



Caracterização tecnológica de rejeito em minérios pegmatíticos de Juazeirinho/PB

Heriscarth M. D. Pinheiro^a, J. P. P. Silva^b, R. A. Martins^b, J. Y. P. Leite^b & R. F. S. Lima^a

Recebido em 17 de novembro de 2007 / Aceito em 13 de maio de 2008

Resumo

Os pegmatitos representam importante fonte de minerais industriais tais como feldspato, caulim, mica e quartzo, bem como apresentam grande potencial gemológico. A Província Pegmatítica da Borborema vem sendo explorada desde antes da II Guerra Mundial. Após este período, o aproveitamento dos minerais dos pegmatitos tornou-se atividade sazonal, apresentando métodos primitivos de exploração e lavra, o que resultou em que porções substanciais dos recursos minerais daquela região fossem deixadas intactas. O presente trabalho tem como foco a caracterização granulométrica, mineralógica e química de rejeitos de pegmatito da região de Juazeirinho, PB. A caracterização tecnológica destes rejeitos possibilita a definição da melhor rota para a recuperação de minerais úteis presentes nos mesmos. As amostras, coletadas em dois locais distintos na mesma área (Alto do Belarmino e Mina Velha) foram homogeneizadas, quarteadas, separadas por faixa granulométrica, densidade e susceptibilidade magnética. As frações geradas foram submetidas a análises químicas e mineralógicas. Análises químicas semi-quantitativas foram realizadas em espectrômetro de fluorescência de raios X (EFRX). Nas análises mineralógicas foi feita estimativa do grau de liberação das fases minerais escuras presentes. Os resultados mostram que a mineralogia dos afundados consiste de espodumênio, granada, hematita, cassiterita e columbita-tantalita, enquanto que a mineralogia dos flutuados consiste essencialmente de quartzo, feldspato, moscovita. A mineralogia da fração magnética compreende basicamente hematita e magnetita, enquanto que a fração não-magnética ou pouco magnética compreende quartzo, feldspatos, micas e turmalina entre outros. O Grau de Liberação apresenta-se de modo crescente com a diminuição da granulometria. As fases minerais máficas apresentaram resultados em torno de 60 e 100% de liberação de partículas. Os dados obtidos neste estudo apontam para a possibilidade do reaproveitamento deste rejeito, explorando cassiterita e niobo-tantalatos.

Palavras-Chave: Minerais industriais, Mineralogia, Análises químicas

Abstract

The pegmatites represent an important source of industrial minerals such as feldspar, kaolin, mica and quartz. They also present a large gemological potential. The Borborema Pegmatitic Province has been explored since before the World War II. After this period, the exploitation of minerals of the pegmatites became a seasonal activity, with primitive methods of exploration, which resulted in substantial losses of mineral resources from that region. The present work has as focus the granulometric, mineralogical and chemical characterization of tailings of pegmatite from Juazeirinho, PB. The technological characterization of these tailings allows the definition of the best route to recover useful minerals. The samples, collected in two distinct places in the same area (Alto do the Belarmino and Mina Velha) were homogenized and quartered, separated by grain size, density and magnetic susceptibility. The generated fractions were submitted the chemical and mineralogical analyses. Semi-

quantitative chemical analyses were carried through in X-ray fluorescence spectrometer. In the mineralogical analyses it was estimated the degree of liberation of the mineral dark phases. The results show that the mineralogy of the sunk minerals consists of spodumene, garnet, hematite, cassiterite and columbite-tantalite; while the mineralogy of the floated ones consists essentially of quartz, feldspar and muscovite. The mineralogy of the magnetic fraction comprehends essentially hematite and magnetite, while the non-magnetic or weakly magnetic fraction comprehends quartz, feldspar, micas and tourmaline among others. The Degree of Liberation increases with the decreasing of the grain size. The mafic mineral phases presented results ranging from 60 to 100% of particle liberation. The data point out to the possibility of reprocessing these tailings, aiming the recovery of cassiterite and niobo-tantalates.

Keywords: Industrial minerals, Mineralogy, Chemical analysis

^aDepartamento de Geologia, Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Av. Senador Salgado Filho, s/n, Campus Universitário, Natal-RN. E-mail: heriscarth@gmail.com, raquel@geologia.ufrn.br

^bDepartamento Acadêmico de Recursos Naturais, Centro Federal de Educação Tecnológica do RN (CEFET-RN). Avenida Salgado Filho, 1159, Morro Branco, 59.000-000, Natal-RN. E-mail: j.paulo_rn@yahoo.com, rosiney@cefetrn.br, leite@cefetrn.br

1. Introdução

Os pegmatitos representam importante fonte de minerais industriais, tais como feldspato, caulim, mica e quartzo, bem como apresentam grande potencial gemológico. A Província Pegmatítica da Borborema vem sendo explorada desde antes da II Guerra Mundial, tendo esta atividade se acelerado durante a guerra, com a finalidade de fornecimento de minerais estratégicos para a indústria bélica. Após este período, o aproveitamento dos minerais dos pegmatitos tornou-se atividade sazonal, apresentando métodos primitivos de exploração e lavra, o que resultou em que porções substanciais dos recursos minerais daquela região, fossem deixadas intactas.

Segundo London (1996), pegmatitos graníticos são rochas de origem ígnea, caracterizados pela presença de fases minerais de tamanho extremamente grande, anisotropia de *fabric* e uma extensa gama de morfologia de cristais (esqueletal, gráfica, eudral), e que podem ser geradas por magmas de todas as composições. Os minerais que compõem os pegmatitos da região da Província Pegmatítica da Borborema são geralmente feldspato potássico, quartzo, muscovita e, geralmente em menor quantidade, albita, biotita, turmalina negra e granada. A mineralogia acessória é vasta, destacando columbite-tantalita (Adusumilli, 1976) e cassiterita (Soares, 2004; apud Cerný, 1993). Rolff (1945) classificou os pegmatitos da região em homogêneos, heterogêneos e mistos.

Os pegmatitos dessa região, além de serem portadores de minerais comuns em pegmatitos mineralizados em elementos raros, tais como berilo, turmalinas e tantalita, são famosos notadamente pela beleza e dimensão alcançada por estes minerais, contendo também em suas paragêneses minerais de ocorrência restrita, como simpsonita (Johnston Jr., 1945), parabariomicrolita (Ercit *et al.*, 1986), aluminotantita (Ercit *et al.*, 1992) para os quais servem como sítio de referência mundial. Eles ocorrem em forma de diques, parecem ligar-se às manifestações pós-tectônicas da orogenia brasileira e encaixam-se em xistos, quartzitos, gnaisses e granitóides, de idade proterozóica.

O presente trabalho apresenta a caracterização tecnológica dos rejeitos das operações de britagem, moagem e jigagem do minério da Mineração Pedra Preta localizada ao norte da cidade de Juazeirinho, no distrito municipal de Juazeirinho, região centro-norte da Paraíba. Foram estudados os rejeitos de duas localidades (Alto do Belarmino e Mina Velha), através de análise mineralógica, estudo do grau de liberação, separação magnética baseada na classificação proposta por Parfenoff (1970) e análises químicas semi-quantitativas por EFRX.

2. Localização e vias de acesso

O município de Juazeirinho localiza-se na região centro-norte do Estado da Paraíba (Fig. 1), Meso-



Fig. 1. Localização da cidade de Juazeirinho.

Região Borborema e Micro-Região Seridó Oriental Paraibano. A sede municipal situa-se a uma altitude de 555m, com coordenadas de 9.218.035 NS e 767.552 EW. O acesso a partir de João Pessoa é possível através da rodovia federal BR-230, leste-oeste, em trecho de 224 km até chegar à sede do município de Juazeirinho passando por Campina Grande e Soledade.

3. Metodologia

As amostras dos rejeitos das localidades Alto do Belarmino e Mina Velha foram coletadas através de tradagem e também manualmente. O material coletado foi submetido a homogeneização e quarteamento no Laboratório de Tratamento de Minérios e Resíduos do CEFET/RN. A seguir, as amostras foram submetidas a processos de separação granulométrica, separações em meio denso e separações magnéticas (Fig. 2), realizados no Departamento de Geologia da UFRN.

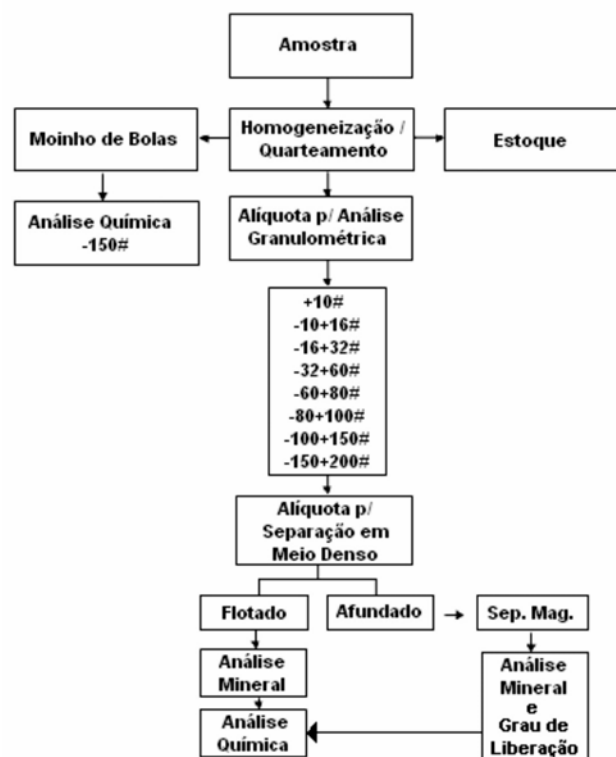


Fig. 2. Fluxograma de caracterização de rejeitos.

Após a classificação granulométrica, seguiu-se uma separação em líquido denso, do percentual retido em cada peneira, usando o bromofórmio ($d = 2,89 \text{ g/cm}^3$). A separação magnética foi realizada com um separador isodinâmico Frantz. O equipamento foi ajustado a ângulos de 15° na horizontal e 20° na vertical, tendo sido efetuado incremento da corrente de 0,2 em 0,2 ampéres, até 1,40 ampére. Os concentrados da separação magnética e o produto não magnético foram examinados à lupa binocular (estereomicroscópio) para identificação mineralógica. As análises mineralógicas foram feitas considerando algumas características dos minerais tais como cor, brilho, hábito e clivagem.

O Grau de Liberação (GL) permite avaliar o percentual de um mineral de interesse que se encontre totalmente livre em uma determinada faixa granulométrica. Os resultados contribuem para a definição do processo a ser utilizado para a recuperação de um mineral-minério a partir de um minério. Utilizou-se uma lupa binocular para facilitar o trabalho de contagem das fases minerais observadas. A metodologia empregada foi a de dividir a área de visão em quadrantes, onde se contou 200 pontos ao todo, 50 em cada quadrante, entre partículas liberadas (félsicas e máficas) e partículas de fases minerais não liberadas. Esse processo foi realizado para todas as faixas granulométricas. Para o cálculo do Grau de Liberação utilizou-se a fórmula apresentada a seguir (Eq. 1):

$$\% GL = \frac{\text{partículas livres}}{\text{partículas livres} + \text{partículas mistas}} \cdot 100 \quad (1)$$

As análises químicas foram realizadas por Espectrometria de Fluorescência de Raios X (EFRX), uma técnica analítica não destrutiva usada para identificar e determinar as concentrações dos elementos presentes em sólidos, pós e em líquidos. O equipamento utilizado foi um EFRX da Marca PHILIPS, modelo PW 2400-00, com tubo de Rh. A identificação dos elementos foi feita com auxílio do *software* SUPERQ, e a análise química semi-quantitativa utilizou o *software* SEMIQ.

4. Resultados e discussões

As distribuições granulométricas em função da abertura da peneira e massa retida, do rejeito das

plantas de beneficiamento do Alto do Belarmino e Mina Velha, estão representadas na parte superior e inferior da Figura 3, respectivamente. Em ambos os casos, verifica-se aumento de percentual retido, à medida que a abertura das malhas diminui. Os resultados também indicam que de 60 a 65% das partículas das amostras originais são menores que 2 mm. Estas distribuições granulométricas mostram que as alimentações das plantas foram feitas de forma inadequada, particularmente nas mesas vibratórias, as quais deveriam operar em faixas granulométricas estreitas.

A Figura 4 mostra as frações afundadas (minerais pesados) e flutuadas (minerais leves), por fração granulométrica, nas amostras estudadas. A separação por líquido denso determinou que cerca de 3% dos minerais na amostra do Alto do Belarmino tem densidade maior que 2.83 g/cm^3 . Na amostra da Mina Velha, a média de minerais pesados em todas as frações foi de 10%, atingindo 15% nas granulometrias mais grossas.

A análise mineralógica das frações flutuadas das duas localidades estudadas apresentou essencialmente quartzo, feldspato e muscovita. O quartzo exibe cor incolor a branca, transparente a translúcido e brilho vítreo. O feldspato apresenta cor creme a vermelho da carne e brilho vítreo. A muscovita é incolor, transparente e com brilho nacarado. Os minerais essenciais na fração afundadas são espodumênio, tantalita/columbita, granada, ilmeno-hematita e cassiterita. O espodumênio predomina na cor branca, translúcido, clivagem distinta e dureza elevada. A tantalita/columbita é preta e de brilho metálico. A granada exibe cor amarronzada a avermelhada e brilho terroso. A ilmeno-hematita apresenta leve magnetismo e traço castanho. A turmalina é preta e se apresenta com hábito prismático. A cassiterita apresenta cor castanha, brilho fosco e traço branco. A Figura 5 apresenta, em sua porção superior, minerais da amostra do Alto do Belarmino, como espodumênio, turmalina, feldspato e opacos, enquanto que em sua porção inferior são visualizados minerais encontrados nos rejeitos da Mina Velha, como espodumênio, feldspato e opacos.

Quanto ao Grau de Liberação, as amostras provenientes da localidade Alto do Belarmino apresentam valores relativos a minerais opacos variando

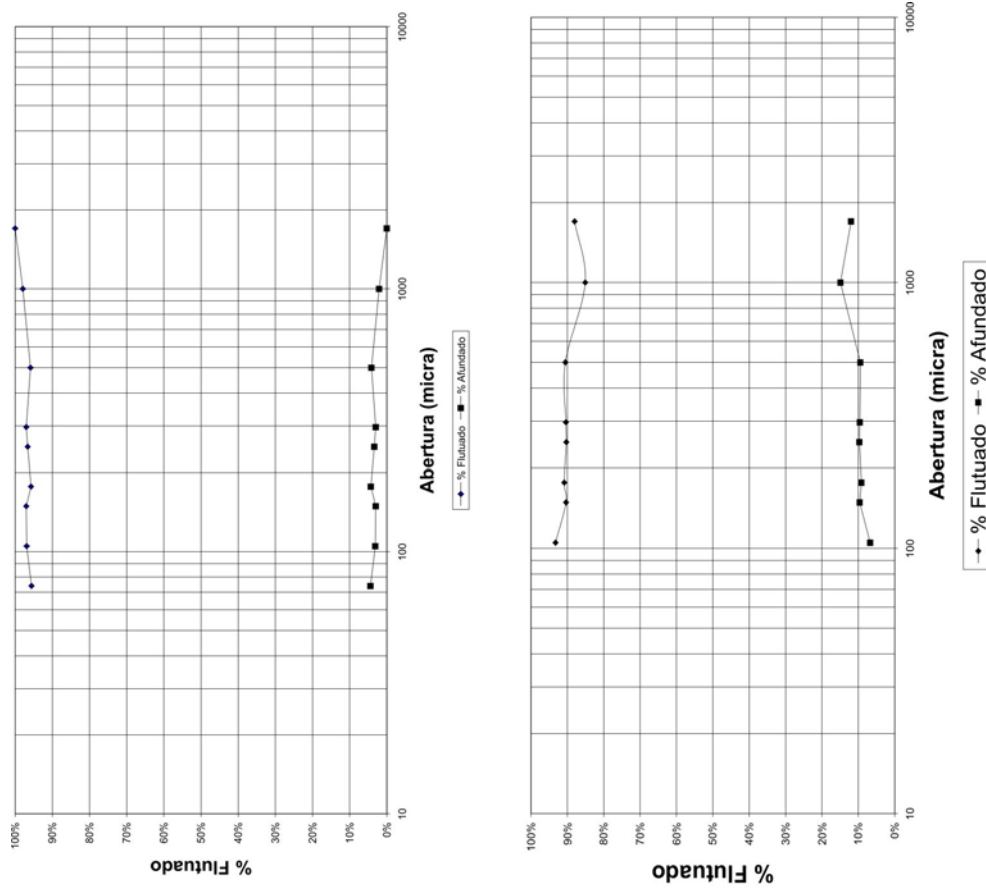


Fig. 4. Frações afundadas e flutuadas, em função do tamanho da partícula, após separação por líquido denso em amostras do rejeito das plantas de beneficiamento do Alto do Belarmino (superior) e Mina Velha (inferior), na Mineração Pedra Preta, Juazeirinho, Paraíba.

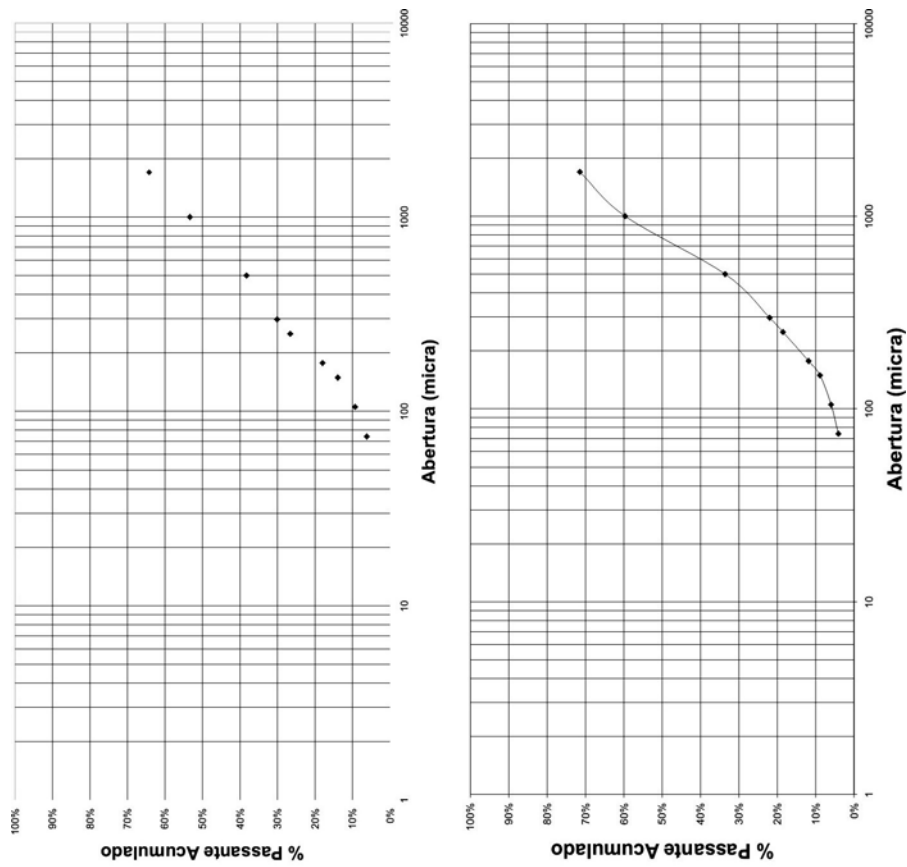


Fig. 3. Análise granulométrica do rejeito das plantas de beneficiamento do Alto do Belarmino (superior) e Mina Velha (inferior), na Mineração Pedra Preta, Juazeirinho, Paraíba.

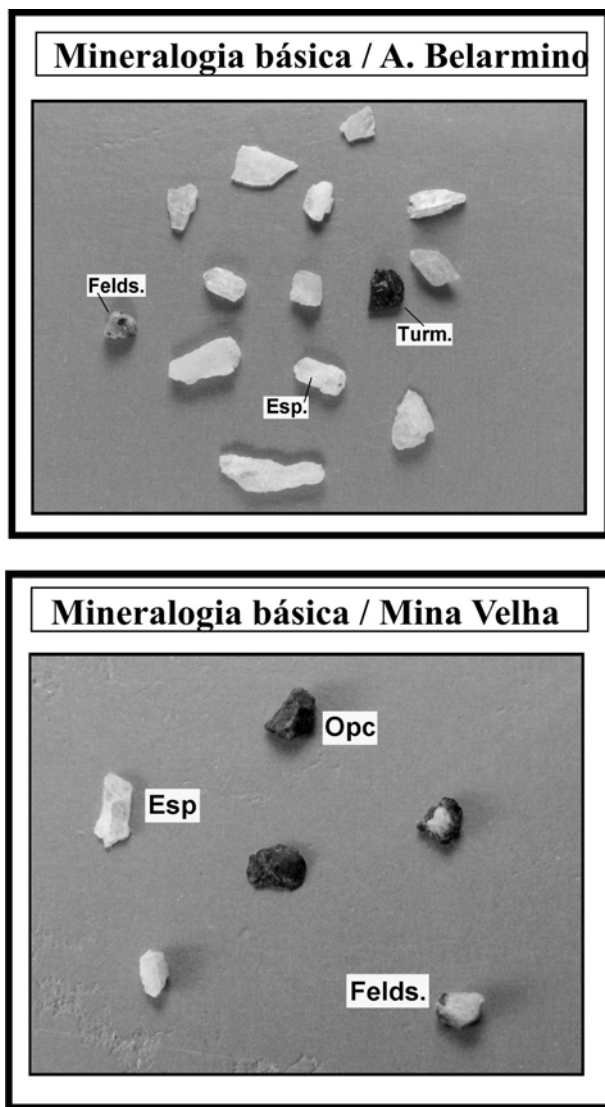


Fig. 5. Representação da mineralogia básica em amostras do rejeito das plantas de beneficiamento do Alto do Belarmino (superior) e Mina Velha (inferior), na Mineração Pedra Preta, Juazeirinho, Paraíba. Felds – feldspato; Esp – espodumênio; Turm – turmalina; Opc – opacos.

entre 84,11% e 100% (Fig. 6 – superior). Nas amostras da Mina Velha o grau de liberação, correspondente aos opacos, varia entre 63,49% e 87,50% (Fig. 6 – inferior). Para um mesmo material, o grau de liberação de um dado mineral em um minério é em geral crescente, com a diminuição do tamanho das partículas. Os resultados obtidos para os rejeitos do Alto do Belarmino e Mina Velha mostram uma tendência geral de aumento do grau de liberação com a diminuição do tamanho das partículas, mas há exceções em relação à tendência geral. Isto pode ser devido ao fato de se tratar de rejeitos, produzidos

a partir de minérios provenientes de diversas frentes de lavra distintas (o que gera descartes com características distintas), além da possibilidade do material disposto em diferentes momentos nas pilhas terem sido re-processados uma ou mais vezes.

Os resultados das análises químicas feitas por espectrometria de fluorescência de raios X, nos modos qualitativo e semiquantitativo, a partir dos produtos da separação magnética dos minerais pesados, em amostras dos rejeitos estudados, podem ser visualizados na Tabela 1. Os resultados foram fornecidos na forma do elemento ou do composto químico. Para fins de comparação dos dois rejeitos estudados, todos os elementos ou compostos químicos detectados em ambas as amostras são encontrados na tabela, embora haja casos em que o elemento tenha sido detectado apenas em uma amostra, (ex: prata é encontrada no rejeito do Alto do Belarmino, mas não detectada na amostra da Mina Velha). Na amostra do Alto do Belarmino não foi analisada a fração de 0,8 a 1,0 ampère, por tratar-se de quantidade ínfima de amostra.

É importante ressaltar que o resultado das semiquantificações deve ser utilizado apenas de forma comparativa de dosagens efetuadas em sub-amostras (alíquotas) distintas, que sejam produzidas a partir de uma mesma amostra. Citam-se como exemplos o nióbio e o tântalo: na amostra de minerais pesados do Alto do Belarmino, foram detectados Nb e Ta apenas na faixa de 0 a 0,2 A. Pode-se afirmar que esta é a faixa na qual a quantidade de niobo-tantalatos é maior. Na amostra de minerais pesados da Mina Velha o Nb e Ta ocorrem em praticamente em todas as faixas magnéticas. A faixa 0,6 A da Mina Velha é a que apresenta os maiores teores de Nb (0,255%) e Ta (5,646%). Os valores absolutos dos teores não devem ser considerados, mas a comparação com os teores obtidos para as diversas frações magnéticas na mesma amostra permite afirmar que na faixa 0,6 A devem ser encontrados grãos de niobo-tantalatos em maior quantidade. A confirmação é feita na observação ao estereomicroscópio. Sendo assim, a combinação de análise química qualitativa e semi-quantitativa com análises mineralógicas é considerada bastante eficaz na caracterização dos sub-produtos de diversas separações, na caracterização tecnológica de minérios (Lima *et al.*, 2004).

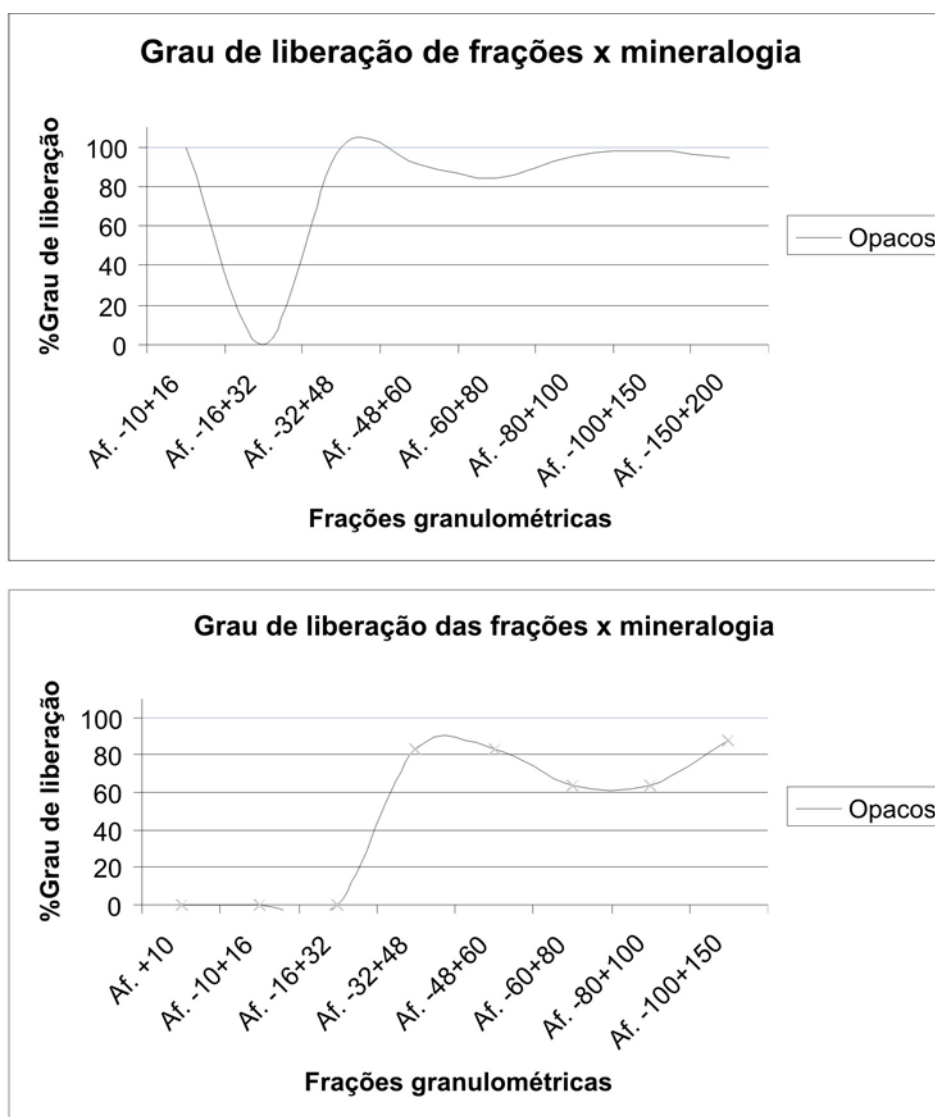


Fig. 6. Grau de liberação em função das frações granulométricas para os minerais opacos da fração afundada (produto da separação por líquido denso) em amostras do rejeito das plantas de beneficiamento do Alto do Belarmino (superior) e Mina Velha (inferior), na Mineração Pedra Preta, Juazeirinho, Paraíba.

Vale salientar que o estanho (Sn) encontrado em alta concentração na fração não magnética das amostras provenientes da Mina Velha, é um bom indicador de existência de mineral-minério de cassiterita entre os minerais estudados.

A tabela apresentada por Parfenoff (1970) permite classificar a mineralogia conforme a amplitude da corrente utilizada na separação, utilizando o separador Isodinâmico Frantz. As correntes empregadas na separação das amostras de ambas as localidades estudadas foram 0-0,2; 0,4; 0,6; 0,8; 1,0; 1,2 e 1,4 ampères. Dados complementares no que se refere à determinação dos minerais presentes foram obtidos em Deer *et al.* (1992). A mineralogia

proposta para cada faixa é apresentada na Tabela 2, que inclui o sub-produto não magnético.

Os minerais pesados do Alto do Belarmino e da Mina Velha compreendem magnetita, ilmenohematita, tantalita-columbita, biotita, muscovita, espodumênio, granada, turmalina, quartzo, feldspato, cassiterita e pirita. O espodumênio é o mineral essencial em ambos os casos.

Nos concentrados magnéticos obtidos na separação e provenientes da localidade do Alto do Belarmino, existe uma diversidade mineralógica considerável entre as faixas de 0,4 e 1,2 A, sendo as faixas intermediárias (0,6 e 0,8 A) as que representam a maior diversidade mineralógica. O concen-

Tab. 2. Mineralogia dos produtos da separação magnética dos minerais pesados em amostras do rejeito das plantas de beneficiamento do Alto do Belarmino (superior) e Mina Velha (inferior), Mineração Pedra Preta, Juazeirinho, PB. NM = não magnético.

Concentrado de minerais pesados - rejeitos do Alto do Belarmino								
Mineral e composição química	Corrente (Ampère)							
	0-0,2	0,4	0,6	0,8	1,0	1,2	1,4	NM
<i>Mineralogia proposta com base na análise mineralógica e química (qualitativa e semi-quantitativa)</i>								
Magnetita FeFe ₂ O ₄	x							
Ilmeno-Hematita (FeTiO ₃); (Fe ₂ O ₃)	x	x	x	x	x	x	x	
Tantalita/Columbita (Fe,Mn)(Ta,Nb) ₂ O ₆	x	x	x	x	x	x		x
Biotita K(MgFe) ₃ [AlSi ₃ O ₁₀][FOH] ₂		x				x		
Muscovita KAl ₂ [AlSi ₃ O ₁₀][FOH] ₂			x					
Espodumênio LiAl(SiO ₃) ₂		x	x	x	x	x	x	
Granada Fe ₃ Al ₂ (SiO ₄) ₃ (almând.); Mn ₃ Al ₂ (SiO ₄) ₃ (espess.)		x	x	x				
Schorlita NaFe ₃ Al ₆ (BO ₃) ₃ Si ₆ O ₁₈ (OH) ₄		x	x	x	x	x		
Quartzo SiO ₂			x	x	x	x	x	x
Feldspato (K,Na,Ca) _x (Al,Si) ₃ O ₈			x	x	x	x	x	x
Cassiterita SnO ₂			x	x	x	x	x	x
Pirita FeS ₂				x				
<i>Mineralogia proposta com base na análise química (qualitativa e semi-quantitativa)</i>								
Mineral portador de céscio	x							
Fosfatos (fosfatos de terras raras ou de cálcio -> apatita)	x	x	x	x	x	x	x	
Gahnita ZnAl ₂ O ₄			x					
Zircão ZrSiO ₄			x					x
Concentrado de minerais pesados - rejeitos da Mina Velha								
Mineral e composição química	Corrente (Ampère)							
	0-0,2	0,4	0,6	0,8	1,0	1,2	1,4	NM
<i>Mineralogia proposta com base na análise mineralógica e química (qualitativa e semi-quantitativa)</i>								
Magnetita FeFe ₂ O ₄	x							
Ilmeno-Hematita (FeTiO ₃); (Fe ₂ O ₃)	x	x	x	x	x	x	x	x
Tantalita/Columbita (Fe,Mn)(Ta,Nb) ₂ O ₆	x	x	x	x	x	x		x
Muscovita KAl ₂ [AlSi ₃ O ₁₀][FOH] ₂								x
Espodumênio LiAl(SiO ₃) ₂		x	x	x	x	x	x	
Granada Fe ₃ Al ₂ (SiO ₄) ₃ (almând.); Mn ₃ Al ₂ (SiO ₄) ₃ (espess.)		x	x	x				
Schorlita NaFe ₃ Al ₆ (BO ₃) ₃ Si ₆ O ₁₈ (OH) ₄	x		x	x	x			
Quartzo SiO ₂	x	x	x	x	x	x	x	x
Feldspato (K,Na,Ca) _x (Al,Si) ₃ O ₈			x	x	x	x	x	x
Cassiterita SnO ₂			x	x	x	x	x	x
Pirita FeS ₂								x
<i>Mineralogia proposta com base na análise química (qualitativa e semi-quantitativa)</i>								
Fosfatos (fosfatos de terras raras ou de cálcio -> apatita)	x		x	x		x	x	x
Gahnita ZnAl ₂ O ₄		x	x		x			
Zircão ZrSiO ₄			x					

trado não magnético apresentou essencialmente uma fase mineral (espodumênio). Nos concentrados magnéticos provenientes da localidade de Mina Velha, quartzo e schorlita são encontrados na fração mais magnética, provavelmente intercrescidos com magnetita e ilmeno-magnetita. Cabe ressaltar que a ocorrência de minerais leves na fração de minerais pesados deve-se, ou à sua densidade variável (feldspatos, micas), ou ao fato de os mesmos encontrarem-se intercrescidos com outros minerais de densidades mais elevada (não liberados).

O grau de liberação dos minerais escuros (Fig. 6) atinge 100% no Alto do Belarmino. Dentre estes encontram-se magnetita, ilmeno-hematita, tantalita-columbita e cassiterita. Isto demonstra que o uso de jigagem, utilizada quando do beneficiamento do minério, é uma tecnologia inadequada para a recuperação dos finos, o que justifica a presença de teores significativos destes minerais nos rejeitos.

5. Conclusões

O trabalho proposto identificou algumas fases minerais a partir de observações com lupa binocular, separações magnéticas e análises químicas qualitativas e semi-quantitativas por espectrometria de fluorescência de raios X.

A distribuição granulométrica nos rejeitos evidencia que as alimentações das plantas foram feitas de forma inadequada, particularmente nas mesas vibratórias, as quais deveriam operar em faixas granulométricas estreitas.

A análise mineralógica das frações flutuadas das duas localidades estudadas apresentou essencialmente quartzo, feldspato e muscovita. A separação por líquido denso determinou que cerca de 3% dos minerais na amostra do Alto do Belarmino tem densidade maior que 2.83 g/cm³. Na amostra da Mina Velha, a média de minerais pesados em todas as frações foi de 10%, atingindo 15% nas granulometrias mais grosseiras. Os minerais pesados do Alto do Belarmino e da Mina Velha compreendem magnetita, ilmeno-hematita, tantalita-columbita, biotita, muscovita, espodumênio, granada, turmalina, quartzo, feldspato, cassiterita e pirita. O espodumênio é o mineral essencial em ambos os casos.

O grau de liberação dos minerais escuros atinge 100% no Alto do Belarmino e não passa de 85%

na Mina Velha. O fato de serem encontrados tantalita-columbita e cassiterita nestes rejeitos indica que o método de concentração gravítico utilizado durante o processamento mineral foi inadequado. Por outro lado, no que se refere à caracterização do minério, o estudo de Grau de Liberação executado apresenta informações que constituem parâmetro importante a ser considerado na definição da rota de processo para o beneficiamento destes rejeitos.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao CT-Mineral, pelo financiamento à pesquisa através do convênio 01.04.1125.01 FINEP – FUNPEC, projeto Desenvolvimento em Rede do Arranjo Produtivo em Pegmatitos - RN/PB - ENCOMENDA CT - MINERAL/AÇÃO REGIONAL – APLs; ao CNPq pela concessão de bolsa ITI ao primeiro autor; ao CEFET/RN, pela concessão de bolsa ao segundo autor, através do Programa Interno de Pesquisa de Iniciação Científica.

Referências bibliográficas

- Adusumilli, M.S., 1976, Contribuição à mineralogia dos niobo-tantalatos da Província pegmatítica nordestina. Tese de Livre Docência em Mineralogia, UFMG, 212p.
- Cerný, P., 1989, Exploration strategy and methods for pegmatite deposits of tantalum. In: Moller, P., Cerny, P. & Saupé, F., Lantanides, Tantalum and niobium. SGA, Spring Verlag, Special Publication, 7: 274-302.
- Deer, W.A., Howie, R.A. & Zussman, J., 1992, Uma Introdução aos Minerais Formados em Rochas. Longman Scientific & Technical, Hong Kong, 696p.
- Ercit, T.S., Hawthorne, F.C. & Cerný, P., 1986, Parabarioromilite, a new especie, and structural relationship to the pyrochlore group. *The Canadian Mineralogist*, **24**: 655-663.
- Ercit, T.S., Hawthorne, F.C. & Cerný, P., 1992, The crystal structure of aluminantite its relation to the structures of simpsonite and the (Al, Ga) (Ta, Nb)O₄ compounds. *The Canadian Mineralogist*, **30**: 652-662.
- Johnston, Jr., W.D., 1945, Beryl-tantalite pegmatites of northeastern Brazil. *The Geological Society of America – Bulletin*, **56**: 1015-1070.
- Lima, R.F.S., Paulo, J.B.A., Coelho, L.M. & Costa, L.S., 2004, Caracterização de minerais pesados da região do rio Guaju, Baía Formosa, Rio Grande do Norte. 1ª Semana Ibero-americana de Engenharia de Minas, São Paulo, 247-251.

- London, D., 1996, Granitic pegmatites. Transactions of the Royal Society of Earth Scienc, **87**: 305-319.
- Parfenoff, A., Pomerol, C. & Tourenq, J., 1970, Les Minéraux en Grains - Méthodes d'étude et Détermination, Masson et Cie Éditeurs, Paris, 578p.
- Rolff, P.A.M.A., 1945, Geologia da Província tântalo-glucínifera da Borborema. DNPM/DFPM, Boletim 73, Rio de Janeiro, 79p.
- Soares, D.R., 2004, Contribuição à petrologia de pegmatitos mineralizados em elementos raros e elbaítas gemológicas da província pegmatítica da Borborema, Nordeste do Brasil. Tese de Doutorado, UFPE, Recife, 271p.