

14. Enc. Nac. Trat. Minérios e Hidrometal  
Salvador, 19-12 Set 90 ABM

CONCENTRAÇÃO DO MINÉRIO DE TERRAS RARAS DE POÇOS DE CALDAS-MG

João Alves Sampaio (1)  
Fernando Freitas Lins (2)  
Levy Hamilton Porphírio (3)

BR 9127487

INIS-BR-2722

R E S U M O

O objetivo do trabalho foi estudar em laboratório, principalmente por flotação, a concentração de um minério de terras raras. A bastnesita, o mineral valioso, ocorre em aglomerados cimentados por óxidos de ferro e contendo outros minerais de ganga, dificultando a obtenção de concentrado com teor comercial. Os melhores resultados foram obtidos usando ácido oléico como coletor e temperatura da polpa de  $-80^{\circ}\text{C}$ , alcançando-se um concentrado final com teor da ordem de 23% de óxidos de terras raras e recuperação de 72%, considerando-se a recirculação dos produtos intermediários. A separação magnética em campo de baixa intensidade indicou a possibilidade de enriquecimento do minério antes da flotação.

A B S T R A C T

The objective of this research was to concentrate, mainly by flotation, a rare-earth ore body. The valuable mineral is bastnaesite which occurs intimately associated with iron oxides and other gangue minerals, making difficult to get a concentrate of commercial grade. The use of oleic acid at a pulp temperature of  $-80^{\circ}\text{C}$  gave a concentrate of 23% rare-earth oxides at 72% overall recovery. The magnetic separation could enhance the grade of the flotation feed.

Engenheiro de Minas, M.Sc., Pesquisador do Centro de Tecnologia Mineral-CETEM/CNPq  
Engenheiro Metalúrgico, M.Sc., Pesquisador do Centro de Tecnologia Mineral-CETEM/CNPq  
Mineralogista do Centro de Tecnologia Mineral-CETEM/CNPq

## 1. INTRODUÇÃO

O presente trabalho teve como objetivo o estudo da concentração do minério de terras raras (TR) do Morro do Ferro, situado no município de Poços de Caldas-MG, visando a obtenção de um concentrado com teor comercial, aproximadamente de 50% de óxidos de terras raras (OTR), ou um pré-concentrado para ser submetido à extração química.

O trabalho foi patrocinado inicialmente pelo Departamento Nacional da Produção Mineral-DNPM e pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico-CNPq. A Minegral, empresa detentora dos direitos minerários do depósito, participou com os custos referentes à amostragem e às análises químicas.

## 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Os minerais bastenesita e monazita constituem-se nas principais fontes de TR de valor comercial. As maiores jazidas de terras raras do mundo têm na bastenesita o mineral portador de TR: Bayan Obo na China, com 30, e Mountain Pass nos Estados Unidos, com 3,6 milhões de toneladas de OTR, respectivamente. A reserva total de OTR no Brasil é estimada em 73 mil toneladas (1).

Um exemplo clássico do tratamento de um minério contendo bastenesita é o processo desenvolvido pela Molycorp e empregado na usina de Mountain Pass (1-3), operando com um minério primário (carbonatito). O esquema de concentração e extração está apresentado na figura 1. Após a cominuição, o minério passa por seis diferentes estágios de condicionamento antes da flotação primária. No primeiro estágio é feita a adição de carbonato de sódio (3kg/t) e fluossilicato de sódio (0,4kg/t). Segue-se o segundo estágio, condicionamento com apenas injeção de vapor. O terceiro envolve a adição de lignina ("ammonium lignin sulfonate"), a 2,8kg/t, na presença de injeção de vapor. No quarto, quinto e sexto estágios, sempre com injeção de vapor, é adicionado o "tall oil" refinado, 0,3kg/t; o pH nestes estágios fica em torno de 8,8. A polpa contendo 30-35% sólidos em peso é conduzida à flotação primária, onde é obtido um concentrado com 30% de OTR, a partir de uma alimentação com 7% de OTR. Na operação de limpeza, com quatro estágios, chega-se a 60% de OTR e recuperação de 60%. Os sg

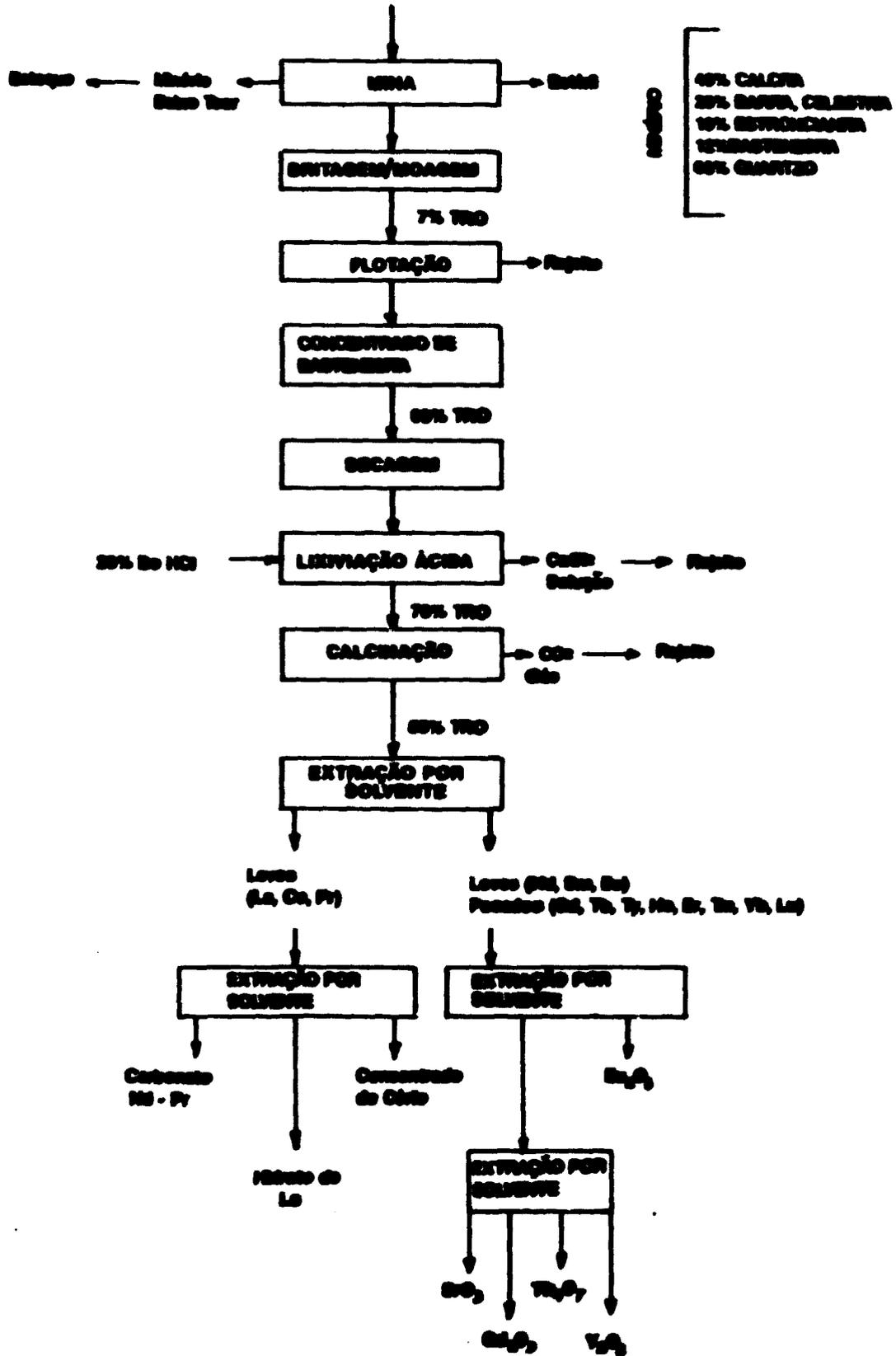


Fig. 1 - FLUXOGRAMA DO PROCESSO DA USINA DE "MOUNTAIN PASS" (1)

jeitos do circuito de limpeza são recirculados, exceto aquele obtido na primeira limpeza, que é conduzido ao circuito de flotação secundária ("scavenger"). O concentrado obtido nesta etapa é remoldado e enviado de volta ao circuito de flotação primária. O rejeito final do processo contém 1 a 2% de OTR.

Alguns estudos de laboratório foram realizados com o minério de Mountain Pass, com o objetivo de aprofundar o conhecimento do processo industrial. Fuerstenau et al. (2) estudaram a flotação da bastenesita em tubo Hallimond e em escala de bancada, comparativamente aos minerais calcita e barita, principais minerais de ganga do minério. Como alternativa ao "tall oil", testaram o hidroxamato de potássio ( $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_6 \text{CONHO}^- \text{K}^+$ ) como coletor. Os resultados foram promissores e indicaram que a temperatura de 45°C, embora benéfica à flotação dos três minerais, favoreceu mais à flotação da bastenesita, obtendo-se melhores resultados do que quando da utilização do "tall oil", à mesma temperatura.

Outro estudo (4), realizado pelo Bureau of Mines, visou determinar condições diferentes de flotação que permitissem economizar a energia de aquecimento da polpa, que normalmente chega a - 100°C no condicionamento e a - 70°C durante a flotação. Os ensaios, em escala de bancada, foram exaustivos, e mostraram a possibilidade de se obter teor e recuperação de OTR similares ao processo industrial, mas a uma temperatura sensivelmente mais baixa, entre 40 - 45°C.

Fuerstenau e Pradip (3) retomaram as investigações com o mesmo minério, fazendo uso de microflotação, potencial zeta e equilíbrio termodinâmico de soluções, e também de ensaios de bancada. Os íons carbonato, além de controlarem o pH, também são íons determinantes do potencial para os minerais bastenesita e calcita, pois são íons constituintes da estrutura cristalina desses minerais. (Vale lembrar que o minério de Poços de Caldas é praticamente isento de calcita.) Ensaios de bancada com o minério, usando ácido graxo como coletor, mostraram que em pH acima de 9,5 (controlado com  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ) há uma queda na recuperação de OTR, atribuída à maior carga negativa na superfície da bastenesita, dificultando a quimissorção do coletor e níonico. Foi sugerido que o sulfonato de lignina deprime a calcita e barita pela adsorção eletrostática nestes minerais, pois em

pH - 9, regulado com  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ , os mesmos apresentam a superfície positivamente carregada.

Quanto ao efeito da temperatura, ensaios de bancada mostraram que apenas o aquecimento da polpa à alta temperatura - com condicionamento e flotação à temperatura ambiente - não apresentou bons resultados. Indicação de que um dos possíveis efeitos do aquecimento da polpa, i.e., limpeza da superfície dos minerais e conseqüente aumento da adsorção seletiva dos reagentes, não foi suficiente para induzir a seletividade nesse minério. Aqueles pesquisadores (3) sugeriram então que o efeito da temperatura ocorre na etapa de condicionamento, quando então a seletividade é introduzida no sistema, pelo aumento da taxa de adsorção do coletor na bastenesita, relativamente aos demais minerais. Foi indicada a temperatura de  $75^\circ$  como a mais adequada.

### 3. MATERIAIS E MÉTODOS

Para a realização do trabalho foram coletadas duas amostras de uma galeria de pesquisa com 140m de profundidade: uma, amostra A, representativa de toda a galeria; a outra, amostra B, representativa da parte mais profunda, de 75 a 140m. Cada amostra, com cerca de 300kg, foi secada e homogeneizada, separadamente, tomando-se metade para estoque e a outra metade para o trabalho. Após cominuída abaixo de 1,65mm e homogeneizada, cada amostra foi quarteada em alíquotas representativas de 2,0kg e acondicionadas em sacos plásticos.

Os estudos de caracterização foram conduzidos com o auxílio de lupa binocular, microscópio polarizante, análises mineralógicas por difração de raios-X, separação magnética no separador tipo Frantz e análises químicas. Os ensaios de flotação foram realizados em célula de laboratório Denver, modelo D-12, utilizando-se amostra de 1,0kg. Os reagentes testados serão discriminados adiante. Para a separação magnética usou-se o separador a seco de rolo induzido da Eriez, Mod. IMR, e o separador a úmido da Boxmag-Rapid, tipo L.H.W.; para a separação gravítica usou-se o separador Mozley.

#### 4. CARACTERIZAÇÃO MINERALÓGICA E QUÍMICA

A caracterização mineralógica foi realizada apenas para a amostra A, e teve como objetivo principal a determinação da composição mineralógica do minério e do grau de liberação da bastenesita. Os principais minerais do minério foram basicamente identificados através de estudos por microscopia ótica (lupa binocular e microscópio polarizante), seguidos de ensaios confirmatórios de difração de raios-X. Alguns minerais apresentaram-se difíceis para identificação ao microscópio, devido à granulometria muito fina e em geral com intensa impregnação de óxido de ferro hidratado que, na maioria dos casos, mascarou as confirmações das principais propriedades óticas dos minerais.

A bastenesita, mineral portador dos elementos de terras raras, mostrou-se ao microscópio, geralmente, com aspecto de aglomerados pulverulentos, de colorações avermelhada e amarronzada. A determinação final destes microaglomerados resultou do estudo de grãos individualizados, dos poucos que ocorrem no minério, os quais foram coletados com auxílio de lupa binocular. Inicialmente foram realizados estudos de difração de raios-X, seguidos de análises espectrográficas, especificamente para os elementos químicos desses minerais. Ficou evidenciado que os microaglomerados de bastenesita apresentavam, às vezes, inclusões e associações com diminutos grãos de quartzo, hematita, magnetita, micas etc. A tabela I apresenta a composição mineralógica semiquantitativa do minério, enquanto que a tabela II apresenta a liberação da bastenesita para as diversas frações granulométricas.

Na tabela I verifica-se que os principais minerais de ganga são os óxidos de ferro (45%) e a gibbsita. Quanto à bastenesita, cuja composição teórica é 75% de OTR, o percentual mostrado na tabela I (12%) está a significar os aglomerados de bastenesita pulverizada, cimentada por óxido hidratado de ferro e contendo também, incluso e/ou associado, outros minerais de ganga. É portanto uma macroavaliação. Considerando-se o teor da amostra (3,2% de OTR) e a composição teórica da bastenesita, chegamos a um percentual de 4,3% para este minério, ao invés de 12%. Com referência à tabela II, a liberação indicada também reflete mais a presença dos aglomerados contendo bastenesita que os grãos individualizados deste mineral.

Tabela I - Composição mineralógica semiquantitativa do minério de terras raras do Morro do Ferro/MG.

<b>M I N E R A L</b>	<b>FÓRMULA QUÍMICA</b>	<b>PESO (%)</b>
Gibbsita	$Al(OH)_3$	20
Caulinita	$2H_2O \cdot Al_2O_3 \cdot SiO_2$	7
Magnetita	$FeO \cdot Fe_2O_3$	15
Hematita	$Fe_2O_3$	18
Bastenesita	$(Ce, La \dots) FeCO_3$	12
Muscovita	$2H_2O \cdot K_2O \cdot 3Al_2O_3 \cdot 6(SiO_2)$	5
Goethita	$Fe_2O_3 \cdot nH_2O$	12
Quartzo	$SiO_2$	10
Outro	Zirconita, Óxido de Mn, calcita etc.	1

Tabela II - Percentagens de liberação da bastenesita, para o minério do Morro do Ferro.

<b>F R A Ç Õ E S</b>	<b>GRAU DE LIBERAÇÃO</b>
<b>(%)</b>	<b>(%)</b>
589/417	70
417/295	73
295/208	75
208/147	76
147/104	78

A título de especulação, há razões para se acreditar que os elementos radioativos da amostra tenham provocado a metamictização da bastenesita, de modo que parte dos elementos de terras raras ficou dissociada do mineral original, distribuindo-se aleatoriamente em outros minerais do minério.

Em síntese, no que se refere a processos de concentração, as informações obtidas na caracterização mineralógica prenunciam a dificuldade de se obter concentrados com alto teor de bastenesita.

A análise dos principais elementos do minério, amostra A, está apresentada na tabela III. A distribuição química e granulométrica da amostra A cominuída abaixo de 1,65mm (não apresentada neste trabalho) mostrou que, com exceção do ferro - majoritariamente distribuído na fração 1651/295 $\mu$ m - , os demais elementos seguem aproximadamente a distribuição em massa das diversas frações granulométricas.

Tabela III - Resultados de análises químicas do minério de terras raras, amostra A.

<u>CONSTITUINTES</u>	<u>PERCENTAGENS</u>
OTR	3,19*
ThO <sub>2</sub>	0,79
U <sub>3</sub> O <sub>8</sub>	46 (ppm)
SiO <sub>2</sub>	32,00
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	26,32
ZrO <sub>2</sub>	0,38
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,41
F	0,30
K <sub>2</sub> O	3,78
Na <sub>2</sub> O	2,30
Fe	14,9
CaO/MgO/FeO	N.D.

\* média de análises de cinco alíquotas.

### 5. ESTUDOS DE CONCENTRAÇÃO

Para cada ensaio de flotação, amostra de 1,0kg foi moída a úmido em moinho de barras em condições padronizadas, resultando em produto com  $P_{90} = 74\mu\text{m}$ . As distribuições granulométrica e de OTR para o produto das moagens das amostras A e B estão apresentadas na tabela IV, onde se verifica a semelhança entre as duas amostras, ambas apresentando cerca da metade do OTR contido na fração abaixo de  $37\mu\text{m}$ . Quanto aos teores, com base em cálculos dos balanços metalúrgicos dos diversos ensaios de flotação, tem-se os seguintes valores médios: amostra A, 3,2% de OTR; amostra B, 4,2% de OTR.

Tabela IV - Distribuições granulométricas e de OTR para as amostras A e B, alimentações dos ensaios de flotação.

GRANULOMETRIA ( $\mu\text{m}$ )	AMOSTRA A			AMOSTRA B		
	Peso (%)		OTR Dist. (%)	Peso (%)		OTR Dist. (%)
	Retido	Passante		Retido	Passante	
+ 147	2,47	97,53	1,57	2,49	97,51	1,93
147/104	7,27	90,26	8,73	7,23	90,28	11,05
104/74	10,04	80,22	13,22	11,68	78,60	19,33
74/53	8,13	72,10	11,42	6,71	71,89	8,22
53/37	9,28	62,81	11,14	9,43	62,46	9,61
- 37	62,81	-	53,92	62,46	-	49,86
T o t a l	100,00	-	100,00	100,00	-	100,00

As condições de flotação que foram mantidas na maioria dos ensaios de flotação primária foram:

- . % sólidos: 18
- . pH da polpa: 7,5 a 8,0
- . tempo de condicionamento: 10 min (durante tempo de aquecimento da polpa)
- . tempo de flotação: 4 min

Os ensaios realizados visaram um estudo exploratório de alguns sistemas de reagentes. Como coletores foram testados ácido oléico, "tall oil", óleo de arroz e genagem. Como dispersor da polpa foi usado o silicato de sódio (1000g/t); como regulador da polpa o car

bonato de sódio (2000g/t). O espumante utilizado foi o óleo de pi nho (50g/t). O efeito da temperatura também foi avaliado. A tabela V mostra a tendência encontrada em vários ensaios na flotação primária. Observa-se que a temperatura tem um efeito significativo na recuperação dos óxidos de terras raras. Vê-se também que o ácido oléico e o "tall-oil" são superiores aos demais coletores.

Tabela V - Recuperação de OTR com tipo de coletor e faixa de temperatura na flotação primária.

COLETOR	ADIÇÃO (g/t)	TEMPERATURA (°C)	
		25 - 40	60 - 80
Ácido oléico	50 - 200	40 - 55%	70 - 85%
"Tall oil"	400 - 600	-	70 - 82%
Óleo de arroz	1000 - 2500	-	5 - 25%
Genagem	200	- 27%	- 37%

Ensaio adicionais, incluindo etapas de limpeza, indicaram que o ácido oléico foi mais seletivo que o "tall oil". Alguns ensaios selecionados usando-se ácido oléico como coletor, e a polpa com ~ 80°C, para as amostras A e B, estão apresentados na tabela VI, na qual se verifica que: (i) para se alcançar um concentrado com teor de OTR maior que 20% são requeridas duas ou três etapas de limpeza, respectivamente, para as amostras A (mais pobre) e B; (ii) há a possibilidade de uma recuperação adicional de OTR através de flotação secundária ("scavenger") do rejeito primário e (iii) nas etapas primárias é possível se obter recuperação de OTR da ordem de 80%.

Como se optou por concentrar o minério sem deslamagem prévia, em face da grande quantidade de OTR contido nas lamas, a seletividade certamente foi prejudicada pela presença de excesso de finos na alimentação, aliado ao fato, já mencionado anteriormente, que a bastenesita ocorre em aglomerados com outros minerais.

Outro fato relevante é que os concentrados finais dos ensaios mostrados na tabela VI apresentam baixas recuperações globais (~30%) de OTR. Entretanto, em uma operação contínua há a recirculação dos pro

Tabela VI - Resultados obtidos nos ensaios de flotação, com ácido oléico (200g/t) e temperatura - 80°C

PRODUTOS	ENSAIO 01 - AMOSTRA A			ENSAIO 02 - AMOSTRA A			ENSAIO 03 - AMOSTRA B			ENSAIO 04 - AMOSTRA B			
	PESO (%)	OTR		PESO (%)	OTR		PESO (%)	OTR		PESO (%)	OTR		
		(%)	Dist. (%)										
LIMPETA PRIMÁRIA	CONCENTRADO	53,99	5,22	83,17	43,87	4,46	70,75	47,90	7,65	80,62	47,54	10,27	84,71
	REJEITO	46,01	1,24	16,83	56,13	2,03	29,25	52,10	1,69	19,38	52,46	1,68	15,29
	ALIMENTAÇÃO	100,00	3,39	100,00	100,00	3,09	100,00	100,00	4,54	100,00	100,00	5,76	100,00
LIMPETA SECUNDÁRIA	CONCENTRADO	-	-	-	23,74	3,24	27,83	27,45	2,76	16,67	23,26	2,86	11,54
	REJEITO	-	-	-	32,39	1,14	1,42	24,65	0,50	2,71	29,20	0,74	3,75
	ALIMENTAÇÃO	-	-	-	56,13	2,03	29,25	52,10	1,69	19,38	52,46	1,68	15,29
LIMPETA I	CONCENTRADO	29,67	7,90	69,18	15,37	8,87	49,30	19,45	14,07	60,22	17,50	13,10	39,77
	REJEITO	24,32	1,95	13,99	28,50	2,08	21,45	28,45	3,26	20,40	30,04	8,62	44,94
	ALIMENTAÇÃO	53,99	5,22	83,17	43,87	4,46	70,75	47,90	7,65	80,62	47,54	10,27	84,71
LIMPETA II	CONCENTRADO	14,39	12,32	52,31	4,35	16,68	26,25	6,41	23,58	33,25	5,33	23,32	21,57
	REJEITO	15,28	3,74	16,87	11,02	5,78	23,05	13,04	9,40	26,97	12,17	8,62	18,20
	ALIMENTAÇÃO	29,67	7,90	69,18	15,37	8,87	49,30	19,45	14,07	60,22	17,50	13,10	39,77
LIMPETA III	CONCENTRADO	5,47	20,25	32,68	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	REJEITO	8,92	7,46	19,63	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	ALIMENTAÇÃO	14,39	12,32	52,31	-	-	-	-	-	-	-	-	-

dados intermediários, resultando em recuperação que se situaria entre a recuperação da última etapa e a da etapa primária. Fazendo uso de um programa desenvolvido pelo CANMET - Canadá, denominado "Splitx", fez-se a simulação de uma operação contínua. Os resultados da simulação, utilizando-se os dados da tabela VI, constam da tabela VII, na qual se verifica que a recuperação de OTR do ensaio 3B, por exemplo, alcança 72,12%, com um teor de 22,62% de OTR. Vale ressaltar, porém, que a simulação se afasta mais da realidade quando a massa que recircula é relativamente significativa, quando comparada à alimentação fresca da etapa considerada, pois a simulação parte da premissa que a alimentação fresca e a que está voltando apresentam as mesmas características de flotabilidade (5). Por outro lado, o tempo ótimo de flotação para cada etapa não foi determinado, o que poderia melhorar os resultados obtidos.

Tabela VII - Resultados de flotação obtidos nos ensaios e os simulados, considerando a recirculação dos produtos intermediários, para as amostras A e B.

ENSAIO	RESULTADOS DE LABORATÓRIO				RESULTADOS SIMULADOS		
	Peso (%)	OTR			Peso (%)	OTR	
	CP	Dist. (%)	(%)	(%)	CP	Dist. (%)	(%)
		CP	CP	CP		CP	CP
1A	5,5	32,7	83,2	20,25	22,2	79,1	12,0
2A	4,4	26,3	70,8	16,68	15,2	77,2	15,7
3B	6,4	33,3	80,6	23,58	14,5	72,1	22,6
3B*	6,4	33,3	80,6	23,58	26,5	94,1	16,4
4B*	5,3	21,2	84,7	23,32	19,7	88,0	22,7

CP - Concentrado final, CP - Concentrado primário

\* - Considerando a recirculação da etapa secundária da flotação.

Na tabela VIII são apresentados os resultados das análises químicas para os elementos de terras raras da alimentação e do concentrado do ensaio 3B, comparados com os valores da usina de Mountain Pass.

Tabela VIII - Análises químicas dos elementos de TR para a alimentação da flotação e concentrado final, ensaio 3B, comparados com o minério de Mountain Pass.

ELEMENTOS	CONCENTRADO FINAL (%)	ALIMENTAÇÃO	MINÉRIO DE MOUNTAIN PASS
La	8,7	1,1	2,31
Ce	8,6	1,4	3,43
Pr	1,6	0,19	0,28
Nd	4,4	0,60	0,91
Sm	0,39	0,054	0,04
Eu	0,096	0,012	0,007
Gd	0,18	0,025	0,014
Tb	0,027	< 0,050	-
Dy	0,10	0,011	-
Ho	0,030	< 0,050	-
Er	0,019	< 0,050	-
Outros	-	-	0,014

Um fato que também deve ter contribuído para não se ter obtido teor de OTR maior é a presença de óxidos de ferro no concentrado. A hematita, por exemplo, responde bem ao coletor ácido oléico em pH 6 a 8 (6). Assim, a possibilidade de descartar os óxidos de ferro previamente à flotação foi investigada, como forma de enriquecer a alimentação para a flotação.

Os ensaios de separação magnética em campo de baixa intensidade (- 3000Gauss) indicaram a possibilidade de se descartar de 30 a 40% do ferro presente na amostra, com perdas de apenas 10% do OTR contido. Em campo de alta intensidade (> 10000Gauss), elimina-se 70 - 80% do ferro, mas às custas de perdas substanciais de óxidos de terras raras (40 - 60%). A bastnesita, vale mencionar, apresenta susceptibilidade magnética próxima à da hematita, de modo que esta proximidade e/ou a associação dos óxidos do ferro fracamente magnéticos com os aglomerados bastnesíticos explicam as altas perdas de OTR na separação em campo de alta intensidade.

Por fim, ensaios gravíticos visando a separação da ganga leve (gibbista, caulinita e quartzo) da bastenesita ( $d = 4,5$ ) foram realizados em um separador Mozley. Os resultados não foram satisfatórios, pois, embora se tenha alcançado uma elevação significativa do teor do OTR no concentrado, as perdas no rejeito foram substanciais.

## 6. CONCLUSÕES E COMENTÁRIOS FINAIS

A caracterização mineralógica revelou que a bastenesita ocorre como aglomerados em associação com outros minerais, e fortemente impregnada, intimamente e superficialmente, com óxidos de ferro hidratado; indicação da dificuldade de obter-se concentrados com alto teor de bastenesita.

O minério estudado apresentou baixos teores de OTR - 3,2% para a amostra A e 4,2% para a amostra B -, o que, aliado ao fato de que metade do OTR contido está presente na fração menor que  $37\mu\text{m}$ , também impediu a obtenção de concentrados com teores comerciais ( ~ 50% de OTR ).

O ácido oléico como coletor e o condicionamento e flotação com a polpa aquecida a  $80^{\circ}\text{C}$  foram as condições que propiciaram os melhores resultados, pelo menos razoáveis, alcançando-se o teor de ~ 23% de OTR e recuperação de ~ 72%, considerando-se a recirculação simulada dos produtos intermediários. Este concentrado, representando ~ 15% da alimentação, poderá ser tratado por processos químicos de extração.

A separação magnética em campo de baixa intensidade pode ser usada para um enriquecimento da alimentação do processo de flotação, pelo descarte de 30 - 40% do ferro contido. A separação gravítica não resultou satisfatória como modo de descartar a ganga leve.

Finalmente, cabe comentar que estudos adicionais de laboratório podem ser realizados visando: otimização da dosagem de reagentes, temperatura, tempos de condicionamento e flotação, possibilidade de condicionamento e flotação, separadamente, das faixas granulométricas mais grosseira e fina e utilização de flotação em coluna. Também a confirmação em planta piloto do efeito da recirculação dos produtos intermediários faz-se necessária.

**Agradecimentos**

Agradecemos aos eng<sup>os</sup> Mario Valente Possa e Regina Coeli Casseres Carrisso pela simulação em computador dos resultados de laboratório, usando o Programa Splitx.

**REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

1. MACKE, S. T. Recent development in USA rare earth technology. In: SOMASUDIDARAM, P. ed. Advances in mineral processing. New York, AIME, 1986. cap. 30, p. 511-534.
2. FUERSTENAU, D. W. et alii. An alternative reagent scheme for the flotation of Mountain Pass rare earth ore. In: INTERNATIONAL MINERAL PROCESSING CONGRESS, 14, Toronto, Oct. 1982.
3. FUERSTENAU, D. W. & PRADIP. The role of inorganic and organic additives in bastnesite ore flotation. FLOTATION HEURE, Industrial Anwendung und neue Entwicklungen, Heft 48, GDMB, Clausthal-Zellerfeld, 1986.
4. MORRICE, E. & WONG, M. M. Flotation of rare earths from bastnaesite ore. Bureau of Mines, 1982. (Report of investigations, 8689).
5. AGAR, G. E. & KIPKIE, W. B. Predicting locked cycle flotation test results from batch data. CIM Bulletin, Nov. 1978, p. 119-125.
6. FUERSTENAU, D. W. & FUERSTENAU, M. C. The flotation of oxide and silicate minerals. In: KING, R. P. ed. Principles of flotation. Johannesburg, SAIMM, 1982. cap. 7, p. 109-110.