

O BENEFICIAMENTO DE FELDSPÁTO NA PROVÍNCIA PEGMATÍTICA DA BORBOREMA, REGIÃO NORDESTE DO BRASIL.

Elbert Valdiviezo Viera¹; Gerson S. Ferreira²; Francisco W. Hollanda Vidal³

RESUMO - Os depósitos de pegmatitos na região Nordeste do Brasil, principalmente dos Estados da Paraíba e Rio Grande do Norte apresentam um volume de produção de minerais metalíferos, micas, e também de feldspatos nobres para fins cerâmicos e indústrias de vidros. Após a segunda Guerra Mundial intensificou-se a exploração dos minerais de tântalo e nióbio nesses pegmatitos, e atualmente por causa da demanda das indústrias dos setores de cerâmica, vidros, tintas, e papel ocorreu um redirecionamento para os minerais industriais. A lavra dos depósitos de pegmatitos, principalmente aqueles ricos em feldspato, quartzo e mica, é efetuada de forma semimecanizada, e geralmente ocorre a céu aberto. O minério lavrado é processado em pequenas unidades de beneficiamento, localizadas nos municípios de Pedra Lavrada/PB, Nova Palmeira/PB e em unidades de médio porte localizadas em Parelhas/RN. Essas pequenas unidades pertencem às cooperativas Coogarimpo e Coomipel, nas quais o beneficiamento mineral consiste de britagem, peneiramento, moagem e classificação. Nessas etapas são utilizados britadores de mandíbula, britador/moinho de martelos, peneiras fixas, peneiras vibratórias, moinhos de seixos, moinhos de impacto e classificadores pneumáticos. Neste trabalho é apresentado o estado da arte do processo de beneficiamento e descrição das etapas empregadas para obtenção do feldspato a partir desses pegmatitos.

Palavras-chave: Pegmatitos; feldspatos; beneficiamento; fluxograma.

FELDSPAR PROCESSING AT THE BORBOREMA PEGMATITIC PROVINCE, NORTHEAST OF BRAZIL

ABSTRACT - Pegmatite deposits in the northeastern of Brazil, mainly in the states of Paraíba and Rio Grande do Norte, have a volume of production of metalliferous minerals, micas, and also feldspars for ceramics and glass industries. After the Second World War the exploitation of the tantalum and niobium minerals in these pegmatites was intensified, and today, due to the demand of the industries of the ceramic, glass, paint, and paper sectors, a redirection has occurred for industrial minerals. Pegmatite deposits, especially those rich in feldspar, quartz and mica, are made semi-mechanically and usually occur in the open pit. Ores mining is processed in small beneficiation units, located in the municipalities of Pedra Lavrada/PB, Nova Palmeira/PB and other units located in Parelhas/RN. Small units belong to the cooperatives Coogarimpo and Coomipel, in which the mineral processing consists of crushing, sieving, grinding and classification. In these steps jaw crushers, crusher hammer, fixed sieves, vibrating sieves, pebble mills, impact mills and pneumatic classifiers are used. In this work the state of the art of processing and description of stages used to obtain feldspar from these pegmatites are presented.

Keywords: Pegmatites; feldspar; ore processing; flowsheet.

¹Professor Associado. Unidade Acadêmica de Mineração e Geologia, Universidade Federal de Campina Grande UFCG. Av. Aprígio Veloso, 882, Bloco BY, Campina Grande, PB. CEP 58109-970, Brasil. E-mail: elbertvaldiviezo@hotmail.com.

²Engenheiro de Minas. Universidade Federal de Campina Grande. Av. Aprígio Veloso, 882, Bloco BY, Campina Grande, PB. CEP 58109-970, Brasil.

³Pesquisador Titular do Centro de Tecnologia Mineral (CETEM/MCTI). Chefe da Coordenação de Apoio Técnico às Micro e Pequenas Empresas (CATE). Av. Pedro Calmon, 900, Cidade Universitária, CEP 21941-008, Rio de Janeiro, RJ. E-mail: fhollanda@cetem.gov.br.

1. INTRODUÇÃO

Os depósitos e ocorrências de pegmatitos são uma importante fonte de minerais econômicos, tais como quartzo, feldspato, caulim, micas e gemas (Coelho, 2009). Também são fontes principais ou exclusivas de alguns metais raros como tântalo, lítio, berílio, nióbio, entre outros, contidos em espécies minerais como tantalita, columbo tantalita, e outros tantalatos, espodumênio, e berilo, entre outros (Lima, 2002).

A Província Pegmatítica da Borborema (PPB) é uma região de domínio de pegmatitos, abrangendo parte dos Estados da Paraíba e do Rio Grande do Norte, com presença de corpos mineralizados, principalmente em Ta-Nb, Be, Sn, e Li. Outras áreas pegmatíticas também ocorrem no Estado do Ceará. A mineração de pegmatitos na Mesorregião do Seridó teve início na década de 1940, que teve incentivos resultado da cooperação do governo brasileiro com as Forças Aliadas durante a Segunda Guerra Mundial. Na ocasião, foi incentivada principalmente a produção de minerais de estanho, de berílio, de lítio e de tântalo. Com o fim do conflito, houve uma queda de produção, mas formou-se na região uma cultura mineira que persiste até os nossos dias (Luz *et al.*, 2003).

No Estado da Paraíba, as atividades mineiras que ocorrem nas cidades de Pedra Lavrada e Nova Palmeira, concentram-se principalmente na extração e beneficiamento de minerais de pegmatitos, que vêm sendo exploradas na região desde meados do século passado. Na execução da lavra nos garimpos, e nos processos de beneficiamento, são gerados resíduos em grande quantidade, e geralmente tem destino final inadequado, apresentando um enorme desperdício de material e degradação ambiental. Como é de regra, esses resíduos poderiam ter outros destinos, como aplicações especiais nas diversas indústrias de transformação (Luz *et al.*, 2003; Luz *et al.*, 2008).

As cooperativas COOGARIMPO (Cooperativa de Pequenos Mineradores de Nova Palmeira) e COOMIPEL (Cooperativa de Pequenos Mineradores de Pedra Lavrada), localizadas no município de Nova Palmeira e Pedra Lavrada, Estado da Paraíba foram selecionadas para este trabalho devido a sua importância para economia da região, e também porque suas unidades de beneficiamento representam o processo empregado para o beneficiamento desses pegmatitos, em particular o mineral feldspato.

Este trabalho visa apresentar o estado da arte do beneficiamento de pegmatitos, envolvendo as etapas de britagem, peneiramento, moagem e classificação, mostrando também os respectivos fluxogramas e a descrição desses, apontando as limitações e ineficiência do processo, em cada um dos casos analisados. Em uma fase posterior, em futuro trabalho, serão recomendadas alternativas para melhorias na eficiência do processo, em termos de otimização do beneficiamento de feldspato, nessas unidades. Essas melhorias tornam-se cada vez mais indispensáveis para que as empresas mineradoras, principalmente de pequeno porte, realizem essas atividades, conhecendo e aplicando, na prática, a racionalização dos recursos minerais e a sua sustentabilidade. Este estudo objetivou em termos gerais efetuar uma avaliação técnica do processamento do feldspato.

2. METODOLOGIA

Inicialmente foram realizadas visitas de campo às unidades de beneficiamento da Coogarimpo e da Coomipel para coleta de dados e de amostras. As dimensões dos equipamentos usados no processo foram determinadas, tais como boca de alimentação e boca de descarga dos britadores, diâmetro interno e comprimento do moinho de seixos, boca de alimentação e descarga do moinho de martelos, entre outros. Também foram coletados detalhes do layout da unidade para elaboração do respectivo fluxograma.

Com relação ao beneficiamento do feldspato empregado por essas cooperativas, consiste em passar o material por britador de mandíbula primário e um rebitador secundário, em seguida em moinhos de martelo ou em moinho de bolas de seixos, operando em circuito fechado ou aberto, com classificadores pneumáticos. Após o material ser britado, peneirado, moído e classificado, é ensacado em sacos de polietileno e colocado no pátio para estocagem do produto final, o qual irá ser comercializado.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Tabela I e II apresentam as dimensões dos britadores da cooperativa Coogarimpo, constituídos de um britador de mandíbulas primário e de um britador de martelo na etapa secundária. A boca de alimentação do britador de mandíbulas é de 275 x 410 mm, enquanto que a boca da descarga é de 275 x 34 mm. As dimensões do britador de martelo são de 660 mm de largura x 770 mm de altura. A abertura da tela é de 15,0 mm.

A razão de redução (R) determinada para esse britador de mandíbulas é 5,5. Essa razão de redução foi calculada considerando que o tamanho máximo da alimentação (“Top size”) é de 220 mm e o tamanho máximo do produto é de 40,0 mm (Tabela I). O feldspato em função de sua resistência mecânica é classificado como um mineral muito duro e daí que, essa razão de redução seria adequada, se o mineral a fragmentar fosse o microclínio (ou plagioclásio). Um britador de mandíbula deve ser ajustado para operar, na prática, com um R variando de 4 a 10. Sendo que, seleciona-se $R = 4$ para materiais de dureza muito dura ou extremamente dura e $R = 10$ para materiais de dureza muito frágil ou mole, ou seja, aqueles que são facilmente fragmentáveis (Luz *et al.*, 2010). Para o caso, do britador de mandíbulas primário usado na Coogarimpo, a razão de redução (R) deve ser ajustada entre 5 e 7, aproximadamente, dependendo do tipo de feldspato que irá ser fragmentado.

A cooperativa beneficia, normalmente, o microclínio (ou plagioclásio) e a albita, dois tipos de feldspato, que se diferenciam na sua composição química e na sua resistência mecânica. O microclínio é o feldspato potássico, que em termos de dureza, se assemelha à do quartzo. Já a albita é o feldspato sódico, possui menor dureza em relação ao microclínio. Para o caso do microclínio, por ser um mineral muito duro, deve ser usado exclusivamente britador de mandíbulas, em todas as etapas de fragmentação. A razão de redução recomendada deve ser $R = 5$ (ou não mais do que 6). Desaconselha-se uso do britador de martelos para esse mineral, devido ao risco de maior desgaste do equipamento, principalmente das barras de impacto. Para a albita, um mineral menos duro, pode ser usado o britador de mandíbulas ou também o britador de martelos. A razão de redução recomendada para esse caso deve ser $R = 6$ (ou 7).

A partir da distância entre as mandíbulas (275 mm) foi determinado que o tamanho máximo da alimentação (“Top size”) deve ser de 220 mm. Esse foi determinado pela relação: $Top\ size = 0,80 A$. Sendo A, a distância entre as mandíbulas, medida na boca de alimentação. O *Top size*, indica que esse britador não pode ser alimentado com blocos maiores que 220 mm, a fim de evitar problemas de obstrução, e para facilitar a passagem dos blocos, desde a boca de alimentação até a descarga do produto.

Tabela I – Dimensões do britador de mandíbula primário da Coogarimpo.

BRITADOR DE MANDÍBULA PRIMÁRIO	
Modelo	“Dodge” de 1 eixo.
Boca de alimentação (mm)	410 x 275
Boca de descarga (mm)	410 x 34
Granulometria do produto (mm)	≤ 40,0

Com relação ao britador de martelos, usado na etapa secundária, o mesmo é alimentado com o produto do britador de mandíbulas. A granulometria de alimentação é $< 40,0$ mm (Tabela I). O britador de martelos produz um material com tamanho inferior a 15,0 mm (Tabela II). Nesse caso, a razão de redução é de 2,7, aproximadamente. Não se conhece se foi usado algum critério técnico pela cooperativa para escolha desse valor de (R), ou foi devido apenas a critérios comerciais para atender a potencial comprador.

Tabela II – Dimensões do britador de martelo da Coogarimpo.

BRITADOR DE MARTELOS	
Comprimento x altura (mm)	660 x 770
Abertura da tela interna (mm)	≤ 15,0

Essa razão de redução não seria adequada para o britador de martelos. Para esse, um (R) de 6 a 7, seria mais recomendado. Por outro lado, desaconselha-se o emprego do britador de martelos para fragmentação de microclínio, devido a ele ser um mineral muito duro. O britador de martelos é mais apropriado para cominuir a albita, mineral menos duro. No entanto, quando a albita está associada ao quartzo, e quanto maior a porcentagem de quartzo, a abrasividade do minério também aumenta proporcionalmente. Os minérios muito abrasivos (porcentagem de quartzo > 15 %) não devem ser fragmentados em britador de martelos. A limitação desse equipamento decorre do mecanismo principal de fragmentação por impacto.

A Figura 1 apresenta o fluxograma de beneficiamento do feldspato da cooperativa Coogarimpo. O feldspato é beneficiado através das operações que consistem de uma britagem primária, seguindo uma britagem secundária. A unidade beneficia feldspato sódico (albita), que em geral é de boa qualidade, e ocasionalmente é associada a quartzo e a mica (moscovita). A cooperativa obtém como produto albita britada a $\leq 15,0$ mm para atender a empresas da indústria de fabricação de vidro.

O *Run of Mine* (ROM) vindo da mina de garimpo, é descarregado próximo à unidade de britagem, e em algumas ocasiões despejado direto no alimentador vibratório, do tipo grelha. Daqui o material passa para um britador de mandíbula primário e após a fragmentação, o material segue em uma correia transportadora até um silo. O silo alimenta o britador de martelos. O material britado apresenta uma granulometria ≤ 15 mm, e em seguida o feldspato é despejado numa pilha, que é o material que irá ser comercializado.

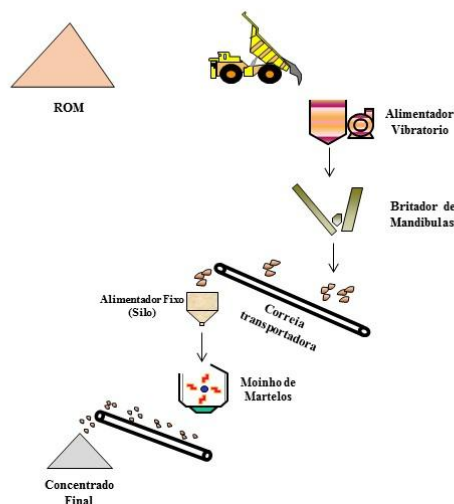


Figura 1 - Fluxograma de beneficiamento da cooperativa Coogarimpo.

A unidade de beneficiamento requer de alguns ajustes, principalmente do britador de martelos, que não opera com um (R) adequado. A razão de redução precisa ser reajustada, visando a obtenção de um produto com menor granulometria. A não ser, que por critérios comerciais, haja necessidade de produzir um produto com um tamanho ≤ 15 mm.

A Figura 2 apresenta parte da unidade de beneficiamento da cooperativa Coogarimpo em Nova Palmeira/PB.



Figura 2 – Detalhe da unidade de beneficiamento de feldspato da cooperativa Coogarimpo.

As Tabelas III e IV apresentam as dimensões dos britadores da cooperativa Coomipel, constituídos de britador de mandíbula primário e de um rebitador de mandíbula. A boca de alimentação do britador primário é de 360 x 240 mm, enquanto que a boca da descarga é de 360 x 90 mm. O rebitador de mandíbula apresenta uma boca de alimentação de 860 x 180 mm, enquanto que a boca da descarga é de 860 x 30 mm.

Tabela III – Dimensões do britador de mandíbulas primário da Coomipel.

BRITADOR DE MANDÍBULAS PRIMÁRIO	
Modelo	“Dodge” de 1 eixo.
Boca de alimentação (mm)	360 x 240
Boca de descarga (mm)	360 x 90
Granulometria do produto (mm)	≤ 102

Tabela IV – Dimensões do rebitador de mandíbulas da Coomipel.

REBITADOR DE MANDÍBULAS	
Modelo	“Dodge” de 1 eixo.
Boca de Alimentação (mm)	860 x 180
Boca de descarga (mm)	860 x 25
Granulometria do produto (mm)	≤ 30

O tamanho máximo da alimentação (“Top size”) é de 190 mm e o tamanho máximo do produto é de 102,0 mm (Tabela III). O *Top size* foi determinado pela relação: Tamanho máximo de alimentação = 0,80 A. Sendo A = 240 mm, a distância entre as mandíbulas, medida na boca de alimentação. Esse britador não pode ser alimentado com blocos ≥ 190 mm, a fim de evitar problemas de obstrução ou entupimento de material, desde a boca de alimentação até a descarga do produto.

A razão de redução (R) determinada para o britador de mandíbulas primário é 1,9. Essa razão de redução é inadequada já que evidencia uma subutilização do equipamento. A razão de redução (R) desse britador deve ser reajustada entre 5 e 6, no caso de fragmentar microclínio (ou plagioclásio), e de 6 a 7, no caso de fragmentar albita. A cooperativa beneficia, normalmente, o microclínio e a albita, separadamente.

Com relação ao rebitador de mandíbulas, o tamanho máximo da alimentação (“*Top size*”) é de 145 mm e o tamanho máximo do produto é de 35,0 mm (Tabela IV). O *Top size* foi determinado pela relação: $Top\ size = 0,80 A$. Sendo $A = 180\text{ mm}$, a distância entre as mandíbulas, medida na boca de alimentação. Esse britador será alimentado com blocos $\leq 145\text{ mm}$. A razão de redução (R) determinada para o rebitador de mandíbulas é 4,8. Essa razão de redução encontra-se um pouco abaixo do valor adequado (entre 5 a 7) considerando a resistência mecânica do feldspato.

Essas duas etapas de britagem ocorrem tanto para o microclínio quanto para a albíta, porém o processamento é em separado. Na continuação do beneficiamento, o microclínio vá para uma terceira etapa de fragmentação em um britador de martelos. Enquanto que, a albíta irá pra um circuito fechado de moagem, em um moinho de bolas de seixos de calcedônia.

Tabela V – Dimensões do britador de martelos da Coomipel.

BRITADOR DE MARTELO	
Comprimento x altura (mm)	660 x 775
Abertura da tela interna (mm)	$\leq 10,0$

A Tabela V apresenta as dimensões do britador de martelos. O microclínio fragmentado a $\leq 30\text{ mm}$ (Tabela IV) alimenta o britador de martelos. A razão de redução nessa terceira etapa é 3,0. O britador de martelos gera um produto com tamanho $\leq 10,0\text{ mm}$ (Tabela V). A Figura 3 mostra o britador de martelos sendo alimentado pela correia transportadora, na unidade de beneficiamento da Coomipel.



Figura 3 – Detalhe da correia transportadora alimentando o britador de martelos, na unidade de beneficiamento da cooperativa Coomipel.

Constatou-se que a unidade da Coomipel emprega três etapas de britagem para a albíta (feldspato menos duro), dessas, duas são realizadas em britador de mandíbulas e uma em britador de martelos. Enquanto que, o microclínio (feldspato muito duro) passa por duas etapas de fragmentação, e em seguida uma moagem fina em moinho de bolas de seixos. Esse moinho gera um produto com granulometria ≤ 200 malhas (0,074 mm). Nessa granulometria, a albíta moída finamente será comercializada para empresas do ramo de fabricação de vidro.

Observou-se que o circuito ou circuitos de beneficiamento precisam ser reavaliados e reajustados, considerando que não há coerência, e há falta de critério técnico, entre o ajuste dos equipamentos e as características de resistência mecânica dos materiais (feldspatos) que são fragmentados neles.

Com relação à fragmentação do microclínio (ou do plagioclásio), não há necessidade de três etapas, duas seriam suficientes, precisando, no entanto, reajustar a razão de redução dos britadores de mandíbulas. O britador de mandíbulas primário e o rebritador precisam ser ajustados para operar com a mesma razão de redução, porém adequando-a à dureza do mineral. A terceira etapa de britagem, em britador de martelos é desnecessária, primeiro porque esse equipamento não deve ser usado para fragmentar minerais muito duros ou de grande resistência mecânica. A granulometria gerada pelo britador de martelos pode muito bem ser obtida na segunda etapa realizada no rebritador de mandíbulas.

Com relação à fragmentação da albita, a etapa primária e a segunda etapa devem ser mantidas, no entanto, a razão de redução deve ser reajustada adequando-a à dureza da albita. Recomenda-se que o rebritador de mandíbulas seja reajustado para gerar um material com tamanho menor que 5,0 mm (ou $\leq 6,0$ mm) de forma que essa granulometria seria adequada para alimentar o moinho de bolas de calcedônia.

A Figura 4 mostra o *layout* de beneficiamento da cooperativa Coomipel. O feldspato é beneficiado através das operações de britagem, peneiramento, classificação e moagem, produzindo um feldspato de boa qualidade e de boa aceitação no mercado. Em alguns casos, beneficiam o feldspato com alguma proporção de quartzo, porém com preço inferior, para atender potenciais compradores. O *Run of Mine* do minério vindo da mina de garimpo, é descarregado próximo a unidade de beneficiamento, e às vezes despejado diretamente no alimentador vibratório, do tipo grelha.

O material passa por um britador de mandíbula primário, em seguida é repassado em um britador de mandíbula secundário. Após a fragmentação, segue em uma correia transportadora para formar uma pilha. Da pilha, o material é transportado por uma retroescavadeira para o silo e daqui para o britador de martelos. O produto apresenta uma granulometria ≤ 10 mm, sendo despejado em uma correia transportadora e conduzido a uma peneira vibratória. O material retido na peneira de 12 malhas ($\geq 1,68$ mm) é repassado por gravidade, em circuito fechado, para o britador de martelos. Já o passante da peneira, segue por gravidade para formar a pilha de feldspato com granulometria $\leq 1,68$ mm, para comercialização atendendo potenciais clientes.

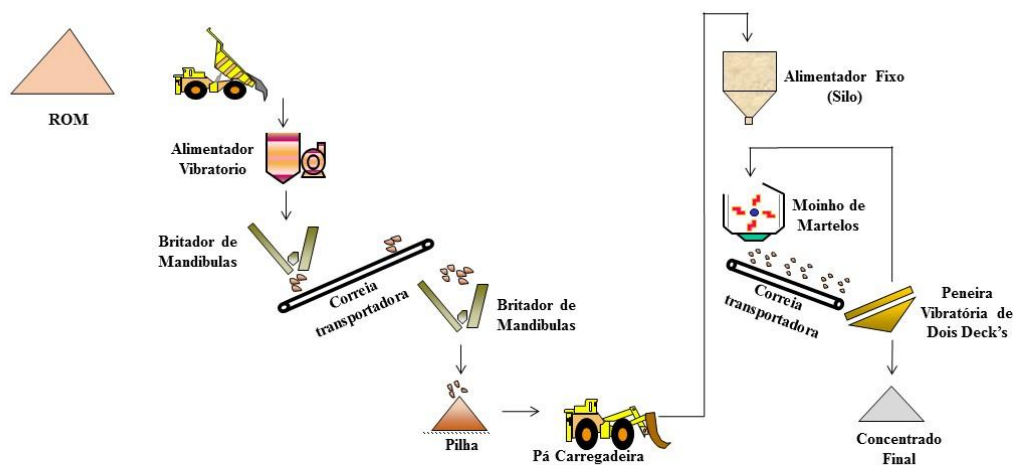


Figura 4 – Fluxograma do circuito de beneficiamento da cooperativa Coomipel.

4. CONCLUSÕES

Através do presente trabalho foi possível verificar e constatar as limitações técnicas existentes nas unidades de beneficiamento de feldspato localizadas na Província Pegmatítica da Borborema. As unidades de beneficiamento, conduzidas por cooperativas, ainda são bastante limitadas, em termos de conhecimento tecnológico. As cooperativas não dispõem de infraestrutura básica para realização de ensaios físicos essenciais de seus diferentes tipos de amostras, o que não lhes permite obter informações de seus minérios e produtos, necessárias para fins comerciais, visando atender à demanda das indústrias do ramo de cerâmica, vidro, e outras. O processamento mineral aplicado nas unidades de beneficiamento das cooperativas de Nova Palmeira e Pedra Lavrada (Coogarimpo e Coomipel) é constituído por britagem, peneiramento, moagem e classificação. O procedimento adotado visa a redução da granulometria da matéria prima, porém, este estudo constatou que é necessário realizar o reajuste dos equipamentos usados na cominuição, principalmente os britadores. Com essas medidas, as unidades de beneficiamento se tornariam mais eficientes, diminuindo os custos do processamento, e permitindo-lhes a obtenção de produtos com granulometria mais adequada para atender a demanda do mercado, seja do setor de cerâmica, de tintas, e outros.

5. AGRADECIMENTOS

Ao Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações (MCTI), Programa de Entidades Associadas, pelo apoio financeiro.

6. REFERÊNCIAS

Luz, A.B.; Sampaio, J.A.; França, S.C.A. 2010. **Tratamento de Minérios** (5ª edição), 960 p, CETEM/MCTI, Rio de Janeiro, RJ.

Luz, A.B.; Lins, F.A.F. 2003. **Pegmatitos do Nordeste: Diagnósticos sobre o Aproveitamento Racional e Integrado**. CETEM/MCT, Rio de Janeiro, RJ.

Lima, M.P. 2002. **Aspecto da Lavra de Feldspato em Pegmatitos da Província da Borborema**. Tese de Mestrado em Engenharia de Minas – Universidade Federal de Campina Grande – CCT, Campina Grande, PB.

Luz, A.B; Lins, F.A.F. 2008. **Rochas e Minerais Industriais**. 2ª edição, 990p, CETEM/MCTI, Rio de Janeiro, RJ.

Coelho, J.M. 2009. **Perfil do Feldspato** - Ministério de Minas e Energia – Recife, PE.