

AVALIAÇÃO DAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS E DA LIBERAÇÃO DE POTÁSSIO DA NEFELINA SIENITO PARA USO NA AGRICULTURA*

Isabella Cesario de Amaral Souza¹
Thaís Ferreira Marks Brasil Duque²
Raíza Marques Rocha Lima³
Claudio Luiz Schneider⁴

Resumo

A amostra de nefelina sienito cedida ao CETEM pela Nefelina Brasil Mineração está sendo estudada para utilização como fonte de potássio para a agricultura a partir da técnica de rochagem e de técnicas diretas de extração de potássio. Com esta finalidade, foi necessário avaliar as características físicas dessa rocha e a sua viabilidade na disponibilização do elemento de interesse. Para isto, um ensaio de liberação de potássio foi organizado, visando avaliar os parâmetros que mais influenciam nesta disponibilização como o tempo, a agitação/repouso e a proporção entre sólidos e líquidos. Foram testadas três soluções extratoras, a água deionizada e o hidróxido de sódio nas concentrações 1 e 3 mol.L⁻¹. Conclui-se que o potencial da rocha como fonte de potássio é economicamente promissor.

Palavras-chave: Cominuição; Nefelina Sienito; Rochagem; Potássio.

AN EVALUATION OF PHYSICAL CHARACTERISTICS AND POTASSIUM RELEASE FROM NEPHELINE SYENITE FOR USE IN AGRICULTURE

Abstract

The nepheline syenite ceded to CETEM by Nefelina Brasil Mineração, is being studied for use as a source of potassium for agriculture using the stonemeal technique. For this purpose, it was necessary to evaluate the physical characteristics of the rock and its viability as source of potassium. With this objective, potassium release tests were organized to evaluate the parameters that affect the rate and the recovery of the element of interest. Three extraction solutions were tested, deionized water and sodium hydroxide at concentrations of 1 and 3 mol.L⁻¹. Analysis of the results indicate that this rock has economical potential as an alternative source of potassium.

Keywords: Comminution; Nepheline Syenite; Stonemeal; Potassium.

¹ Química, M.Sc., Bolsista do Programa de Capacitação Institucional do CNPq, Coordenação de Processos Mineraiis, Centro de Tecnologia Mineral, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

² Engenheira Química, M.Sc. (em andamento), Colaboradora, Coordenação de Processos Mineraiis, Centro de Tecnologia Mineral, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

³ Química (graduação em andamento), Bolsista de Iniciação Científica, Coordenação de Processos Mineraiis, Centro de Tecnologia Mineral, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

⁴ Engenheiro de Minas, PhD., Tecnologista Sênior, Coordenação de Processos Mineraiis, Centro de Tecnologia Mineral, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

1 INTRODUÇÃO

A agricultura é um dos setores mais importantes da economia brasileira, e tem contribuído bastante com o produto interno bruto nos últimos 10 anos. As condições de solo, associadas ao clima e à exigência das culturas, fazem com que o fertilizante a base de potássio seja o segundo mais utilizado no Brasil, que se enquadra entre os três países maiores importadores desse nutriente no mundo [9]. (Uma alternativa para diminuir a importação de fertilizante potássico, seria o uso da técnica de rochagem, que consiste na utilização de pós de rocha diretamente na agricultura. Esta técnica (rochagem) têm se mostrado bastante atraente por a rocha ser constituída de nutrientes necessários às plantas, que são cultivadas por longos períodos, pois promovem um aumento da capacidade de troca catiônica dos solos, resultante da formação de novos minerais de argila formados durante o processo de alteração da rocha [5].

A rocha selecionada para este estudo foi a nefelina sienito, que foi cedida ao CETEM pela Nefelina Brasil Mineração, localizada na cidade de Lavrinhas, São Paulo. Esta rocha foi escolhida por possuir em sua composição uma grande quantidade de feldspatos alcalinos, que são ricos em sódio, cálcio e potássio (Figura 1). A nefelina sienito cedida para estudo possui um teor de aproximadamente 6,4% de K_2O .

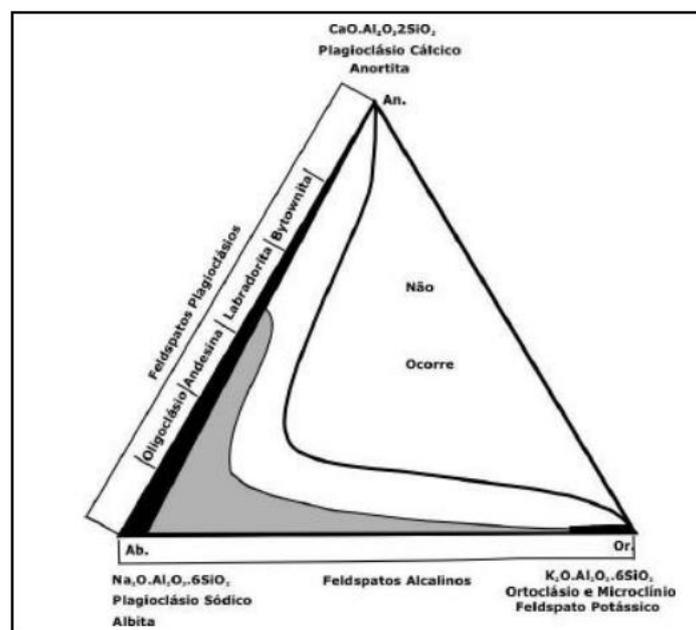


Figura 1. Diagrama ilustrativo dos produtos comerciais de feldspatos, série plagioclásios [4].

É uma rocha ígnea rica em feldspatóides e praticamente livre de quartzo. Utilizada como uma das matérias primas essenciais para as indústrias de vidros e cerâmica. Entretanto, em nosso trabalho será estudado a viabilização da rocha como fonte de potássio para a agricultura fazendo uso da técnica de rochagem.

Estudos da técnica de rochagem em geral envolvem amostras de rocha cominuída. Presume-se que quanto mais fina estiver a rocha, mais rápida será a liberação dos nutrientes. Entretanto, a produção de partículas finas demanda energia, e inevitavelmente, quanto mais fina a granulação maior a demanda energética.

A cominuição da nefelina sienito envolve etapas de britagem e, para produção de material fino, a moagem. Para isto, a amostra passou por uma caracterização física

envolvendo diversos métodos, como o *DWT* para britagem e o *BWI* para moagem. Além destas técnicas, o índice de abrasividade (*A_I*) da rocha foi medido com o objetivo de estabelecer o consumo de aço nas etapas de cominuição.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Ensaio *DWT* (*Drop Weight Test*)

O ensaio foi realizado no equipamento *JKTech DWT*, que é mundialmente conhecido como *DWT* (*Drop Weight Test*). O equipamento consiste de um sistema que deixa cair um peso variável sobre espécimes de rocha de vários tamanhos a partir de diversas alturas. O objetivo principal desse ensaio é avaliar a tenacidade das rochas e minerais.



Figura 2. *JKTech DWT* instalado no CETEM.

Amostras de nefelina sienito foram devidamente preparadas e classificadas em cinco faixas de tamanhos específicos para a realização de um ensaio padrão do *DWT*. Para cada faixa de tamanho foi escolhido o número necessário de partículas, a fim de gerar uma ampla e uniforme representação da distribuição das mesmas na amostra inicial.

Para cada ensaio foi ajustada a altura de queda necessária de acordo com a energia utilizada para quebrar as partículas. Foram empregados valores de energias diferentes em cada ensaio. Ao final de cada ensaio, recolheram-se todos os fragmentos das partículas quebradas para que posteriormente fosse feita uma análise granulométrica.

As partículas com tamanho acima de 19 mm foram classificadas manualmente, e as com tamanho abaixo de 19 mm foram classificadas em um peneirador vibratório, durante 20 minutos. As massas retidas em cada fração foram devidamente registradas [2].

2.2 Ensaio *CWI*

Em 1946, F. C. Bond detalhou o desenvolvimento de um dispositivo de impacto na forma de pêndulo que ainda é usado pelos principais fabricantes de britadores. O dispositivo é constituído por duas rodas de bicicleta com martelos de aço de 13,6 kg

tangencialmente ligados aos aros. Os martelos têm 50 mm de distância, quando estão em repouso. Em cada extremidade dos cabos de elevação é ligado um martelo. Uma rocha de tamanho entre -76 +50 mm é colocada sobre um suporte, de modo que os martelos atinjam a rocha simultaneamente, quando os cabos de elevação do martelo são liberados [6].



Figura 3. CWI instalado no CETEM.

Uma série de vinte partículas da rocha foi escolhida para o ensaio de quebra. A espessura de cada uma das partículas é medida antes da ruptura. Os martelos são então elevados e liberados. Se a rocha não quebrar, os martelos devem ser elevados novamente, com um incremento adicional, no caso do nosso equipamento 5°, e liberados novamente. Esta operação é realizada até que a rocha se fragmente por completo.

Uma vez que o procedimento de impacto de *Bond* foi desenvolvido não houveram modificações no aparelho, procedimento ou análise de dados. Em geral, os resultados de britabilidade do ensaio de impacto de *Bond* estimam corretamente os parâmetros operacionais de britagem [6].

2.3 Ensaio de AI

O índice de abrasividade de *Bond* foi medido para a amostra de nefelina sienito utilizando o teste padrão de abrasividade, desenvolvido pela *Allis-Chalmers*. Foi realizado em um tambor rotativo com uma palheta de aço SAE 4340 de dimensões padronizadas, montada no eixo central do tambor. A palheta gira na mesma direção do tambor, porém, com uma velocidade aproximadamente nove vezes maior. A amostra foi dividida em quatro lotes de 400 g de partículas entre 19 e 12 mm e a palheta foi limpa e pesada. Cada lote é processado durante 15 minutos, separadamente. Ao final do ensaio a palheta é retirada e limpa. A diferença entre o peso inicial e o peso final da palheta, em gramas, é o valor do AI [8].

2.4 Ensaio de Moagem BWI (*Bond Work Index*)

O ensaio é um teste de moabilidade em circuito fechado feito em um moinho de bolas padronizado. O teste foi realizado em circuito fechado com uma peneira (malha de teste). A abertura da peneira pode ter qualquer valor entre 2,83 mm (7#) e

45 μm (325#), contanto que a amostra contenha algum material retido na peneira de teste. A malha de teste padrão é a de 150 μm (100#). O ensaio requer 10 kg de amostra britada em 100% menor que 3,36 mm (6#). O ensaio é realizado segundo a Norma ABNT MB-3253 de Setembro de 1990 registrada no INMETRO como NBR 11376 [8].

2.5 Ensaio de liberação de potássio

Este ensaio foi desenvolvido inspirado nos estudos de Gadois *et al.* [3] que usam um alcalino-terroso em contato com a nefelina, para obter uma degradação hidrolítica em condições hidrotermais, a fim de formar um produto que possua potencial para aplicação no solo como um fertilizante potássico. Prado *et al.* [7] investigam a síntese de fases zeolíticas a partir da mulita, que está contida nas cinzas de carvão. Desta forma, realizaram ensaios em sistemas abertos, com temperatura e pressão ambiente, variando a proporção entre sólidos e líquidos da solução utilizada. Em nosso estudo, não haverá controle em condições hidrotermais, mas assim como Prado *et al.* [7] em condições ambientes a fim de avaliar a liberação de potássio. Contudo, os ensaios de liberação do potássio foram realizados a fim de avaliar quais são os parâmetros que auxiliam na liberação do elemento. Os ensaios foram divididos em três grupos para avaliação dos parâmetros. Em todos os grupos utilizou-se partículas com tamanho menor que 53 μm e um tempo total de ensaio de 168 horas, além de ter sido conduzido de forma contínua.

Para uma melhor compreensão da metodologia de liberação de potássio, a Figura 4 ilustra como o mesmo foi organizado. No primeiro grupo o ensaio foi conduzido em repouso, utilizando uma razão sólido líquido 1:10. Foram retiradas alíquotas para análise de potássio nos tempos: 1, 6, 24, 48, 96 e 168 horas. Como solução extratora foram avaliados a água deionizada e o hidróxido de sódio (NaOH) nas concentrações 1 e 3 mol.L⁻¹. 5 g da rocha nefelina sienito foram adicionadas a três frascos de polietileno com 250 mL de volume total, o primeiro com 50 mL de água deionizada, o segundo com 50 mL de NaOH 1 mol.L⁻¹ e um terceiro com 50 mL de NaOH 3 mol.L⁻¹. Para cada tempo de contato supracitado a solução foi filtrada, o filtrado foi encaminhado para análise do teor de potássio por Espectroscopia de Absorção Atômica e a rocha permaneceu no frasco. Em seguida, adicionou-se o mesmo volume de uma nova solução extratora, a cada frasco correspondente, para dar continuidade ao ensaio.

No segundo grupo o ensaio também foi realizado com agitação em shaker à 150 rpm, utilizou-se uma razão sólido líquido 1:10, seguindo a mesma metodologia do ensaio do primeiro grupo, tendo apenas como diferença a agitação.

No terceiro grupo o ensaio foi procedido em repouso, e com uma razão sólido líquido 2:10, seguindo a mesma metodologia do ensaio do primeiro grupo, tendo apenas como diferença a razão sólido líquido.

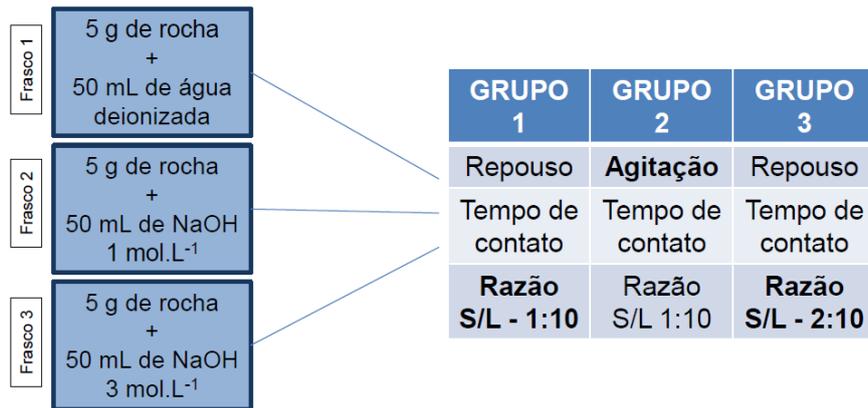


Figura 4. Metodologia do ensaio de liberação do potássio.

As filtrações foram realizadas em papel de filtro comum, seguido de uma filtração em membrana Millipore 0,22 μm para remoção de colóides.

3 RESULTADOS

3.1 Resultado do Ensaio *DWT* (*Drop Weight Test*)

O ensaio de *DWT* Completo resultou nos valores da Tabela 1:

Tabela 1. Parâmetros do Ensaio do *DWT*

<i>A</i> (%)	72,69
<i>b</i> (t/kWh)	0,89
<i>Axb</i>	65,00
<i>c</i>	0,77
<i>CWI</i> (kWh/t)	9,83

O produto dos valores *A* e *b* tem sido utilizado como um indicador qualitativo da tenacidade do material caracterizado. Esta classificação é mostrada na Tabela 2.

Tabela 2. Classificação qualitativa de tenacidade

Propriedade	Muito Tenaz	Tenaz	Moderadamente Tenaz	Médio	Moderadamente Friável	Friável	Muito Friável
<i>Axb</i>	< 30	30-38	38-43	43-56	56-67	67-127	> 127

Fonte: http://www.jktech.com.au/sites/default/files/brochures/LabServices_DWTest_Indetail.pdf

Portanto, a nefelina sienito deste trabalho é uma rocha moderadamente friável, e que não demanda muita energia nas etapas de britagem. O valor do produto *Axb* também pode ser utilizado no cálculo do *CWI* (*Crusher Work Index*) teórico, que é um parâmetro que permite estimar a demanda energética de operações de britagem. A correlação entre o *Axb* e o *CWI* é mostrada na Equação (1) [10]:

$$CWI = \exp\left(\frac{\ln\left(\frac{1842}{A \times b}\right)}{1,463}\right) = 9,83 \text{ kWh/t} \quad (1)$$

3.2 Resultado do Ensaio *CWI*

O resultado do ensaio *CWI* para a amostra de nefelina apresenta um valor significativamente diferente do valor derivado do ensaio *DWT*, Equação (1), sendo o valor medido, no equipamento apropriado e com o procedimento recomendado, consideravelmente mais alto.

$$CWI = 13,02 \text{ kWh/t}$$

Aparentemente, o valor do *CWI* não é fortemente correlacionado com o ensaio de *DWT* ou pelo menos com os parâmetros *A* e *b* através da relação da Equação (1).

3.3 Resultado do Ensaio *AI*

O índice de abrasividade de *Bond* foi medido utilizando-se a metodologia padrão do ensaio.

$$AI = 0,164 \text{ g}$$

Este valor indica que esse material é moderadamente abrasivo, conseqüentemente, os custos operacionais que resultam do desgaste de revestimentos de moinhos, britadores e corpos moedores devem ser levados em consideração nos custos de cominuição da rocha.

3.4 Resultado do Ensaio de Moagem *BWI* (*Bond Work Index*)

O resultado do ensaio para a malha de 150 μm mostra um *BWI* relativamente alto.

$$BWI = 17,46 \text{ kWh/t}$$

Este valor contrasta com a friabilidade moderada da nefelina sienito quanto à britagem, do ensaio *DWT*. O *P80* produzido no ensaio foi de 128,3 μm .

3.5 Resultado do ensaio de liberação de potássio

As Figuras 5, 6 e 7 apresentam os resultados dos ensaios dos GRUPOS 1, 2 e 3 de liberação de potássio. É possível perceber que em todos os experimentos a solução extratora de maior eficiência é o NaOH 3 mol.L⁻¹. Apesar de este extratante ter mostrado eficiência em todos os grupos, no GRUPO 2, apresentou uma extração de maior relevância, que equivale a 55169,81 mg K/kg K_{total} quando comparado aos outros grupos que extraíram 47547,17 mg K/kg K_{total} (GRUPO 1) e 36198,11 mg K/kg K_{total} (GRUPO 3). Este aumento na extração do GRUPO 2 não foi evidenciado apenas para o extratante NaOH 3 mol.L⁻¹ mas também para a água que extraiu 4226,42 mg K/kg K_{total} enquanto que no GRUPO 1 extraiu 3320,75 mg K/kg K_{total} e no GRUPO 3 extraiu 2301,89 mg K/kg K_{total} e também para o NaOH 1 mol.L⁻¹, correspondendo a 37056,60 mg K/kg K_{total} (GRUPO 1), 42679,25 mg K/kg K_{total} (GRUPO 2), e 24603,77 mg K/kg K_{total} (GRUPO 3).

A maior de extração apresentada pelo GRUPO 2 está relacionada ao parâmetro da agitação. É provável que a agitação em shaker à 150 rpm tenha proporcionado um atrito maior entre as partículas, facilitando assim a interação sólido-líquido para que houvesse a troca entre os cátions. Outro fator influenciador é o tamanho da

partícula, neste experimento foi utilizado partículas com tamanho menor que 53 μm , mas outros experimentos já estão sendo realizados com outras faixas de tamanho, a fim de verificar essa condição. Acredita-se que com o aumento da área superficial haja um aumento na área de contato com a solução.

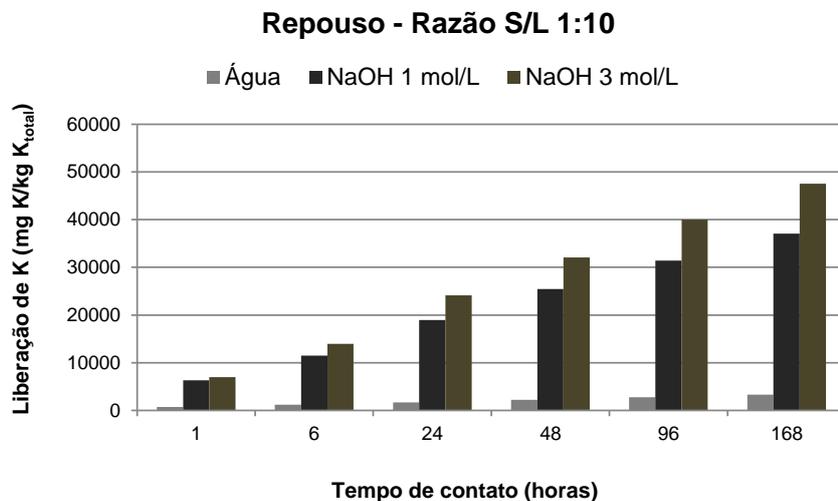


Figura 5. Liberação de potássio – GRUPO 1: Repouso e Razão S/L – 1:10

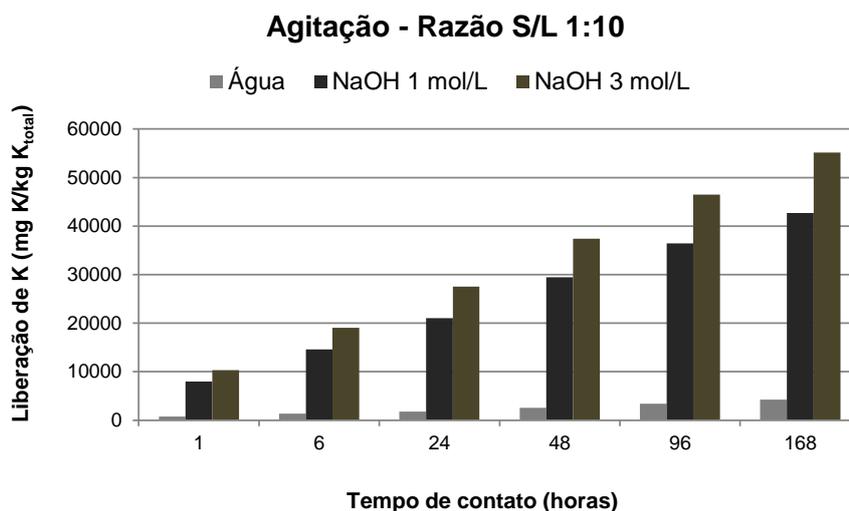


Figura 6. Liberação de potássio – GRUPO 2: Agitação e Razão S/L – 1:10

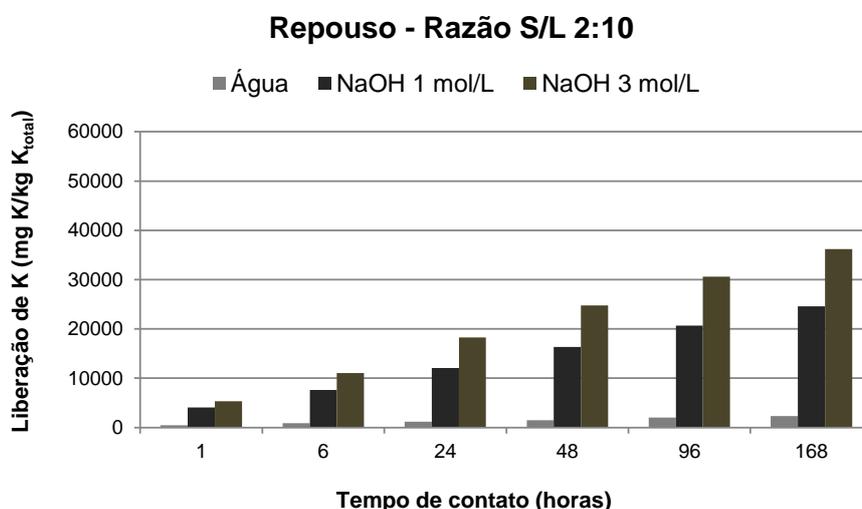


Figura 7. Liberação de potássio – GRUPO 3: Repouso e Razão S/L – 2:10

Observou-se que extração de potássio com NaOH 3 mol.L⁻¹ é treze vezes maior quando comparada à extração pela água deionizada para o GRUPO 2, mostrando que o hidróxido, ao reagir com a superfície desse mineral, pode formar íons e esses podem ser incorporados na estrutura da nefelina, liberando para a solução o íon potássio. A diferença de extração entre o NaOH 1 mol.L⁻¹ e o 3 mol.L⁻¹ é de 12490,66 mol.L⁻¹, para o tempo máximo de contato (168 horas). Com isso, é necessário avaliar qual é a concentração da solução de hidróxido de sódio mais adequada para a extração de potássio.

4 DISCUSSÃO E CONCLUSÕES

A nefelina sienito foi caracterizada de uma forma geral com respeito às suas propriedades relativas às operações de britagem e moagem. Com os parâmetros obtidos do *DWT* foi possível concluir que a rocha não demanda muita energia na etapa de britagem, o que contrasta com os valores obtidos para a etapa de moagem, *BWI*, que indica que a rocha é tenaz e demanda uma quantidade relativamente alta de energia para ser cominuída.

A partir dos ensaios de liberação de potássio pode-se concluir que parâmetros como tempo, agitação e a escolha da solução extratora são fatores importantes. O NaOH 3 mol.L⁻¹ mostrou uma maior eficiência de liberação quando comparado aos outros extratores.

As propriedades físicas da rocha servem para estimativas razoáveis da demanda energética para cominuição. O valor de *CWI* permite cálculos relativos às etapas de britagem. Um britador primário em circuito aberto reduz o *ROM* de 150 mm para aproximadamente 35 mm com uma demanda energética de 0,35 kWh/t. Uma etapa de britagem secundária com britadores cônicos, por exemplo, em circuito fechado com uma peneira vibratória com abertura de 6 mm e carga circulante de 100% teria uma demanda prevista de 1,37 kWh/t. Em seguida, um circuito de moagem convencional, moinho de bolas com hidrociclone, seria desenhado para reduzir uma alimentação com A80 em torno de 5,6 mm para um produto com P80 de 106 µm. Aplicando-se a terceira lei de *Bond* diretamente, e o valor de *BWI* determinado em laboratório, chegamos a uma estimativa de 14,6 kWh/t. A soma das três etapas acima resulta em 16,32 kWh/t referente ao custo energético da cominuição da rocha nefelina sienito, para um produto com 80% passante em 106 µm. O custo da energia elétrica industrial no Brasil ficou em torno de 360,7 R\$/MWh em 2014 [14]. Com isso chegamos a um custo energético de R\$ 5,90 por tonelada de rocha moída.

Para compor o custo operacional, uma estimativa do consumo de aço nas operações de britagem e moagem pode ser feita com base no valor de *AI*. A metodologia [1] é simples e inclui fórmulas para desgaste de corpos moedores e revestimentos com base na abrasividade da rocha, o *AI*, e a demanda energética. Para a planta de processamento hipotética desta análise, o consumo de aço totaliza 1,47 kg por tonelada de rocha moída sendo o consumo de corpos moedores na moagem responsável por aproximadamente 85% do consumo. Tomando-se como base um preço do aço estimado em R\$ 3,50/kg em 2014 [12], chegamos a um custo de consumo de aço igual a 5,15 R\$/t de rocha moída. O valor é alto, em consequência da alta abrasividade da rocha e da utilização das fórmulas de *Bond*, arcaicas e provavelmente obsoletas.

Nestas condições, o custo operacional para produção de nefelina sienito moída com 80% passante em 106 µm é estimado em R\$ 11,05 por tonelada. A rocha contém

em torno de 6,4% de K_2O , resultando em um custo de produção de R\$ 172,53 por tonelada de K_2O contido.

Por outro lado, o valor de importação de K_2O equivalente ficou, em média, em US\$ 678,00 por tonelada em 2014 [13]. Ao câmbio de 31/12/2014, este valor em Reais fica em R\$ 1800,00 por tonelada de K_2O equivalente [11]. Nestas bases, o K_2O da nefelina sienito se torna competitivo a partir de uma recuperação de 10% do K_2O contido. No momento, as melhores extrações com NaOH resultaram em torno de 5,5% de recuperação. Acredita-se que uma recuperação de 100% seja possível, porém o desafio tecnológico é, ainda, considerável. A perspectiva é otimista já que estes estudos iniciaram recentemente, e o objetivo imediato passa a ser incrementar a recuperação, mesmo que isto se reflita em um aumento do custo operacional. É importante frisar que os custos de capital não foram levados em consideração nestes cálculos.

Pode-se concluir que, aos preços de mercado de potássio de hoje, técnicas de rochagem podem ser muito atraentes do ponto de vista econômico. Além disso, a produção de fertilizantes a partir de rochas que contenham teores de potássio elevados pode ser interessante mesmo que demandem cominuição intensiva da rocha. Por outro lado, a viabilidade desta estratégia depende da eficiência de extração, com recuperações de potássio contido maiores que ~20% considerando os custos de capital e os custos operacionais.

Agradecimentos

Os autores agradecem a Nefelina Brasil Mineração LTDA pela doação da amostra de rocha para estudo. Também agradecem a Norsk-Hydro pelo contínuo suporte para pesquisa, desenvolvimento e inovação em cominuição.

REFERÊNCIAS

- 1 Bond, F. C. "Metal Wear in Crushing and Grinding", Allis-Chalmers Publication 07P1701, 1963.
- 2 Brasil, T. F. M., Schneider, C. L. Caracterização da Degradação de uma Rocha Utilizando o Modelo de Quebra por Impacto. XXV Encontro Nacional de Tratamento de Minérios e Metalurgia Extrativa & VIII Meeting of the Southern Hemisphere on Mineral Technology, Goiânia, 2013.
- 3 Gadois, C., Skorina, T., Allanore, A. A new K-release material from K-bearing silicates. 16th World Fertilizer Congress of CIEC, Rio de Janeiro, 2014.
- 4 Kauffman, R. A. E Dyk, D. V. Feldspars. In: Industrial Minerals and Rocks, 6th Edition, D. D. Carr (Senior Editor), Society of Mining, Metallurgy and Exploration, Inc. Littleton, Colorado, pp. 473-481, 1994.
- 5 Melahmed, R., Gaspar, J. C. E Miekeley, N. Pó de rocha como fertilizante alternativo para sistemas de produção sustentável. In: Fertilizantes Agroindustriais e Sustentabilidade/Eds. Lápido Loureiro, F. E.; Melahmed, R. E Figueiredo Neto, J., 2009.
- 6 Moore, D. C. Prediction of Crusher Power Requirements and Product Size Analysis. In: Mular, A. L. and Jergensen II, G. V. (Eds), Design and Installation os Communion Circuits, New York, Society of Mining Engineers, pp. 218-227, 1982.
- 7 Prado, P.F., Nascimento, M., Rangel, K.D.O. Síntese de zeólitas a partir de cinzas volantes em sistemas abertos. XXV Encontro Nacional de Tratamento de Minérios e Metalurgia Extrativa & VIII Meeting of the Southern Hemisphere, Goiânia, 2013.

- 8 Schneider, C. L.; Duque, T. F. M. B.; Souza, I. C. A.; Monte, M. B. M. Características de quebra de um flogopitito para uso em rochagem. In: 69º Congresso Anual da ABM. Trabalho Completo. São Paulo – SP, 2014.
- 9 Siqueira, J.O., Guedes, A. A. G., Ribeiro, M. A. V., Disponibilidade do Potássio do Sienito Nefelínico de Poços de Caldas, Avaliada em Cultivos Sucessivos com Milho. Pesquisa agropecuária Brasileira, Brasília, Vol. 20, pp. 299-207, 1985.
- 10 Tavares, L.M.; Da Silveira, M.A.C.W. Comparison of measures of rock crushability. In: Fine Particle Technology and Characterization. ISBN: 978-81-308-0241-1, Editor: Meftuni Yekeler, 2008.
- 11 Banco Central do Brasil, Taxas de Câmbio.
[Acesso em: 06/04/2015]. Disponível em:
<http://www4.bcb.gov.br/pec/taxas/port/ptaxnpesq.asp?id=txcotacao>
- 12 CBIC, Evolução do Valor Médio/Mediano do Aço CA 50 de 10mm (em R\$/Kg).
[Acesso em: 06/04/2015]. Disponível em:
<http://www.cbicdados.com.br/menu/materiais-de-construcao/aco-10mm-e-produtos-de-aco-longo>
- 13 DNPM, Sumário Mineral 2014.
[Acesso em: 06/04/2015]. Disponível em:
<http://www.dnpm.gov.br/dnpm/sumarios/sumario-mineral-2014>
- 14 FIRJAN, Quanto custará a energia elétrica para a indústria no Brasil?
[Acesso em: 06/04/2015]. Disponível em:
<http://www.firjan.org.br/main.jsp?lumPagelId=2C908CE9215B0DC40121793770A2082A&lumItemId=2C908CEC49D399D8014A4E1E579836A3>