

composição, tem-se por volta de 56% da monazita razoavelmente liberada, e 44% certamente não liberada. Essa distribuição ainda quantifica a associação preferencial da monazita com apatitas e gorceixitas (nos produtos afundados magnéticos a 1,5, e 1,85 A, e nos não-magnéticos), e com o quartzo (flutuado).

**Tabela 4 - Distribuição da monazita (fração de 105-149  $\mu\text{m}$ )**

Produto	monazita (%)
Flutuado	0,5
Ímã de Mão	3,2
0,1A	2,1
0,3A	2,7
0,5A	3,9
0,8A	10,3
1,0A	45,3
1,5A	24,8
1,85A	3,4
Não-Magnético	3,8

## BIBLIOGRAFIA

1. LAPIDO LOUREIRO, E.F.V., BARBOSA, J.P. Rare Earths in Brazil: deposits, identified resources and politics. London: Mineralogical Society of Great Britain and Ireland, The Natural History Museum, 1993. 166p. Abstracts: p.7-9.
2. LAPIDO LOUREIRO, E.F.V. Terras-Raras no Brasil: depósitos, recursos identificados, reservas. Rio de Janeiro: CETEM/CNPq, 1994. 183p. (Série Estudos e Documentos, 21).
3. NEUMANN, R., ALMEIDA, S.L.M., DASSIÉ, M.V.C. Technological characterization of the Córrego do Garimpo rare earth ore, Catalão (GO), Brazil. In: Meeting of the Southern Hemisphere on Mineral Technology 4. Concepcion, Chile, 1994. V.1. Mineral Processing and Environmental. p.259-268.

## Processamento de Minérios de Terras-Raras por Flotação

Nilton Rosembach Junior  
Bolsista de Iniciação Científica, Engenharia Química, UERJ  
Elbert Valdiviezo Viera  
Orientador, Engenheiro de Minas, D. Sc.

## RESUMO

Esse trabalho apresenta e avalia os resultados de estudos de caracterização (análise granulométrica, granuloquímica, química e MEV) e de flotação primária, realizados com amostras do minério saprolito-laterítico de terras-raras do Córrego do Garimpo, Catalão, Goiás.

## 1. INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, o desenvolvimento de novas tecnologias provocou um significativo aumento na demanda dos elementos contidos nas terras-raras (TR), provocando maior interesse no seu estudo e na produção de seus compostos. A expectativa é que nos próximos anos ocorra um incremento substancial no consumo mundial de TR, paralelamente ao surgimento de novas aplicações em tecnologias de ponta (1).

Cerca de 95% dos óxidos de terras-raras (OTR) são obtidos industrialmente a partir de três minerais: monazita, bastnaesita e xenotímio. Os dois primeiros são os principais portadores dos elementos leves das TR e o xenotímio é a principal fonte de ítrio e de outros elementos que compõem a fração pesada das TR (2).

Os principais processos industriais empregados como estágios de pré-concentração no beneficiamento de minérios de TR são: separação magnética, separação eletrostática e concentração gravítica. Na prática industrial, esses métodos são freqüentemente utilizados no beneficiamento de *placers* de origem marinha e fluvial.

O processo de flotação também é utilizado, principalmente, no beneficiamento de minérios de terras-raras de mineralogia mais

complexa, como no caso do minério de ferro de Baiyun Ebo, na China, e do minério de Mountain Pass, nos Estados Unidos (1).

Apenas alguns estudos foram realizados no Brasil visando ao beneficiamento de minérios de TR (3-7), embora o país detenha grandes reservas potenciais, em torno de 29 milhões de toneladas. As maiores reservas de TR encontram-se distribuídas, principalmente, em minérios lateríticos, em minérios fosfáticos e em minérios de nióbio (8). No entanto, esses minérios são de difícil beneficiamento, devido à diversidade de minerais que os constituem. Este estudo, ora em desenvolvimento no CETEM, se justifica, porquanto os minérios brasileiros requerem uma pré-concentração antes da extração química dos elementos de TR.

## 2. OBJETIVO

Este trabalho objetiva o desenvolvimento de uma rota adequada de beneficiamento para o minério saprolito-laterítico de TR do Córrego do Garimpo, Catalão (Góias), com a finalidade de se obter concentrados com teores comerciais (em torno de 50% OTR), ou pré-concentrados para subseqüente tratamento químico.

## 3. MATERIAIS E MÉTODOS

### 3.1 Materiais

Uma amostra do minério, em torno de 100 kg, correspondente à fração saprolito-laterítica, foi cedida pela empresa Goiasfértil para os estudos de caracterização mineralógica e ensaios de beneficiamento.

Os ensaios de flotação foram realizados em célula de bancada Denver de 3 L de capacidade, empregando-se os seguintes reagentes: fluorsilicato de sódio e metassilicato de sódio (depressores); *tall oil*, oleato de sódio, hidroxamato de potássio, sulfosuccinamato de sódio e uma mistura de sulfosuccinamato de sódio e éster de ácido alquênico succínico (coletores). Esses três últimos são fabricados pela Hoechst sob os nomes comerciais de Flotiner V3900-1B, HOE F2875-B e coletor F-153-B. Também foi utilizado como coletor um sulfosuccinato de sódio fabricado pela Henkel sob o nome comercial de KE883-B. O espumante

empregado foi o metil-isobutil-carbinol (MIBC) e como reguladores do pH da polpa foram usados NaOH e Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>.

### 3.2 Métodos

#### 3.2.1 Caracterização do Minério

Para os estudos de caracterização, primeiramente, foram preparadas subamostras a partir da amostra enviada pela Goiasfértil. As etapas de preparação consistiram de homogeneização, amostragem, britagem a menos 3,3 mm e quarteamento do minério, obtendo-se alíquotas para os seguintes ensaios: análise granulométrica, separação em líquido denso (bromofórmio), separação magnética a seco em separador Frantz, microscopia eletrônica de varredura (MEV) e análise química do minério.

#### 3.2.2 Moagem

Ensaio de moagem foram realizados com o objetivo de determinar o tempo mínimo necessário para o minério atingir uma granulometria  $d_{80} < 74 \mu\text{m}$ . Os ensaios foram efetuados em moinho de barras, de aço inoxidável, com 170 mm de diâmetro e 310 mm de comprimento, corpos moedores constituídos por 10 barras de aço com comprimento de 295 mm, pesando 903 g/barra. Para cada teste, 1,0 kg de amostra era colocado no moinho a uma concentração de sólidos de 50% em peso. Um tempo de moagem de 12 min foi selecionado.

#### 3.2.3 Flotação

A moagem que antecedia à flotação era realizada adicionando-se uma determinada quantidade de NaOH e Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> de modo a obter-se uma polpa com pH em torno de 10,0. A seguir, a polpa era transferida para a célula de flotação, adicionando-se água suficiente para obter-se um teor de sólidos de 30% em peso. Em seguida, eram adicionados, simultaneamente, os depressores fluorsilicato de sódio e metassilicato de sódio, e prosseguia-se o condicionamento da polpa por 10 min, mantendo-se uma velocidade de agitação de 1500 rpm. O coletor era adicionado à polpa e o condicionamento era continuado por 5 min. O tempo de condicionamento na presença do espumante foi de 2 min. Antes de proceder à coleta da espuma, o pH da polpa era

ajustado em 10,0 com NaOH e/ou Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> e a velocidade de agitação reduzida para 1100 rpm.

Para cada coletor utilizado, foram efetuados 4 ensaios de flotação, de acordo com um planejamento fatorial estabelecido com duas variáveis: 2<sup>n</sup>, sendo n o número de variáveis. As variáveis, estudadas com seus níveis máximo e mínimo, foram: concentração de coletor (200 e 600 g/t) e concentração do depressor metassilicato de sódio (800 e 1200 g/t). As outras condições experimentais foram mantidas constantes, isto é, concentração de fluorossilicato de sódio (80 g/t) e MIBC (25 g/t).

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 Caracterização do Minério

A composição química do minério é apresentada na Figura 1. A composição química de OTR no minério é CeO<sub>2</sub> (3,3%), La<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (1,8%), Nd<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (1,2%), Pr<sub>6</sub>O<sub>11</sub> (1,2%) e Sm<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (0,10%). Os outros elementos que constituem a fração leve de TR não foram analisados. Os outros constituintes que compõem o minério são: Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (2,4%), MgO (1,7%), MnO<sub>2</sub> (1,5%), BaO (0,13%) e P.F. (4,7%).

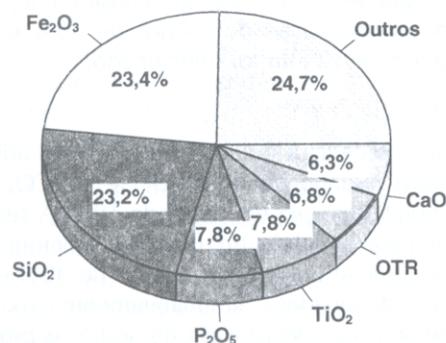


Figura 1 - Composição química (%) do minério

Os resultados da análise granulométrica a úmido do minério, cominuído a < 3,3 mm, mostraram que cerca de 35% do material distribuem-se em uma granulometria < 37 µm. Nas outras frações intermediárias, compreendidas entre 3300 e 37 µm, a distribuição em peso do material varia entre 2 e 10%.

Tabela 1 - Análise granuloquímica do minério

Dist. gran (µm)	Peso (%)	OTR (%)		Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)		SiO <sub>2</sub> (%)	
		teor	dist.	teor	dist.	teor	dist.
300/147	48,97	2,36	16,0	23,0	48,0	31,2	68,9
147/37	16,20	6,16	13,8	20,6	14,2	19,2	14,0
<37	34,93	14,47	70,2	25,3	37,8	10,8	17,1
Total	100,00	6,80	100,0	23,4	100,0	23,2	100,0

Uma amostra do minério britado foi peneirada, obtendo-se três frações granulométricas, cujos resultados estão apresentados na Tabela 1. Observa-se nessa tabela que, do total de OTR no minério, 70,2% encontram-se distribuídos em granulometria menor que 37 µm, sendo o teor de OTR em torno de 15%.

O estudo de microscopia eletrônica de varredura com imagens de elétrons secundários e detector de energia dispersiva de raiosX (EDS), realizado com alguns dos produtos provenientes da separação em líquido denso e da separação magnética, mostrou que o minério é constituído por monazita (mineral portador dos elementos de TR), goethita, hematita, limonita, magnetita, vermiculita, quartzo, apatita, anatásio, ilmenita, bário-pirocloro, fluorapatita, gorceixita, florencita, flogopita e calcita. A composição percentual de cada mineral no minério não foi quantificada devido a que as características da amostra não permitiram a utilização de MEV ou microscopia óptica.

### 4.2 Flotação

Os resultados de flotação mostraram que o teor de OTR no concentrado é pouco significativo em relação ao teor da alimentação (6,8% OTR). A recuperação total de OTR também não foi satisfatória. A Figura 2 mostra as micrografias correspondentes ao concentrado e ao rejeito de um ensaio de flotação realizado na presença de *tall oil*. Conforme pode ser

observado nessa figura, a monazita e os minerais de ganga distribuem-se tanto no concentrado quanto no rejeito, não havendo, portanto, nenhuma seletividade do coletor. Com os outros coletores utilizados a situação foi similar, isto é, o teor do concentrado manteve-se entre 7 e 8% de OTR, pouco acima do teor de alimentação.

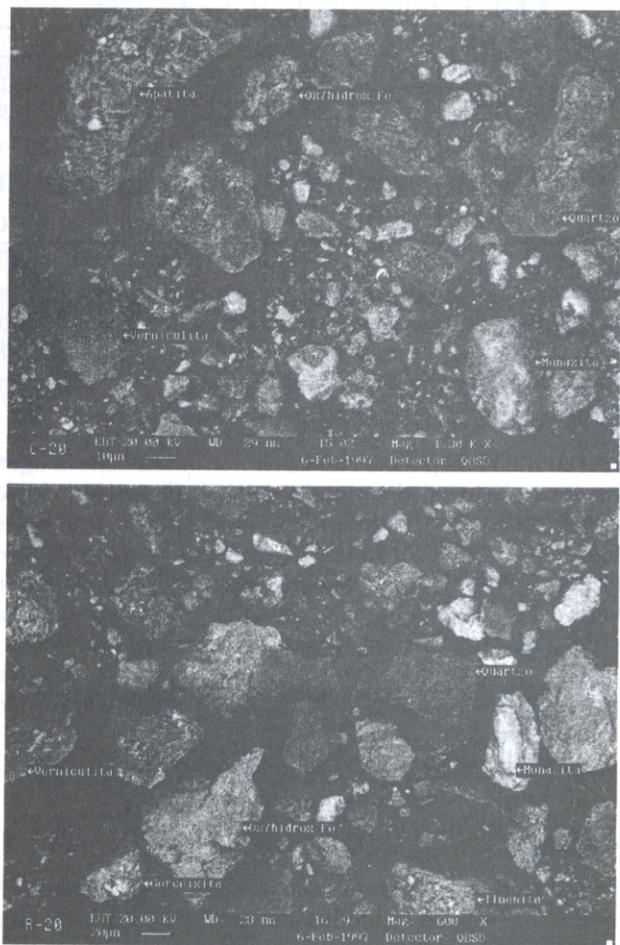


Figura 2 - Micrografias dos produtos de flotação com *tall oil* (a) concentrado e (b) rejeito

O limitado desempenho do processo, não resultou de problemas de liberação. O grau de liberação do minério moído a  $< 74 \mu\text{m}$  que alimenta a célula de flotação, estimado visualmente, indica que entre 85 e 90% da monazita encontram-se liberados. O desempenho da flotação foi afetado, principalmente, pela não seletividade dos coletores utilizados, os quais também são coletores de apatita, fluorita, calcita e minerais de ferro. Os depressores empregados não deprimiram a apatita, calcita e fluorapatita, entre outros minerais, como ilmenita. A separação seletiva da monazita desses minerais torna-se mais um problema a ser considerado, por não serem conhecidos depressores adequados que viabilizem essa separação. Outra causa que contribuiu para a fraca seletividade dos coletores é a oxidação superficial da monazita e dos minerais de ganga, os quais estariam recobertos por uma camada ferruginosa, que tornaria ainda mais difícil a separação.

## 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados dos ensaios de flotação obtidos permitiram verificar que a flotação não é o processo mais adequado para a separação seletiva da monazita dos minerais de ganga. Este fato foi verificado também pela análise dos produtos de flotação realizados no MEV. Essa limitação do processo deve-se, principalmente, a que os coletores usados não permitiram uma seletividade entre o mineral de interesse e os minerais de ganga, devido à oxidação superficial dos minerais envolvidos.

Com base nos resultados obtidos de ensaios em líquido denso e separação magnética, outras alternativas de processamento deverão ainda ser avaliadas, tais como separação gravítica e separação magnética a baixa intensidade. A concentração gravítica, da fração do minério com granulometria  $> 37 \mu\text{m}$ , possibilitaria a separação dos minerais com menor densidade, tais como quartzo ( $2.600\text{-}2.700 \text{ kg/m}^3$ ), vermiculita/flogopita ( $2.300\text{-}2.400 \text{ kg/m}^3$ ), apatita/fluorapatita ( $3.000\text{-}3.200 \text{ kg/m}^3$ ) e calcita ( $2.700 \text{ kg/m}^3$ ) dos minerais com densidade maior que  $4.000 \text{ kg/m}^3$ , incluindo-se neste grupo a monazita. Este último produto poderia ainda ser submetido à separação magnética no Frantz em campo de baixa intensidade (0.1T) para retirar a magnetita.

Por outro lado, a fração do minério < 37 $\mu$ m contendo 15% de OTR seria um produto final, que dispensaria o tratamento por qualquer método físico ou por flotação.

## BIBLIOGRAFIA

1. VIERA, E.V., LINS, F.F. *Concentração de minérios de terras-raras: uma revisão*. Rio de Janeiro: CETEM/CNPq, 58p, 1997. (Série Tecnologia Mineral N° 73).
2. ABRÃO, A. *Química e tecnologia das terras-raras*. Rio de Janeiro: CETEM/CNPq, 212p, 1994. (Série Tecnologia Mineral N° 66).
3. SAMPAIO, J.A, LINS, F.F., PORPHIRIO, N.H. *Concentração do minério de terras-raras de Poços de Caldas-MG*. Anais do XIV Encontro Nacional de Tratamento de Minérios e Hidrometalurgia, Salvador-BA, 9-12 set., 1990.
4. BORGES, J.A.L., ALMEIDA, S.L.M. COSTA, L.S.N., et al. *Studies on the flotation of rare-earths ore from Poços de Caldas (MG)-Brazil*. Proceedings of the IV Meeting of the Southern Hemisphere on Mineral Technology, vol.II, Chile, 20-23 nov., 1994.
5. PAVEZ, O.F., PERES, A.E.C. Bench scale flotation of a brazilian monazite ore. *Minerals Engineering*, v.7, n.12, 1994.
6. TOREM, M.L., SCORZELLI, I.B. *Influência do pré- tratamento com HF na flotabilidade de xenotima e zirconita*. Anais do XVI Encontro Nacional de Tratamento de Minérios e Hidrometalurgia, Rio de Janeiro, 3-6 set., vol.I, 1995.
7. PEREIRA, C.A., PERES, A.E.C. Estudo da flotabilidade da xenotima. *Revista da Escola de Minas da UFOP*, v.49, n.1, jan-mar, 1996.
8. LAPIDO-LOUREIRO, F.E.V. *Terras-raras no Brasil: depósitos, recursos identificados, reservas*. Rio de Janeiro: CETEM/CNPq, 189 p, 1994. (Série Estudos e Documentos, 21).

## Obtenção de Ítrio por Extração por Solventes

Leandro Pires Gonzaga  
Bolsista de Iniciação Científica, Engenharia Química, UERJ  
Ivan Ondino C. Masson  
Orientador, Engenheiro Químico, M.Sc.

## RESUMO

Esse trabalho investigou a viabilidade técnica da separação de ítrio em presença de itérbio, em meio clorídrico, empregando como extratante um éster do ácido fosfônico (Ionquest 801). Observou-se que a extração do itérbio é preferencial à do ítrio e que a taxa de extração de ambos os elementos apresenta-se inversamente proporcional a acidez da fase aquosa.

## 1. INTRODUÇÃO

O óxido de ítrio é o mais importante composto comercial de ítrio. Sua maior aplicação encontra-se na área de cerâmicas especiais, na estabilização da zircônia e, também, em sensores de oxigênio e em gemas sintéticas. É utilizado, também, em fósforos, tubos catódicos de televisões coloridas, monitores de computadores, na produção de *garnets* de ferro e ítrio, que são eficientes filtros de microondas, transdutores de energia acústica. Quando dopado com neodímio (Nd) representa um dos mais efetivos *lasers* utilizados atualmente (1, 2). O óxido de itérbio, assim como o de ítrio, tem sua maior aplicação na área de cerâmica de alto impacto, produção de fibras ópticas e também em *lasers*, da mesma forma que o ítrio. Devido às suas aplicações, é cada vez mais crescente a demanda desses compostos em alta pureza(1, 2).

A técnica de extração por solventes consolidou-se como uma alternativa para a obtenção de sais e metais com alto grau de pureza. Por volta de 1960, essa técnica teve um grande crescimento devido à obtenção de urânio, plutônio e outros radioisótopos, e também dos metais como cobre, cobalto e níquel.