possibilidade do aproveitamento industrial de rejeitos de mineração resultantes do processamento de rocha quartzo-feldspática gerados na unidade de beneficiamento da Mineração Nossa Senhora do Carmo Ltda no município de Morro da Fumaça (SC) na indústria cerâmica de revestimentos. Esta empresa tem uma geração de rejeitos de 3.500,00 t/mês (aproximadamente) no processo de beneficiamento do produto primário, os quais são direcionados a uma barragem de contenção.

Para se chegar aos resultados ora apresentados, as amostras de rejeitos foram submetidas ao processo de flotação a separação magnética a nível de bancada (laboratório). Ressalta-se, que, na produção do feldspato no processo primário, responsável pela geração dos rejeitos estudados, a rocha quartzo-feldspática também é submetida aos processos de flotação e separação magnética.

A Legislação Mineral através da Resolução ANM Nº 85/2021, dispõe sobre o aproveitamento de rejeitos e estéreis, os tratando como minério.

O aproveitamento dos rejeitos gerados no processamento da rocha quartzo-feldspática, além da importância econômica com a comercialização deste novo minério, vai ter um papel muito relevante para Mineração Nossa Senhora do Carmo Ltda na questão ambiental como a eliminação dos referidos depósitos.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 FELDSPATO

Os feldspatos são obtidos a partir de rochas pegmatíticas, associados a outros minerais como o quartzo e as micas (biotita, muscovita), sendo um grupo de minerais cuja composição química é descrita pela fórmula $(K, Na, Ca) (Si, Al)_4 O_8$.

São silicatos de alumínio contendo diferentes proporções de cálcio, potássio e sódio. Eles ocorrem em pegmatitos graníticos, associados a diversos outros minerais (DNPM,2013).

As características básicas dos feldspatos estão apresentadas na Tabela 2.1:

Tabela 2.1 – Principais características do feldspato

Peso específico: 2,54 - 2,76 g/cm ³ ;
Cores: Branco, cinza e róseo;
Dureza: 6 - 6,5 (Escala Mohs);
Brilho: Não metálico e vítreo;
Habito: Cristal prismático ou compacto;
Sistema de cristalização: Monoclínico e triclinico;
Aspecto ótico: Translucido e transparente (menos frequente);
Clivagem: perfeita em duas direções formando ângulo de 90° ou próximo desse valor;
Composição química: (Na.K) Al Si ₂ O ₃ / Ca Al ₂ Si ₂ O ₃ / Ba Al ₂ Si ₂ O ₃ .

Fonte : Lira & Neves (2013)

2.2 REJEITO

Rejeitos são os resíduos provenientes do beneficiamento de minerais e rochas quando da geração de um produto aplicável na indústria, na construção civil, na agricultura, dentro outras aplicações. Os rejeitos resultantes no beneficiamento da usina da Mineração Nossa Senhora do Carmo são ricos em feldspato potássico.

De acordo com Esposito (2000), os processos de beneficiamento têm como finalidade a regularização dos tamanhos dos fragmentos (cominuição), remoção de minerais associados sem valor econômicos (minerais deletérios) e melhora da qualidade (purificação do minério).

2.3 FUNDENTES CERÂMICOS

Os fundentes industriais mais tradicionais encontrados no Brasil são os feldspatos e o filito. A distâncias do centro produtor (nordeste brasileiro) e sul do Brasil,

tem viabilizado a retirada de feldspato de rocha granítica através do beneficiamento, através do processo de flotação.

Feldspato é o termo empregado para denominar um grupo de minerais constituídos de aluminossilicatos de potássio, sódio e cálcio, sendo os mais comuns os ricos em potássio (ortoclásio e microclínio) e o sódico (albita) com características fundentes, muito utilizados em massas cerâmicas porcelanizadas e na produção de fritas cerâmicas.

A principal fonte de feldspato são os pegmatitos, marcado pelo tamanho cristais, pureza e abundância. O Brasil é um grande produtor de feldspato, principalmente no nordeste do país; destacam-se as Províncias da Borborema a do oeste do Estado de Minas Gerais onde encontram-se os principais pegmatitos do Brasil (LUZ, A. B. FREITAS LINS, F. A., 2008, p. 472).

Observa-se, que, as rochas quartzo-feldspáticas são fontes na obtenção de feldspato, sendo necessário buscar um processo de beneficiamento eficiente de segregação. Na obtenção de feldspato a partir das rochas, pode ser utilizado um beneficiamento mais simples que envolve britagem, moagem e separação magnética ou mais complexos que além dos processos citados acima, utiliza-se a flotação.

Como o transporte no Brasil é extremamente oneroso, sempre se busca alternativas de fundentes regionalizadas. Por este motivo, existe hoje no mercado novos fundentes como as rochas alcalinas de Lages (fonólito e nefelina-sienito) e os anortositos do Rio Grande do Sul.

2.4 BENEFICIAMENTO DE ROCHA QUARTZO-FELDSPÁTICA

A obtenção de feldspato é realizada a partir do beneficiamento de pegmatitos (uniminerálicos e poliminerálicos), porém pode ser também obtido a partir rochas quartzo-feldspáticas como é o caso da rocha granítica. O processo de beneficiamento tem por objetivo concentrar os minerais de interesse, neste caso o feldspato alcalino e o plagioclásio e eliminar os minerais deletérios como a biotita, o rutilo e outros minerais de ferro e titânio. Os processos mais utilizados para a obtenção de um feldspato de qualidade a partir de uma rocha granítica são a cominuição (britagem e moagem) e separação magnética. A flotação é um processo mais

sofisticado e por consequência mais caro, porém, com resultados muito interessantes em termos de obtenção de um produto de qualidade; contaminantes que não são possíveis de eliminação com a separação magnética, a flotação entra em cena para melhorar a eficiência do processo de beneficiamento.

2.4.1 Flotação

A seletividade na flotação reside no fato de que as superfícies de diferentes espécies minerais podem apresentar distintos graus de hidrofobicidade cuja característica está associada à sua umectabilidade ou “molhabilidade” pela água; partículas mais hidrofóbicas são menos ávidas por água, onde o conceito oposto à hidrofobicidade é designado como hidrofilicidade. (CHAVES, A. P. 2013, p.11).

O processo de flotação por espumas é a modalidade mais utilizada na tecnologia mineral para concentração de minerais e apresenta termos técnicos específicos para definir a maneira de como a flotação é conduzida. Os processos de flotação mais comuns são as seguintes (BERALDO, 1983, apud CHAVES; FILHO; BRAGA, 2010, p.469).

- Flotação direta: é quando os minerais de interesse são separados através de espumas e os minerais de ganga acompanham o fluxo da polpa mineral.
- Flotação reversa: é quando os minerais de ganga são separados através de espumas e os minerais de interesse permanecem na polpa mineral.

A empresa Mineração N.S. do Carmo, já utiliza o processo de flotação no minério primário para obtenção do seu produto, o processo completo envolve a lavagem e moagem do minério, sistema de separação magnética, condicionamento da polpa com reagente em tanque e direcionamento da mesma até o conjunto de células de flotação. Na alimentação, a polpa condicionada entra em contato com bolhas de ar, onde, as partículas que não possuem afinidade com a água são arrastadas pelas mesmas, formando uma espuma na superfície da célula (overflow), já as partículas que tem maior afinidade com a água permanece na polpa até a

depressão (anderflow), e assim é possível a separação (segregação). Uma característica importante na flotação é uso de reagentes para potencializar o desempenho da separação. São coletores, depressores e espumantes que devem ser adicionados ao processo e controlados de acordo com a alimentação do material a ser beneficiado.

Os coletores São aqueles reagentes que atuam na interface sólido/líquido (surfatantes), alterando a superfície mineral, que passa de caráter hidrofílico para hidrofóbico. São compostos heterogêneos constituídos de um grupo inorgânico ativo e uma cadeia hidrocarbônica. A parte inorgânica (polar) da molécula é a porção coletora que adsorve na superfície mineral. Por sua vez a cadeia hidrocarbônica (apolar) promove a hidrofobicidade da superfície mineral. O tipo de coletor usado é o produto Tall oil, que é uma substância amarela escura derivada da polpação química de madeiras de pinho. É composta por uma mistura de resinas, ácidos graxos, esteróis, álcoois e alguns outros materiais não ácidos.

Os espumantes, como a mera passagem de um fluxo de ar pela polpa não é suficiente para carrear as partículas hidrofóbica, faz-se necessária a formação de uma espuma estável, que é obtida pela ação dos espumantes. Trata-se de espécies químicas que adsorvem na interface ar/água e reduzem a tensão superficial, criando condições propícias para a geração de espumas estáveis, e têm, ainda, a importante função de atuar na cinética da interação partícula-bolha, fazendo com que o afinamento e a ruptura do filme líquido ocorram dentro do tempo de colisão. O reagente usado como espumante é o MibCol (Metil Isobutil Carbinol), líquido incolor, composição com álcoois, éteres e seus derivados.

2.4.2 Separação magnética

A separação magnética é uma técnica que pode ser aplicada tanto a seco como a úmido, qualificando uma matéria-prima para um fim mais nobre por consequência agregando valor econômico. O método a seco é usado, em geral, para minérios de granulometria grossa e o método a úmido para aqueles de granulometrias mais finas (LAWVER e HOPSTOCK, 1974; MIHALK, 1979; NORRGRAN, 1990; SVOBODA e FUJITA, 2003, apud SAMPAIO *et al*, 2018, p.341).

Minerais ferromagnéticos compreendem aqueles que são fortemente atraídos pelo ímã comum. O campo de aplicação da separação magnética é muito amplo, é usada na concentração de vários minerais ferrosos e não ferrosos, na remoção de impurezas magnéticas contidas nos minerais industriais, na purificação de águas residuais, na remoção e reciclagem de metais contidos em resíduos industriais, etc. (SVOBODA e FUJITA, 2003, apud SAMPAIO *et al*, 2018, p.342).

O aprimoramento dos ímãs, em particular os que contém terras-raras na sua estrutura contribuiu para inovar na área da tecnologia de separação magnética.

O controle da intensidade de campo magnético permite uma separação seletiva das partículas minerais com diferentes valores de susceptibilidade magnética; baixas intensidades de campo magnético são capazes de separar minerais com elevada susceptibilidade magnética, enquanto altas intensidades são necessárias para separar minerais com valores de susceptibilidade magnética baixos. O controle da intensidade do campo pode ser efetuado pelo emprego de eletroímãs, fazendo variar a corrente elétrica (STEINBERG *et al.*, 2014, apud SAMPAIO *et al*, 2018, p.346).

2.5 GEOLOGIA

A rocha quartzo-feldspática beneficiada pela Mineração Nossa Senhora do Carmo Ltda está inserida na Suíte Intrusiva Pedras; refere-se a um saibro (alteração incipiente do granito) de onde são gerados os rejeitos obtidos para este estudo.

2.5.1 Suíte Intrusiva Pedras Grandes

A Suíte Intrusiva Pedras Grandes anteriormente considerada como componente do "Embasamento Cristalino" constitui um imenso batólito alongado no sentido meridiano, alcançando 150 km, desde as proximidades de Biguaçu na extremidade setentrional, até as proximidades de Criciúma no sul. Ao norte aflora de maneira fragmentária, por 25 km até Governador Celso Ramos, resultando numa área aflorante de cerca de 4500 m², da qual, cerca de 2/3 situa-se dentro dos limites atuais do Craton de Itapema.

Petrograficamente são sienogranitos e granodioritos caracterizados por pertíticos e mais raramente, microclínio (Granitóides da classe II-A) de Tuttle; Bowen (1958).

A Suíte Plutono-Vulcânica Pedras Grandes refere-se ao expressivo magmatismo terminal do ciclo brasileiro que ocorre no domínio interno do cinturão Dom Feliciano. A principal idade desses corpos é evidenciada pelos resultados Rb/Sr isocrônicos obtidos para o Granito Alaskítico da Barra do Rio dos Bugres (516 ± 12 Ma). Os tufos do Cambirela indicaram igualmente em isócronas Rb(Rubídio)-Sr(Estrôncio) em rocha total, a idade de 552 ± 17 Ma.

A idade mais antiga possível para esta Suíte é de 580 Milhões de anos, que foi o valor mais jovem encontrado para a Suíte São Pedro de Alcantara. A idade de 550 Milhões de anos, representaria o valor provável para o clímax desse magmatismo, pois coincidiria com um importante evento termal regional que foi registrado pela maioria das determinações K(Potássio)-Ar(Argônio) em minerais separados, (SILVA, L. C.; BORTOLUZZI, C. A., 1987)

As rochas graníticas pertencentes à Suíte Intrusiva Pedras Grandes podem apresentar-se parcialmente alterados na forma de saibro granítico, como é o caso da jazida pertencente a Mineração Nossa Senhora do Carmo Ltda.

2.6 LEGISLAÇÃO MINERAL

Recentemente a Agência Nacional de Mineração editou a Resolução ANM 85/2021. Nesta Resolução, a ANM passou a reconhecer rejeitos possíveis de re-beneficiamento e aplicações em um novo recurso mineral.

A Resolução ANM N° 85, dispõe sobre os procedimentos para o aproveitamento de rejeitos e estéreis. O aproveitamento de rejeitos e estéreis passou a constar expressamente do conceito de atividade de mineração, nos termos do art. 5º do Decreto n° 9.406, de 12 de junho de 2018.

De acordo com o Art. 3º desta resolução, “o aproveitamento dos rejeitos e dos estéreis independe da obtenção de nova outorga mineral, quando vinculados à mina onde foram gerados e exercido pelo titular do direito minerário em vigor.”



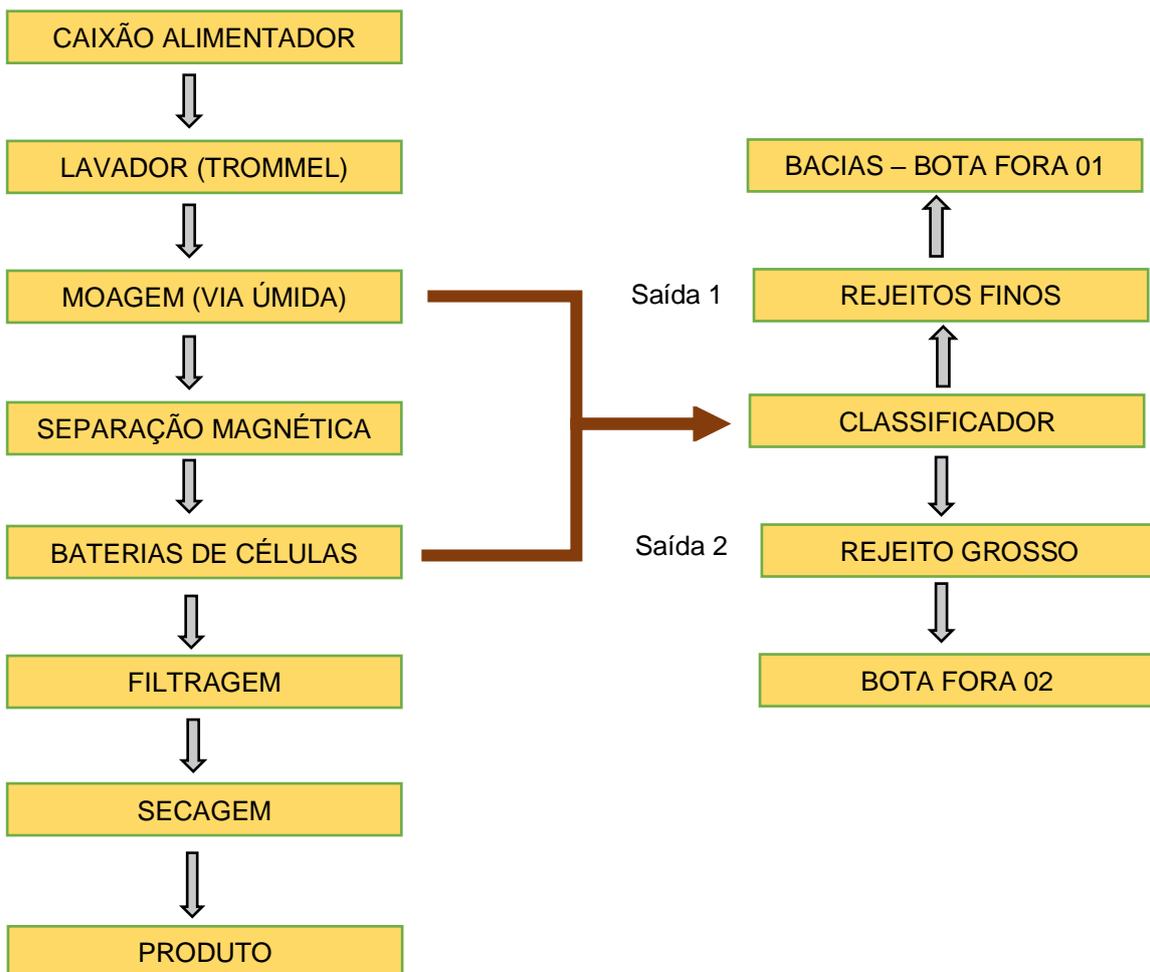
Para o aproveitamento de rejeitos e estéreis, existe a necessidade de comunicar a Agência Nacional de Mineração – ANM sobre o recurso mineral a ser comercializado e faz-se necessário a atualização do Plano de Aproveitamento Econômico e Plano de Lavra.

2.7 GERAÇÃO DO REJEITO

A Mineração Nossa Senhora do Carmo Ltda utiliza no seu processo operacional de beneficiamento o sistema de flotação, onde, obtém a recuperação do concentrado mineral (feldspato) e ocasionando a geração de rejeitos, que é intrínseco da atividade.

A Figura 1 mostra o fluxograma operacional da Mineração Nossa Senhora do Carmo Ltda. Os rejeitos do sistema de beneficiamento são gerados em duas no processo de moagem (via úmida) e na bateria de células de flotação.

Figura 1: Rota de beneficiamento da produção de feldspato.



Fonte: Do Autor (2022)

Conforme as saídas, os rejeitos se direcionam ao classificador helicoidal que faz a função de desaguar a polpa, onde são gerados o rejeito mais grosso com uma granulometria em torno de 48 mesh e outro mais fino com granulometria em torno de 100 mesh.

O rejeito mais grosso é obtido na saída do equipamento classificador, onde é coletado e transportado por caminhões para o depósito de rejeitos (Fig. 2).

Figura 2: Rejeito grosso na saída do classificador (A,B).



Fonte: Do Autor (2022)

O rejeito mais fino é direcionado às bacias de decantação, pois a sua consistência é de uma polpa bastante líquida; nestas bacias, ocorre a sedimentação natural, onde, após algum tempo é recolhido através de um “drag line” e transportado por caminhões para outro pátio preparado para receber este tipo de rejeito. Este rejeito é obtido, também, no classificador, representado pela parte líquida (polpa) oriundo do beneficiamento no sistema de flotação (Fig. 3).

Figura 3: Separação do rejeito fino e direcionamento às bacias de decantação.



Fonte: Do autor (2022)

Atualmente, os rejeitos não estão tendo uma aplicação que seja considerada viável economicamente devido a presença de impurezas. Por este motivo, estão sendo estocados em pátios nas dependências da empresa caracterizando, além do espaço utilizado um problema ambiental. A Figura 4 mostra os depósitos de rejeitos grosso e fino.

Figura 4: Pátio rejeito grosso (A) e fino (B)

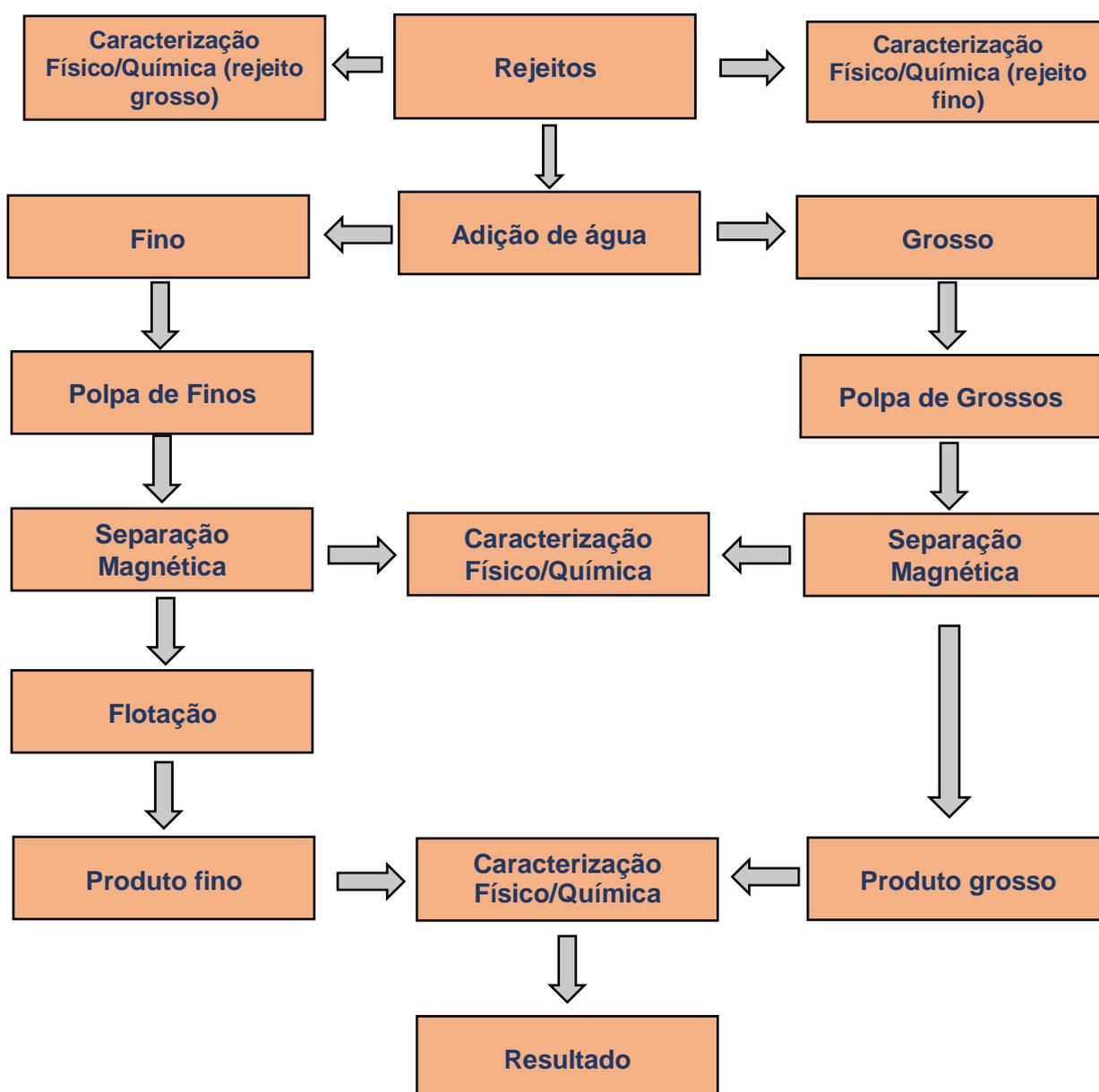


Fonte: Do autor (2022)

4 PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

O fluxograma abaixo (Figura 5) mostra a rota dos ensaios realizados em bancada para a caracterização das amostras e obtenção dos produtos pós beneficiamento.

Figura 5: Procedimento experimental e caracterização das amostras



Fonte: Do autor (2022)

A secagem e a caracterização física das amostras foram realizadas nas dependências da Mineração Nossa Senhora do Carmo Ltda e a realização das análises químicas no SENAI – Criciúma (SC).

As amostras estudadas referem-se a rejeitos oriundos do beneficiamento de uma rocha quartzo-feldspática, resultantes do processo de beneficiamento para a produção de feldspato realizado pela Mineração Nossa Senhora do Carmo Ltda, tendo como processo principal na rota do beneficiamento a flotação. As amostras foram coletadas na barragem de rejeito e depósito de rejeitos; na barragem e no depósito são encontrados o rejeito fino e o grosseiro, respectivamente. As amostras foram coletadas em vários pontos (barragem de rejeito e depósito de rejeitos), totalizando 2.000 kg, homogeneizadas com o auxílio de uma pá carregadeira e na sequência foram quarteadas até a alíquota de 10 kg cada uma.

Para a caracterização das amostras dos rejeitos e dos produtos gerados através do processo de beneficiamento em bancada, foram realizadas análises químicas por fluorescência de raios X, cones de fusão, ensaios de separação magnética e flotação reversa.

As análises químicas dos principais óxidos foram realizadas através da técnica de espectrometria por fluorescência de raios X (FRX) por dispersão de comprimento de onda (WDS). Foram determinados os seguintes óxidos: SiO₂, Al₂O₃, TiO₂, Fe₂O₃, CaO, MgO, K₂O, Na₂O, MnO, P₂O₅ e PF. Foram realizadas as análises químicas das amostras originais (rejeitos) e das amostras com os melhores resultados identificados através da queima dos cones de fusão.

O material não flotado (“*underflow*”) foi submetido à próxima etapa de beneficiamento que foi a separação magnética.

A separação magnética tem como objetivo purificar a amostra através da retirada dos minerais deletérios presentes nas amostras de rejeitos ensaiadas. As amostras rejeitos (fino e grosso) foram submetidas a separação magnética com um ímã de 9.000 Gauss.

Os cones de fusão têm como objetivo determinar a fusibilidade do mineral e/ou rocha, cor e a existência ou não de minerais contaminantes (PICCOLI. R, 2005, p. 21).

No processo de flotação reversa, foram separadas amostras 3.000 gramas de cada tipo de rejeito (fino e grosso); as amostras ensaiadas não passaram por processo de cominuição, foram ensaiadas na malha original quando da geração do rejeito na obtenção do feldspato. No processo de flotação foi utilizado um flotador de bancadas marca DENVER model D-12.

A flotação seguiu a seguinte rota:

- Foi colocado no recipiente do flotador 9,0 litros de polpa do minério (30,0% de sólidos);
- O equipamento foi acionado, onde, o rotor do flotador fez a dispersão da polpa durante 60 segundos;
- A partir da dispersão, adicionou-se os reagentes à polpa, o equivalente a $2,42 \times 10^{-4}$ kg/t de “*tall oil*” e o equivalente a $5,3 \times 10^{-5}$ kg/t de “*Methyl isobutyl carbinol*” MIBC
- Condicionou-se a polpa junto com os reagentes durante 60 segundos;
- Após o condicionamento, liberou-se a válvula de ar e aplicado ar comprimido para início da flotação;
- O processo de flotação perdurou por 40 minutos. No material flotado por transbordo da espuma (“*overflow*”) saiu os contaminantes.

4 RESULTADOS E DISCUÇÕES

Os rejeitos objeto de estudo apresentados neste trabalho são provenientes do beneficiamento da Mineração Nossa Senhora do Carmo Ltda, localizada no município de Morro da Fumaça, Estado de Santa Catarina. Os rejeitos são resultantes do processo de beneficiamento de rocha quartzo-feldspática parcialmente alterada na forma de saibro (saibro granítico), pertencente à associação geológica conhecida tecnicamente como Suíte Intrusiva Pedras Grandes constituída de rochas ácidas plutônicas e vulcânicas.

4.1 DISTRIBUIÇÃO GRANULOMÉTRICA

Os rejeitos objeto deste trabalho apresentam as seguintes distribuições granulométricas (Quadro 1).

Quadro 1 – Distribuição granulométrica dos rejeitos

MALHAS (mesh)	REJEITO FINO (%)	REJEITO GROSSO (%)
48	50,62	58,68
60	11,82	14,58
100	15,32	6,96
200	15,21	8,51
<200	6,86	11,24

A separação dos rejeitos é realizada no final do processo, no classificador, onde, a espiral separa os rejeitos mais grossos e os finos; os grossos são coletados no local e direcionados ao pátio de rejeitos e os finos, na forma de polpa, são direcionados às bacias de decantação.

4.2 CONES DE FUSÃO

A Figura 6 (A, B e C) apresentam os resultados das queimas através dos cones de fusão dos rejeitos brutos (grosso e fino) e produtos gerados a partir dos beneficiamentos; também um produto gerado pela mistura dos dois anteriores.

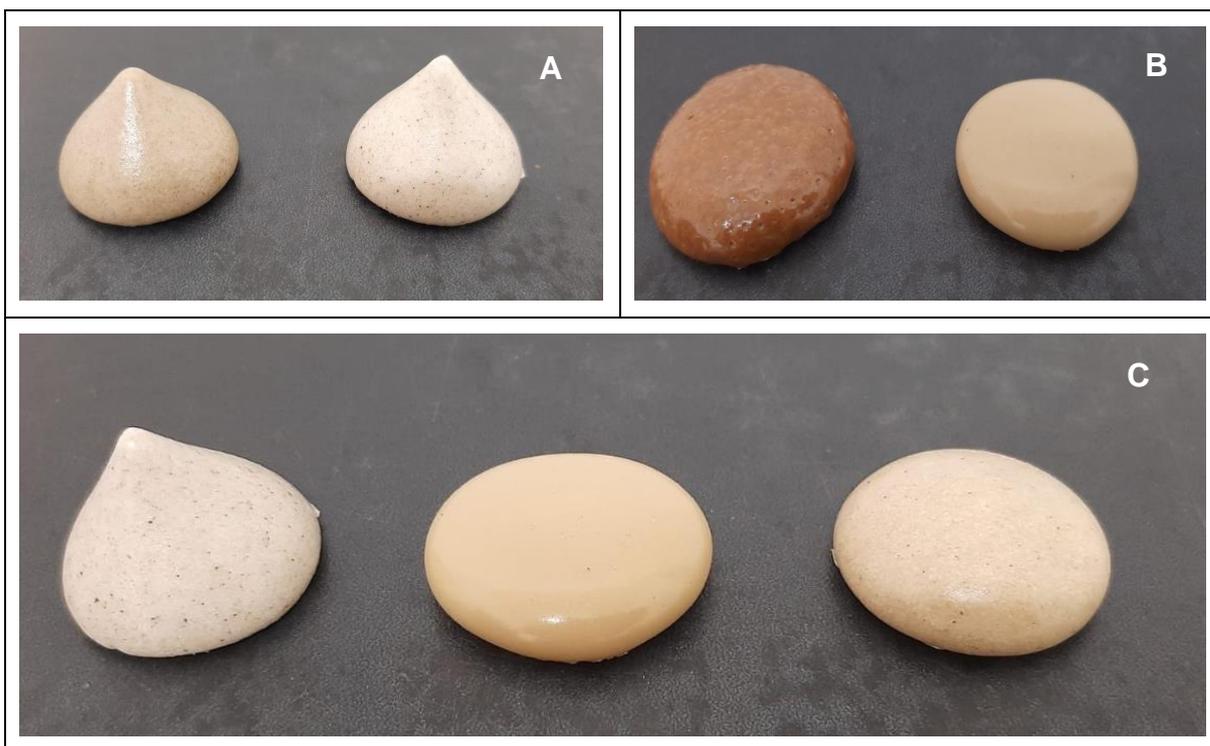


Figura 6 – Cones de Fusão dos rejeitos – rejeito grosso e produto (A), Rejeito fino e produto (B) e os três produtos gerados do rejeito grosso, do fino e a mistura dos dois (C) .

Fonte: Autor (2022)

A Fotografia A mostra o cone de fusão da rocha granítica do material bruto (pó de pedra moído), a Fotografia B apresenta o cone de fusão do material beneficiado (moído e submetido a separação magnética) e a amostra da Fotografia C moída e submetida ao processo de flotação e separação magnética.

Pelos resultados alcançados, o produto (B) obtido através da separação magnética pode ser aplicado na fabricação de grés porcelanato esmaltado e a amostra (C) que foi submetida ao processo de flotação e separação magnética, em grés porcelanato técnico.

4.3 ANÁLISES QUÍMICAS

Os Quadros 2 e 3 mostram os resultados das análises químicas dos rejeitos ensaiados, antes e após o beneficiamento (separação magnética e flotação).

Quadro 2: Resultados das análises químicas, rejeito fino bruto e beneficiado

REJEITO FINO		
COMPOSTOS QUÍMICOS	REJEITO BRUTO	REJEITO BENEFICIADO (FLOTAÇÃO E SEPARAÇÃO MAGNÉTICA)
SiO₂	56,356	65,394
Al₂O₃	23,346	19,715
TiO₂	0,789	0,151
Fe₂O₃	5,190	1,987
CaO	1,641	0,681
MgO	0,686	0,204
Na₂O	2,450	4,053
K₂O	4,756	5,793
PF	4,530	1,974

Os resultados das análises químicas do rejeito fino com a separação magnética e flotação, houve uma redução do ferro total de 5,190 para 1,987% (redução de 61,89%) e do titânio de 0,789 para 0,151 (redução de 80,00%), reduções estas interessantes para melhorar a cor de queima. Observa-se, que, a combinação dos dois processos (separação magnética e flotação) mostrou-se muito eficientes. Com a retirada do ferro, observa-se um incremento do percentual de potássio (K₂O) de 4,756 para 5,793% e do sódio (Na₂O) de 2,450 para 4,053%. O somatório dos elementos alcalinos e alcalinos terrosos subiu de 9,533 para 10,731%. Como os minerais que contém cálcio e magnésio tem mais afinidade com ferro, acabam sendo retirados junto com os minerais magnéticos, conforme constatado nos resultados das análises químicas.

Quadro 3: Resultados das análises químicas, rejeito grosso bruto e beneficiado.

REJEITO GROSSO		
COMPOSTOS QUÍMICOS	REJEITO BRUTO	REJEITO BENEFICIADO (SEPARAÇÃO MAGNÉTICA)
SiO ₂	70,940	76,418
Al ₂ O ₃	14,546	12,853
TiO ₂	0,777	0,271
Fe ₂ O ₃	3,021	1,351
CaO	1,563	1,164
MgO	0,415	0,120
Na ₂ O	2,722	2,603
K ₂ O	3,904	4,102
PF	1,554	1,005

Obs.: Devido a granulometria do rejeito grosso, a flotação não se mostrou eficaz, por este motivo foi realizada somente a separação magnética.

Os resultados das análises químicas do rejeito grosso com a separação magnética, houve uma redução do ferro total de 3,021 para 1,351% (redução de 55,28%) e do titânio de 0,777 para 0,271% (redução de 65,12%), reduções estas consideradas interessantes para melhorar a cor de queima. Observa-se, que, com a separação magnética observou-se uma pequena redução de potássio (K₂O) de 2,722 para 2,603% e um pequeno incremento do sódio (Na₂O) de 3,904 para 4,102%.

O somatório dos elementos alcalinos e alcalinos terrosos reduziu de 8,604 para 7,989%. Igualmente, ao rejeito fino, os minerais que contém cálcio e magnésio tem maior afinidade com ferro e acabam sendo retirados junto com os minerais magnéticos, conforme constatado nos resultados das análises químicas. Comparando os resultados das análises dos rejeitos fino e grosso, o primeiro, embora apresente um percentual de ferro maior, se mostra mais interessante em relação ao segundo devido ao maior percentual de elementos fundentes contidos.

Existe a possibilidade de compor uma mistura entre os dois produtos (fino e grosso) nos seguintes percentuais 60 e 40%, respectivamente, de acordo com a sua geração no processo de produção de feldspato.

Os resultados apresentados nos cones de fusão através da retração, brilho e cor de queima e os resultados das análises químicas, os credenciam como produtos fundentes alternativos e que podem ser usados com sucesso em massas

porcelanizadas, especificamente em produto esmaltado devido a cor observada nos cones de fusão.

4.4 VIABILIDADE ECONÔMICA

Para ambos os produtos, não será necessário passar por um novo processo de cominuição, pois, já foram submetidos a este, assim somente a separação magnética e flotação. O produto gerado a partir do rejeito fino, vai ser submetido a separação magnética e flotação, já o produto gerado a partir do rejeito grosso vai ser submetido somente ao processo de separação magnética, porque para esta granulometria a flotação não funciona.

Abaixo, apresenta-se os custos operacionais para a obtenção dos referidos produtos:

- Diretos: Tem relação direta com a quantidade produzida, pois, envolve consumo de energia, reagentes, combustíveis, etc.
- Indiretos: Independem da produção realizada, pois, a mão de obra e administrativa são fixas, etc.
- Gerais: Despesas com comercialização, serviços financeiros dentre outros.

Através de um custo conhecido para produzir o seu produto comercializado atualmente, apresenta-se uma estimativa para se chegar ao valor base final dos produtos gerados a partir do rejeito de granulometria grossa e o de granulometria fina.

Produto gerado a partir do rejeito de granulometria Grossa: Como já informado, para este produto não vai se utilizar o sistema de flotação, apenas a separação magnética; abaixo, mostra-se os custos que envolve a geração deste produto.

- Diretos  **R\$ 67,00/h**
- Indiretos:  **R\$ 13,40/h** (20% do custo direto)
- Gerais:  **R\$ 1,34/h** (2% do custo direto)

Total : R\$ 81,74 /h

Para uma quantidade 5.000 kg/h (base seca) do produto gerado a partir do rejeito granulometria grossa, chegou-se ao custo total de **R\$ 19,60/t**, considerando os impostos incidentes. Considerando uma margem de contribuição de 40%, o este produto poderá ser comercializado ao valor de **R\$ 27,44/ ton** (FOB mina).

Produto gerado a partir do rejeito de granulometria Fina: Este produto será obtido através da separação magnética e flotação; abaixo, mostra-se os custos que envolve a geração deste produto.

- Diretos  **R\$ 82,00/h**
- Indiretos:  **R\$ 16,40/h** (20% do custo direto)
- Gerais:  **R\$ 1,64/h** (2% do custo)

Total : R\$ 100,04 /h

Para a quantidade do rejeito granulometria fina temos o dado estimado de produção de 4.500 kg/h base seca. Conforme esse dado temos o seguinte custo por tonelada o valor de **R\$ 26,68/ton**, considerando os impostos incidentes. Considerando uma margem de contribuição de 40%, o este produto poderá ser comercializado ao valor de **R\$ 37,35/ ton** (FOB mina).

Como já informado, pode ser gerado um novo produto na mistura dos dois anteriores na proporção de 60% fino e 40% grosso. Este produto poderá ser comercializado a **R\$ 33,40/t** (FOB mina).

Os valores de vendas informados para os 3 produtos são plenamente factíveis, tendo em vista mostrarem-se abaixo dos valores praticados no mercado para materiais fundentes. Para as indústrias cerâmicas de Santa Catarina, vai se ter mais um ganho econômico relacionado ao transporte, quando comparado a outras matérias-primas vindas de outros estados.

5 CONCLUSÃO

A transformação de um rejeito em matéria-prima, além do ganho econômico existe uma conquista ainda maior que é a solução de um problema ambiental e de espaço de armazenamento.

Com o advento do grés porcelanato, identifica-se uma demanda acentuada e crescente de matérias-primas fundentes por parte das indústrias cerâmicas do Sul de Santa Catarina, a qual vem ao encontro da importância da realização deste estudo de caracterização física e química e aplicação de rejeitos resultantes do beneficiamento de quartzo-feldspática por parte da Mineração Nossa Senhora do Carmo Ltda. No beneficiamento dos rejeitos, mostraram-se eficientes a separação magnética para o rejeito grosso e a separação magnética e flotação para o rejeito fino.

Os resultados das análises químicas mostraram, que, com o tratamento do rejeito fino (separação magnética e flotação) houve uma redução do ferro total de 5,190 para 1,987% (redução de 61,70%) e um incremento do percentual de potássio (K_2O) de 4,756 para 5,793% e do sódio (Na_2O) de 2,450 para 4,053%.

Já com o tratamento do rejeito grosso (separação magnética), os resultados das análises químicas mostraram que ocorreu uma redução do ferro total de 3,021 para 1,351% (redução de 55,28%). Diferentemente do rejeito fino, observou-se que houve uma redução de potássio (K_2O) de 2,722 para 2,603% e um pequeno incremento do sódio (Na_2O) de 3,904 para 4,102%. Os minerais que contêm cálcio e magnésio tem mais afinidade com ferro e acabam sendo retirados do sistema juntamente com os minerais magnéticos, conforme constatado as reduções destes elementos nos resultados das análises químicas.

Comparando os resultados das análises dos rejeitos fino e grosso, o primeiro, embora apresente um maior percentual de ferro, se mostra mais interessante em relação ao segundo devido ao maior percentual de elementos fundentes contidos.

Através dos resultados de laboratório, observou-se que após o tratamento dos rejeitos através da separação magnética (rejeito grosso) e separação magnética e flotação (rejeito fino) foi possível obter matérias-primas com qualidades suficientes para aplicação em grés porcelanato esmaltado.

Por não necessitar submeter os rejeitos a um novo processo de cominuição, mesmo com os custos de reagentes utilizados na flotação e a utilização

de separador magnético, os custos são considerados compatíveis aos produtos ofertados no mercado.

Em síntese, foi possível transformar rejeitos em matérias-primas (fundente) para aplicação na produção de grés porcelanato esmaltado. Além de se vislumbrar ganhos econômicos, o mais importante é a solução de um problema ambiental sem solução até o momento.

Em relação a viabilidade econômica, os produtos gerados e comercializados com uma margem de contribuição de 40% são muito competitivos com os já existentes no mercado. Como informado, as indústrias cerâmicas de Santa Catarina, vão se ter mais um ganho econômico relacionado ao transporte, quando comparado a outras matérias-primas adquiridas de outros estados.

REFERÊNCIAS

- CHAVES, A. P. **Teoria e Prática do Tratamento de Minérios**. 2ª Edição. São Paulo: Editora Signus, 2002, v. 1.
- CHAVES, A. P. **Teoria e Prática do Tratamento de Minérios**. Vol. 4. São Paulo: Oficina de Textos, 2013.
- CHAVES, A. P.; L. FILHO, L. de S.; BRAGA, P. F. A. Flotação. In: LUZ, Adão Benvindo da.; SAMPAIO, J. A.; FRANÇA, S. C. A. (Ed.). **Tratamento de Minérios**. 5.ed. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2010
- COELHO J. M. & CABRAL Jr, M. 2007. **Panorama de mercado dos minerais industriais de pegmatito: destaque ao feldspato**. Currais Novos. 66 p. mimeografado.
- ESPÓSITO, T. J. **Metodologia probabilística e observacional aplicada a barragens de rejeito construídas por aterro hidráulico**. 2000. 363 f. Tese (Doutorado em Geotecnia) – Universidade Federal de Brasília, Brasília, 2000.
- H. L. LIRA, G. A. NEVES , **Feldspatos: conceitos, estrutura cristalina, propriedades físicas, origem e ocorrências, aplicações, reservas e produção** ,Revista Eletrônica de Materiais e Processos, v.8.3 (2013).
- HARBEN, P. W. (2002). **Feldspar. In Feldspar.: The Industrial Minerals HandyBook – A Guide to Markets, Specifications, & Prices**, 4th Edition, p.124-129.
- JESUS, C. A. G. **Sumário Mineral Brasileiro 2006 – Feldspato**. DNPM/MME. Arquivo digital 1(1): 4, 2006.
- LUZ, A.B.; SAMPAIO, J. A. ; FRANÇA, S. C. A. **Tratamento de Minérios**. 5. ed. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2010. p 341-342,346.
- LUZ, A. B. FREITAS LINS, F. A. **Rochas & Minerais Industriais**. 2 Ed. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2008. p. 472
- LUZ, A. B. (Ed.); SAMPAIO, J. A. (Ed.), FRANÇA, S. C. A. **Tratamento de Minérios**. 5ª Edição. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2010. 965p.
- ROSKILL, 2008. **The Economics of Feldspar**. 11a edição, publicado 01/03/2008. In:<http://www.roskill.com/reports/feldspar>. acessado em 26/05/2009.
- PICCOLI, R. **FORMULAÇÃO, Preparação e caracterização de massas porcelânicas baseadas em dióxido natural**. Data de defesa. 63 f. Dissertação (mestrado em materiais) – Engenharia de Materiais, Universidade Federal do Estado de Santa Catarina, Florianópolis 2005.



SEGEMAR, 2000. Feldspato y Mica, **SEGEMAR-Serviço Geológico Minero Argentino, INTEMIN – Instituto de Tecnologia Minera, IGRM- Instituto de Geologia y Recursos Minerales**, Publicación Técnica SEGEMAR – unsam no 5, 91 p.,marzo.

SILVA, L. C.; BORTOLUZZI, C. A. **Mapa geológico do Estado de Santa Catarina, Textos básicos de geologia e recursos de Santa Catarina**, escala 1:500.000. Florianópolis: Ciência e Tecnologia, Minas e energia, 1987.

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer de modo especial ao professor Márcio Luiz Gemerias, que foi orientador na elaboração do artigo pela disponibilidade e conhecimentos repassados, ao professor Richard de Medeiros Castro que auxiliou na formatação e elaboração da documentação envolve o projeto. Ao coordenador do nosso curso André Smaniotto pela sua dedicação ao nosso curso. Também ao apoio do pessoal da Mineração Nossa Senhora do Carmo, aos meus colegas de classe, especialmente Beatriz e ao César, sempre unidos no decorrer desta jornada.

A minha família, aos meus filhos Augusto e Lucas, em especial minha esposa Sabrina , que me apoio durante todo esse período e esteve ao meu lado sempre. A Deus que me iluminou em todos os passos.