

CARACTERIZAÇÃO QUÍMICO-MINERALÓGICA DE MATÉRIAS-PRIMAS POTÁSSICAS DO MACIÇO ALCALINO DE POÇOS DE CALDAS (MG)

**GONÇALVES, P.¹, DEL ROVERI, C.², NAVARRO, F.C.³, BERGERMAN, M.G.⁴,
GONÇALVES, C.C.⁵, JERÔNIMO, G.C.⁶**

¹Universidade Federal de Alfenas (UNIFAL-MG), e-mail: pattygpgatty@gmail.com

²Universidade Federal de Alfenas (UNIFAL-MG), e-mail: carolina.roveri@unifal-mg.edu.br

³Universidade Federal de Alfenas (UNIFAL-MG), e-mail: fabiano.navarro@unifal-mg.edu.br

⁴Universidade de São Paulo (USP), e-mail: mauricio.bergerman@unifal-mg.edu.br

⁵Universidade Federal de Alfenas (UNIFAL-MG), e-mail: carolinec.gon@gmail.com

⁶Universidade Federal de Alfenas (UNIFAL-MG), e-mail: gabriel.cjeronimo@gmail.com

RESUMO

O potássio possui destaque no setor agrícola brasileiro e mundial como fertilizante, por se tratar de um nutriente importante para o solo. No Maciço Alcalino de Poços de Caldas – MG há presença de rochas magmáticas ricas em potássio. O objetivo deste estudo foi caracterizar químico-mineralogicamente amostras de rochas potássicas do MAPC para investigar seus potenciais para a indústria de fertilizantes. Cinco amostras foram coletadas e estudadas através de análises química por ICP-MS, petrografia, granulométrica por fluorescência de raios X e difração de raios X. Observou-se que não houve concentração preferencial por faixa granulométrica de óxido de potássio, alumina, sílica e hematita, não permitindo assim, concentrar esses elementos com base na granulometria. Estes elementos foram ainda identificados em porcentagens próximas nas amostras 1, 3 e 5, tanto na análise química por ICP-MS, como na granulométrica, averiguando-se deste modo, a correspondência de ambas as técnicas. Feldspato potássico e muscovita foram encontrados em todas as amostras, bem como outros minerais, além de massa feldspática e clastos em algumas. As cinco amostras mostraram quantidades de elementos terras raras superiores às suas abundâncias na crosta terrestre, excetuando-se o lutécio e escândio, verificando-se desta forma, a presença e potencial de mineração destes na região. A sílica foi a fase mineral de maior presença nas amostras, com mais de 54,96% de teor médio. Os valores de teor médio de ferro revelados nas amostras, entre 1,86 e 4,06%, não se constituem em empecilho no uso destas na produção de fertilizantes. Os teores médios de óxido de potássio das amostras estiveram na faixa de 8,70 a 14,40%, permitindo que todas elas possam ser utilizadas na aplicação em fertilizantes, sendo a 1 com o maior teor.

PALAVRAS-CHAVE: potássio; Maciço Alcalino de Poços de Caldas; feldspato potássico; elementos terras raras; fertilizantes; óxido de potássio.

ABSTRACT

Potassium has highlighted in the Brazilian and world agriculture as fertilizer. In the Poços de Caldas Alkaline Massif - MG (PCAM) there is presence of magmatic rocks rich in potassium. The aim of this study was the chemical-mineralogical characterization of samples of potassic rocks of PCAM to investigate their potentials for the fertilizer industry. Five samples were collected and analyzed by chemical

analysis per ICP-MS, petrographic, chemistry analysis by fraction per X-ray fluorescence, and X-ray diffraction. There was no preferential concentration by size fraction of potassium oxide, alumina, silica, and hematite, not allowing thereby concentrating these elements based on granulometry. They were also identified in nearby percentages in samples 1, 3 and 5, both for chemical analysis by ICP-MS as in chemistry analysis by fraction, thus ascertaining the correspondence of both techniques. Potassium feldspar and muscovite were found in all samples, as well as other minerals, besides feldspar mass and clasts in some. The five samples showed quantities of rare earth elements that exceed their abundance in the crust, except for the lutetium and scandium, thereby verifying their presence and mining potential in the region. The silica was the mineral phase of greater presence in the five samples, with over 54.96% average content. The values of average iron content revealed in the samples, between 1.86 and 4.06%, do not constitute hindrance in the use of these in fertilizer production. The average contents of potassium oxide of the samples were in the range from 8.70 to 14.40%, allowing all of them to be used in fertilizer application, and the sample 1 has the highest content.

KEYWORDS: potassium; Poços de Caldas Alkaline Massif; potassium feldspar; rare earth elements; fertilizers; potassium oxide.

1. INTRODUÇÃO

A agricultura representa no Brasil, bem como em países tais como China e Índia, relevância crucial na base da economia. O uso de fertilizantes agrícolas é necessário devido ao clima brasileiro, predominantemente tropical, que torna os solos ácidos e pobres (TEIXEIRA; SAMPAIO; GARRIDO; MEDEIROS, 2012). O potássio é o elemento mais abundante na litosfera terrestre e possui grande destaque no setor agrícola brasileiro como fertilizante por se constituir num importante nutriente para o solo, principalmente o cloreto de potássio (KCl) e também no cenário mundial, onde mais de 95% da produção de potássio é destinada ao uso como fertilizante. A produção interna de potássio fertilizante se restringe a lavra de silvinita do complexo mina/usina Taquari-Vassouras, em Sergipe, e é pequena quando se considera o alto consumo interno. Portanto, apesar de exportar inexpressivamente, o país é um grande importador do produto, sendo que seus principais fornecedores são: Canadá, Bielorrússia, Alemanha, Israel e Rússia (ARAÚJO, 2010; DNPM, 2013). No Maciço Alcalino de Poços de Caldas (MG) há presença de rochas potássicas, sendo os principais tipos: fonólitos, nefelina sienitos, foiaítos e tinguaitos. As rochas nefelina sienitos existentes na região são ricas em potássio e possuem grande potencial para o uso como fertilizantes. Tratam-se de rochas alcalinas resultantes de alterações hidrotermais, com modificações químicas e mineralógicas e predomínio de feldspatos potássicos. Os fonólitos possuem alto teor de óxidos alcalinos, assim, podendo ser largamente aplicados na indústria cerâmica (ELLERT, 1959; ULBRICH, 1993; TEIXEIRA; SAMPAIO; GARRIDO; MEDEIROS, 2012). O objetivo deste trabalho foi então realizar a caracterização químico-mineralógica de amostras de rochas potássicas provenientes desta região para determinação de seus potenciais na aplicação como fertilizantes.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

A coleta de amostras foi realizada por representantes da Mineração Curimbaba. No total, foram coletadas cinco amostras de rocha potássica, que se tratam de rochas magmáticas ricas em potássio, oriundas do Maciço Alcalino de Poços de Caldas-MG, que por sua vez foram pesadas, catalogadas e numeradas. Após a pesagem das amostras recebidas, separou-se alguns fragmentos maiores para amostras de mão. Em seguida, as amostras foram homogeneizadas, cominuídas abaixo de 25,4 mm, utilizando-se dois britadores de mandíbulas, primeiro o britador de laboratório, modelo I-4298, marca Pavitest e depois o britador de modelo Protec UL4943/I, marca The Denver Fire Clay Company. As amostras foram então quarteadas, por meio do quarteador Jones. Retirou-se uma alíquota de 500 g destinada à análise de difração de raios X, realizada pela Mineração Curimbaba, no equipamento Rigaku Ultima; e outra de 2 kg para peneiramento à seco, através de peneiras de aberturas de 25,4, 19,05, 12,7, 9,53, 4,75, 3,35, 2,36, 1,68, 1,17, 0,85, 0,60, 0,425, 0,30, 0,21 e 0,15 mm, acopladas ao peneirador vibratório suspenso. Os produtos obtidos no peneiramento foram quarteados, empacotados, rotulados e enviados à Mineração Curimbaba para análise granulométrica por fluorescência de raios X, utilizando-se o equipamento Philips 1000. Uma alíquota de 500 g das amostras 1, 3, e 5 foi enviada para realização de análise química completa por ICP-MS, ao Acme Analytical Laboratories (Vancouver) Ltd., Canadá. Reservou-se então o material restante em quantidades próximas a 10 kg. Foram feitas seis seções delgadas, a partir de

fragmentos das amostras, pelo Laboratório de Laminação do Departamento de Petrologia e Metalogenia da UNESP Rio Claro, sendo uma lâmina delgada de cada amostra de 1 a 4 e duas lâminas da amostra 5, em que uma foi denominada 5 e a outra 5.1. Realizou-se então a descrição petrográfica destas lâminas através do microscópio petrográfico marca Carl Zeiss, modelo Axioscope Scan 5000, com aumentos de até 100 vezes para todas as lâminas e uso de luz transmitida. Também se fotografou no microscópio as seções delgadas, conforme necessidade, com o auxílio do *software* AxioVision LE. Ademais, analisou-se macroscopicamente as amostras de mão.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Granuloquímica

Os dados dos principais compostos obtidos através da análise granuloquímica das amostras se encontram na Tabela 1. Estes ensaios relacionam a distribuição do tamanho de partículas, realizada através de peneiramento e análises químicas por fluorescência de raios X das frações retidas nessas peneiras. Analisando-se os teores das amostras contidos nesta tabela, pode-se afirmar que não existe uma faixa de granulometria em que haja concentração preferencial significativa de sílica (SiO_2), óxido de potássio (K_2O), alumina (Al_2O_3) e hematita (Fe_2O_3). Assim sendo, não é possível se realizar a concentração ou separação destes compostos com base na granulometria. A partir da Tabela 1, confeccionou-se o gráfico (FIGURA 1) que representa as relações hematita e óxido de potássio. Na representação gráfica foi adicionada uma linha divisória que ressalta as amostras de maior teor de óxido de potássio (amostras 2, 3, 4 e 5). O gráfico revela que a amostra 3 possui o maior teor de óxido de potássio (14,40%), seguida pelas amostras 2, 5, 4 e 1, sendo que a 1 foi a que apresentou o menor teor (8,70%), o que indica que deve ser a última região a ser minerada. Assim, os teores de óxido de potássio contidos nas amostras analisadas estão dentro do limite apresentado por Faquin, Kinjo e Malavolta (1986), que é de 7 a 15%, reafirmando desta maneira, o potencial da região do MAPC na mineração destas rochas.

Tabela 1. Teores dos principais compostos contidos nas amostras de acordo com a malha.
Fonte: Elaboração própria.

Malha	Teor (%)											
	Amostra 1				Amostra 2				Amostra 3			
	SiO ₂	K ₂ O	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	SiO ₂	K ₂ O	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	SiO ₂	K ₂ O	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃
1"	59,10	10,20	19,70	3,52	-	-	-	-	-	-	-	-
3/4"	56,40	8,59	20,10	3,69	55,80	12,80	19,90	4,07	59,00	14,00	18,60	4,84
1/2"	56,20	8,94	19,00	3,75	58,70	13,00	19,20	3,90	58,60	14,10	18,80	5,12
3/8"	55,20	8,77	18,90	4,00	56,90	12,90	18,80	3,93	60,00	14,30	18,80	3,89
4,75 mm	55,50	8,27	19,40	4,08	58,10	12,80	19,20	3,92	61,50	14,50	19,10	2,00
3,35 mm	55,60	8,36	19,60	4,22	57,40	13,00	19,10	3,81	60,30	15,00	19,10	2,72
2,36 mm	55,40	8,33	19,80	4,22	57,70	13,00	19,10	4,06	61,30	14,60	19,30	1,94
1,70 mm	-	-	-	-	57,50	12,90	19,00	4,12	-	-	-	-
1,18 mm	-	-	-	-	57,40	13,20	18,90	4,07	-	-	-	-
850 µm	-	-	-	-	57,90	12,80	18,90	3,97	-	-	-	-
600 µm	-	-	-	-	56,90	12,60	19,20	3,94	-	-	-	-
425 µm	-	-	-	-	57,60	12,80	18,80	4,04	-	-	-	-
Coletor	54,80	8,11	19,60	4,24	55,10	12,40	19,90	4,89	60,30	14,30	19,80	2,45
Média (%)	56,03	8,70	19,51	3,97	57,25	12,85	19,17	4,06	60,14	14,40	19,07	3,28

Malha	Teor (%)							
	Amostra 4				Amostra 5			
	SiO ₂	K ₂ O	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	SiO ₂	K ₂ O	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃
1"	55,20	12,50	25,70	1,49	-	-	-	-
3/4"	56,00	12,80	25,00	1,61	58,70	12,70	22,80	1,54
1/2"	56,00	12,50	25,60	1,31	57,90	13,10	22,70	1,88
3/8"	56,30	12,60	25,30	1,47	58,50	13,40	22,60	1,64
4,75 mm	56,30	12,60	25,00	1,39	57,90	12,60	23,60	1,86
3,35 mm	55,30	12,50	25,60	1,82	58,50	13,00	22,20	2,07
2,36 mm	55,40	12,50	25,50	1,70	58,40	13,00	22,20	2,15
1,70 mm	54,80	12,10	25,70	1,86	58,10	13,00	22,10	2,12
1,18 mm	54,60	12,10	26,10	1,93	58,10	12,70	22,30	2,15
850 µm	54,60	12,00	26,10	2,02	58,10	13,00	22,10	2,12
600 µm	54,50	12,00	26,00	2,02	58,00	12,70	22,20	2,18
425 µm	54,30	11,70	26,00	2,13	57,60	12,80	22,00	2,36
300 µm	52,80	11,10	26,90	2,59	-	-	-	-
212 µm	53,10	11,10	26,90	2,49	-	-	-	-
150 µm	53,70	11,60	26,50	2,35	-	-	-	-
Coletor	56,80	12,90	24,10	1,53	56,90	12,10	22,00	2,94
Média (%)	54,96	12,16	25,75	1,86	58,06	12,84	22,40	2,08

Considerando-se que os fertilizantes químicos são os mais utilizados e dentre eles, o adubo mineral NPK 4-14-8 (4% de nitrogênio, 14% de fósforo e 8% de potássio), de liberação lenta, é o que possui menor teor de K₂O em sua composição, de 8% (FAGERIA; STONE; SANTOS, 2003), a Figura 1 permite dizer que, além das amostras 1, 2, 3, 4, e 5 poderem ser utilizadas na produção de fertilizantes minerais, elas também possibilitam a aplicação da técnica de rochagem, em que se utiliza o próprio pó da rocha para a liberação gradual de nutrientes no solo (TEIXEIRA; SAMPAIO; GARRIDO; MEDEIROS, 2012), que por sua vez, já é utilizada pela Mineração Curimbaba, por exemplo. Portanto, os teores destas amostras são equivalentes e competitivos com os de fertilizantes de liberação rápida largamente utilizados, como cloreto de potássio, sulfato de potássio, nitrato de potássio e sulfato de potássio e magnésio, que contêm 60, 50, 44 e 23% de teor de K₂O, respectivamente. Ademais, o fato das amostras poderem ser utilizadas em fertilizantes de liberação lenta, se constitui numa vantagem em cultivos de determinadas espécies de plantas que exigem o uso de tais fertilizantes.

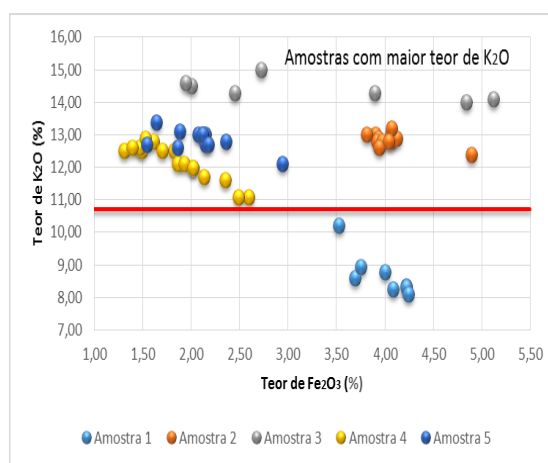


Figura 1. Representação gráfica da relação entre o teor de hematita (Fe₂O₃) e óxido de potássio (K₂O) das amostras 1, 2, 3, 4, e 5. Este gráfico visa mostrar a relação entre o óxido de potássio e o óxido de ferro nestas amostras, uma vez que a hematita atua como contaminante nas aplicações destas rochas. Fonte: Elaboração própria.

O ferro, um importante micronutriente para o solo, geralmente está presente em fertilizantes na ordem de 0,1 a 5% (VALE; ALCARDE, 1991; VALE; ALCARDE, 2003), no entanto, em excesso, é considerado como um contaminante. De acordo com o gráfico da Figura 1, todas as amostras podem ser utilizadas para concentração do potássio, sem que o teor de ferro interfira (na prática, teores de ferro superiores a 8% passam a ser excessivos para a nutrição das plantas), e também na rochagem, mesmo que a amostra 5 apresente teor de hematita de 5,12% na malha ½”.

3.2. Análises químicas por ICP-MS

Uma vez que o mercado de Elementos de Terras Raras (ETR) está em franca ascensão, buscou-se a realização de análises químicas por ICP-MS, para a verificação da quantidade destes elementos nas amostras em estudo, para assim, investigar a existência de potencial de algum subproduto destas rochas. As quantidades, presentes nas amostras 1, 3 e 5, dos elementos terras raras, de alumina, óxido de potássio e hematita, provenientes das análises químicas por ICP-MS, se encontram na Tabela 2, juntamente com a abundância na crosta terrestre (ABRÃO, 1994; SCHENATO; BACHI; NEVES, 2008) dos ETR.

Tabela 2. Quantidades de elementos terras raras, Al₂O₃, K₂O, Fe₂O₃ e SiO₂ contidos nas amostras 1, 3 e 5. Fonte: Elaboração própria e *adaptado de ABRÃO (1994) e SCHENATO; BACHI; NEVES (2008).

Composto (%)		Amostra 1	Amostra 3	Amostra 5
Al ₂ O ₃ (alumina)		19,26	18,21	22,14
K ₂ O (óxido de potássio)		8,50	14,25	13,04
Fe ₂ O ₃ (hematita)		4,12	4,81	2,13
SiO ₂ (sílica)		55,44	59,26	58,27
ETR (ppm)	Abundância na crosta (ppm)*	Amostra 1	Amostra 3	Amostra 5
Total (exceto Sc)		1223,69	646,72	346,75
La (lântânio)	19	541,1	220,1	126,3
Ce (cério)	44	281,8	245,6	146,0
Pr (praseodímio)	5,6	63,43	30,63	11,23
Nd (neodímio)	24	182,4	83,8	29,8
Sm (samário)	6,5	20,56	9,32	3,34
Eu (europio)	1,0	5,73	2,37	0,93
Gd (gadolínio)	6,3	18,30	6,55	2,91
Tb (térbio)	1,0	2,39	0,94	0,42
Dy (disprósio)	3,0	11,40	4,71	2,59
Ho (hólmio)	1,2	2,17	1,07	0,54
Er (érbio)	2,4	5,88	3,49	1,95
Tm (túlio)	0,3	0,76	0,55	0,31
Yb (itérbio)	2,6	4,33	3,57	2,20
Lu (lutécio)	0,7	0,54	0,52	0,33
Sc (escândio)	22	<1	<1	<1
Y (itrio)	31	82,9	33,5	17,9

3.3. Difração de Raios X

Foram realizadas análises difratométricas da composição total das amostras, visando refinar a mineralogia básica encontrada, que consiste em: feldspato potássico, nefelina, calcita, quartzo, hematita, albita, leucita e muscovita.

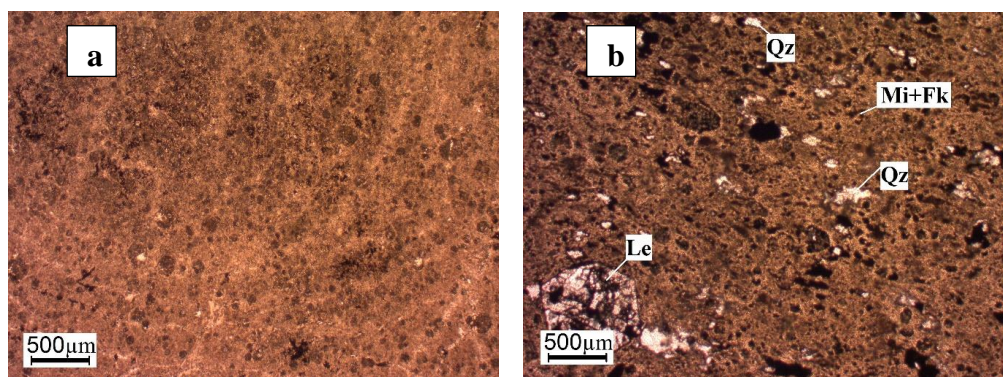
A Tabela 3, a seguir, contém os minerais encontrados em cada amostra:

Tabela 3. Minerais identificados em cada amostra na difração de raios X, suas fórmulas químicas e classes. Fonte: Elaboração própria.

Mineral	Fórmula Química	Classe	Amostra				
			1	2	3	4	5
<i>Feldspato potássico (microclínio/ortoclásio)</i>	KAlSi_3O_8	Silicato	x	x	x	x	x
<i>Anortita</i>	$\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$	Silicato	x				
<i>Muscovita</i>	$\text{KAl}_2\text{Si}_3\text{AlO}_{10}(\text{OH},\text{F})_2$	Silicato	x	x	x	x	x
<i>Gibbsita</i>	$\text{Al}(\text{OH})_3$	Óxido	x				
<i>Hematita</i>	Fe_2O_3	Óxido	x		x		
<i>Analcima</i>	$\text{NaAlSi}_2\text{O}_6 \cdot \text{H}_2\text{O}$	Silicato	x				
<i>Albita</i>	$(\text{Na},\text{Ca})\text{Al}(\text{Si},\text{Al})_3\text{O}_8$	Silicato	x	x			x
<i>Magnetita</i>	Fe_3O_4	Óxido		x	x		
<i>Caulinita</i>	$\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$	Silicato				x	

3.4. Análise petrográfica

A observação das amostras de mão possibilitou a descrição macroscópica destas. Apesar de se tratarem de amostras provenientes de diferentes locais, elas apresentaram as mesmas características: textura e estrutura inequigranular, holocristalina, granulação fina, subfanerítica, grãos anédricos e arranjo ou trama intergranular. Esta similaridade se deve ao fato de se tratar de um mesmo depósito, onde as amostras encontram-se em diferentes posições quanto ao evento magmático. Nestas imagens verifica-se a matriz das amostras, onde nota-se a visão geral da textura das rochas e diferenças entre as amostras, desde coloração, até tamanho e variação dos grãos e também estão indicados alguns minerais que foram identificados. Notou-se principalmente: minerais opacos, quartzo, nefelina, hematita, leucita, mica, calcita, zircão, clastos, filete de nefelina e massa felspática. Os clastos encontrados podem ser de brecha vulcânica ou ainda fenocristais. Um estudo mais aprofundado poderá ser realizado posteriormente para adequada classificação destes.



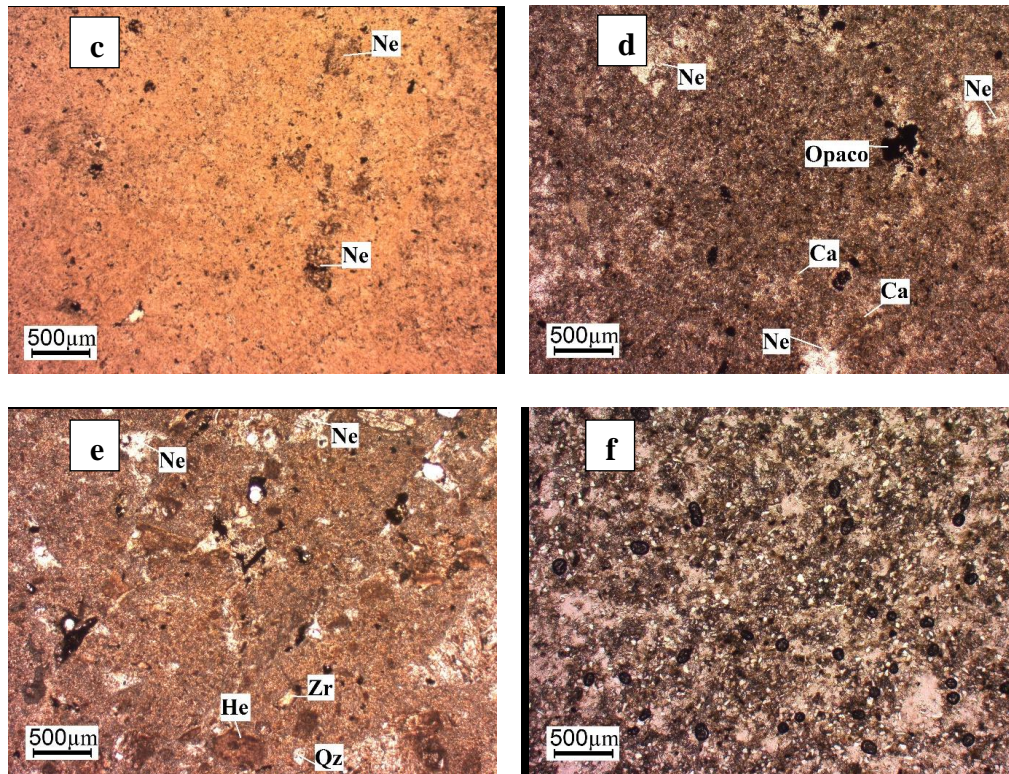


Figura 2. Imagens das lâminas delgadas das amostras, obtidas através do microscópio petrográfico, com lente de aumento de 2,5x e nicóis paralelos. a) Visão geral da amostra 1, mostrando fina granulação da rocha potássica. b) Visão geral da amostra 2, revelando massa de mica e feldspato potássico, com detalhe de cristais de quartzo e leucita. c) Visão geral da amostra 3, com detalhe dos cristais de nefelina. d) Visão geral da amostra 4. e) Visão geral da amostra 5, onde são mostrados massa de feldspato e mica, com detalhes de alguns minerais. f) Visão geral da amostra 5.1. Em que: Ca= calcita, Fk= feldspato potássico; He= hematita, Le= leucita, Mi= mica, Ne= nefelina, Opaco= mineral opaco, Qz= quartzo e Zr= zircão.

Fonte: Elaboração própria.

4. CONCLUSÕES

Com base nos resultados e análises realizadas neste trabalho, conclui-se que:

- De acordo com a análise granuloquímica, não existiu concentração preferencial significativa de sílica, óxido de potássio, alumina e hematita nas faixas granulométricas estudadas. Deste modo, não é possível concentrar ou apartar estes compostos com base na granulometria;
- Conforme as análises químicas por ICP-MS, a porcentagem de alumina, óxido de potássio, hematita e sílica contida nas amostras 1, 3 e 5 foram próximas aos valores encontrados na análise granuloquímica por fluorescência de raios X, confirmando a correspondência destas técnicas. A quantidade de elementos terras raras contidas nestas amostras foram maiores do que suas abundâncias na crosta terrestre, com exceção do lutécio e escândio, principalmente na amostra 1. Verificou-se, portanto, a ocorrência destes elementos na região do Planalto de Poços de Caldas e sua potencialidade para mineração de terras raras;

- Segundo a análise petrográfica, macroscopicamente, as amostras apresentaram as mesmas características (inequigranular, holocristalina, granulação fina, subfanerítica, grãos anédricos e arranjo intergranular), por se tratarem do mesmo depósito de rochas magmáticas, em diferentes posições quanto ao derrame magmático. Foi observada a presença de vários minerais nas lâminas delgadas, principalmente, nefelina, quartzo, hematita, mica, calcita, piroxênio, carbonato e nefelina, além de massa felspática e clastos.

Desta forma, essas rochas potássicas podem ser aplicadas no uso de fertilizantes de liberação lenta, em rochagem e também como matérias-primas fundentes para cerâmicas. Além de suas respectivas áreas apresentarem potencialidade para a mineração de elementos terras raras, que de acordo com demanda futura e/ou desenvolvimento de novas técnicas de mineração.

5. AGRADECIMENTOS

À Mineração Curimbaba pela colaboração na coleta de dados e de ensaios laboratoriais. Ao Acme Analytical Laboratories (Vancouver) Ltd., pelas análises realizadas e ao Laboratório de Laminação do Departamento de Petrologia e Metalogenia da Universidade Estadual Paulista de Rio Claro pela confecção das lâminas delgadas.

6. REFERÊNCIAS

ABRÃO, A. Química e tecnologia das terras-raras. Rio de Janeiro: CETEM/CNPq, 1994. Disponível em: <http://www.cetem.gov.br/publicacao/series_stm/stm-66.pdf>. Acesso em 29 out. 2014.

ARAÚJO, M. S. Estudo de Rocha Potássica como Fertilizante de Liberação Lenta. 2010. 26 f. Projeto (Graduação) - Curso de Engenharia Metalúrgica, Departamento de Engenharia Metalúrgica e de Materiais, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2010.

DNPM. Sumário Mineral 2013: potássio. Departamento Nacional de Produção Mineral. Brasília, 2013. Disponível em: https://sistemas.dnpm.gov.br/publicacao/mostra_imagem.asp?IDBancoArquivoArquivo=8999 Acesso em: 21 mai. 2014.

ELLERT, R. Contribuição geológica do maciço alcalino de Poços de Caldas. Bol. Fac. Fils. Ci. Let. Universidade de São Paulo, v. 237, Geologia n. 18, p. 1-64, 1959

FAGERIA, N. K.; STONE, L. F.; SANTOS, A. B. Manejo da Fertilidade do Solo. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2003. 250 p.

FAQUIN, V.; KINJO, T.; MALAVOLTA, E. Efeito do Tratamento Térmico e da Adição de Calcário Dolomítico na Cinética de Liberação de Potássio do Sienito Nefelínico de Poços de Caldas. In: ANAIS E.S.A. "LUIZ DE QUEIROZ", 1986. Piracicaba-sp: Departamento de Solos, Geologia e Fertilizantes, 1986. v.1, p. 497 - 515.

SCHENATO, F.; BACHI, F.A.; NEVES, P.C. P. Introdução à Mineralogia Prática. 2. ed. Canoas: Ulbra, 2008.

TEIXEIRA, A. M. S.; SAMPAIO, J. A.; GARRIDO, F. M. S.; MEDEIROS, M. E. Avaliação da rocha fonólito como fertilizante alternativo de potássio. HOLOS - ISSN 1807-1600, Rio Grande do Norte, 5, out. 2012. Disponível em: <<http://www2.ifrn.edu.br/ojs/index.php/HOLOS/article/view/1102/593>>. Acesso em: 12 Mai. 2014.

ULBRICH, M.N.C. Mineralogy of nepheline syenites from the Poços de Caldas alkaline massif SE Brazil: chemistry, X-ray data and microtextures of feldspars. Revista Brasileira de Geociências, v. 23, n.4, 388-399, 1993.

VALE, F; ALCARDE, J. C. Solubilidade de micronutrientes contidos em formulações de fertilizantes, em extratores químicos. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, v. 27, n. 2, abr. 2003 Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rbcs/v27n2/16237.pdf>>. Acesso em 29 out. 2014.

VALE, F; ALCARDE, J. C. Solubilidade e disponibilidade dos micronutrientes em fertilizantes. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 23, p. 441-451, 1991. Disponível em: < <http://www.scielo.br/pdf/rbcs/v23n2/27.pdf>>. Acesso em: 29 out. 2014.