

# UTILIZAÇÃO DE SEPARADORES MAGNÉTICOS DE ALTA INTENSIDADE E ELETROSTÁTICOS NA CONCENTRAÇÃO COLUMBITA-TANTALITA E CASSITERITA

José Anselmo Campos<sup>1</sup> e Homero Delboni Jr.<sup>2</sup>

1 - Engenheiro de Minas da Mineração Taboca S.A., Pitinga – AM, 69737-000  
acampos@mamore.com.br

2 – Engenheiro de Minas, M.Eng., Ph.D., Professor do Departamento de Engenharia de Minas e de Petróleo da Escola Politécnica da USP, Av. Prof. Mello Moraes, 2373, Cidade Universitária, CEP 05508-900, São Paulo/SP. E-mail: hdelboni@usp.br

## RESUMO

A assembléia mineralógica e composição química dos minerais de estanho, nióbio e tântalo da mina de Pitinga é complexa. A composição química engloba compostos com elevados teores de  $Nb_2O_5$ ,  $Ta_2O_5$ ,  $Fe_2O_3$ ,  $MnO_2$ ,  $SnO_2$ ,  $ZrO_2$ ,  $TiO_2$ ,  $PbO$ ,  $SiO_2$ ,  $ThO_2$ ,  $U_3O_8$ ,  $YPO_4$ , ETR e, na composição mineralógica, predominam pirocloro, columbita, hematita, zircão, martita, cassiterita, torita, xenotímio, micas e outros.

A quantidade de minerais úteis e a natureza das associações existentes determinam processos também complexos de concentração. O processo atualmente empregado pela Mineração Taboca para produção de concentrados de cassiterita e columbita-tantalita envolve etapas de cominuição, classificação, concentração por métodos densitários, magnético e eletrostático. Visando a melhoria de desempenho bem como a potencial simplificação do processo atual de concentração foi investigado o emprego de separadores magnéticos, via seca, de alta intensidade para concentração de columbita-tantalita.

Os ensaios incluíram sucessivas etapas de concentração em campos de intensidade crescente, variando de 1,5 kG a 21 kG. O produto magnético se constituiu no concentrado de columbita-tantalita. O produto não-magnético foi posteriormente tratado em um separador eletrostático, gerando-se assim, no produto condutor o concentrado de cassiterita.

## 1. INTRODUÇÃO

As mineralizações de estanho e metais raros (Zr, Nb, Ta, Y, ETR) da Mina de Pitinga, pertencente à Mineração Taboca S/A, estão associadas às rochas graníticas. O estanho está associado ao mineral cassiterita cujo peso específico varia entre 6,8 a 7,2. As principais aplicações do estanho são a fabricação de folhas de flandres utilizadas na confecção de latas para acondicionar alimentos e bebidas, fabricação de soldas, estabilizadores e fungicidas, bronze e metal patente.

O nióbio e tântalo estão associados aos minerais de columbita e tantalita cujos pesos específicos variam de 5,2 a 8,2. O nióbio é utilizado na fabricação de aços microligados de alta resistência, aços inoxidáveis, aços estruturais, superligas para turbinas e aplicações na indústria aeroespacial. A principal aplicação do tântalo é a fabricação de capacitores sendo também empregado como carbeto para fabricação de ferramentas de corte, superligas resistentes a altas temperaturas, na indústria química em ambientes agressivos devido a sua alta resistência à corrosão.

Os concentrados de cassiterita e columbita-tantalita são obtidos atualmente através de seqüências de separações eletrostáticas e magnéticas na usina de beneficiamento 3 (UBM 3) da Mineração Taboca, em Pitinga.

## 2. DESCRIÇÃO DA AMOSTRA UTILIZADA NOS TESTES DE LABORATÓRIO

A amostra utilizada nos ensaios foi um pré-concentrado de cassiterita e columbita-tantalita, procedente de etapas de concentração com base em métodos densitários e eletrostáticos. A granulação da amostra apresentou um  $d_{80}$  de 250  $\mu$ m. As tabelas 1, 2 e 3 mostram, respectivamente, as análises química, granulométrica e granulométrica do pré-concentrado.

**Tabela 1. Análise química do pré-concentrado.**

Composto	Teor (%)	Elemento	Teor (%)
Sn	17,9	Ta <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	1,12
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	24,2	PbO	2,22
ZrO <sub>2</sub>	11,7	Y <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,17
Nb <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	11,2	SiO <sub>2</sub>	2,12

**Tabela 2. Análise granulométrica do pré-concentrado.**

Abertura (mm)	% Retida	
	Simplex	Passante
0,600	0	100
0,425	4,24	95,8
0,297	10,60	85,2
0,210	22,13	63,0
0,149	33,84	29,2
0,105	19,31	9,88
0,074	7,22	2,66
0,044	2,54	0,14
< 0,044	0,14	0

**Tabela 3. Análise granuloquímica do pré-concentrado.**

Abertura (mm)	Sn	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Nb <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Ta <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	ZrO <sub>2</sub>
	Distribuição (%)				
0,600	0	0	0	0	0
0,425	1,35	1,14	1,16	2,02	9,91
0,297	8,67	13,74	11,27	21,41	39,53
0,210	30,64	30,40	35,85	35,65	30,64
0,149	24,01	24,51	24,16	20,12	12,56
0,105	23,01	21,72	19,78	14,31	5,97
0,074	9,16	7,32	6,45	5,42	1,20
0,044	3,16	1,16	1,33	1,07	0,20

### 3. CARACTERÍSTICAS MINERALÓGICAS DO PRÉ-CONCENTRADO DO PITINGA

A seguir são apresentados os resultados dos estudos de caracterização de um concentrado de cassiterita e columbita-tantalita de baixo teor, executado no *Lakefield Research*.

A mineralogia é complexa. Os principais minerais de nióbio são o chumbo-pirocloro (~45% do volume) e columbita (~23% do volume), que ocorrem predominantemente em intercrescimento complexo. A columbita forma zonas irregulares, veios e inclusões dentro de grãos separados de chumbo-pirocloro. O principal mineral de tório é a thorita que está presente como grãos liberados, com inclusões submicroscópicas de hematita.

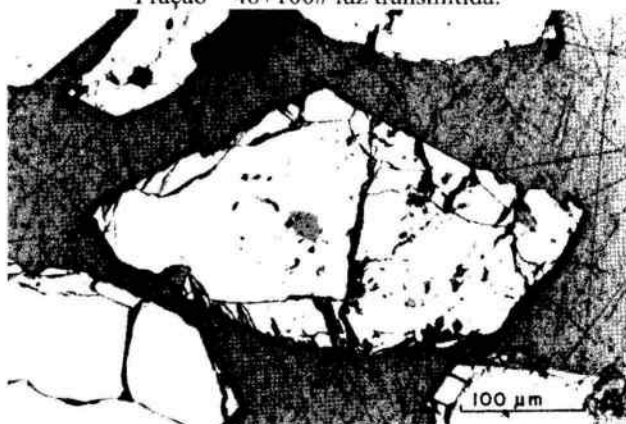
O principal mineral de estanho é a cassiterita (~4% do volume) que ocorre comumente como grãos liberados (100 a 500 µm) contendo inclusões de granulação média-fina de columbita e minerais de ganga opacos.

A zirconita (~2% do volume) é o único mineral de zircônio presente no minério e comumente ocorre em grãos liberados (150 a 400 µm) hospedando inclusões médias-finas de hematita e minerais de ganga não opacos.

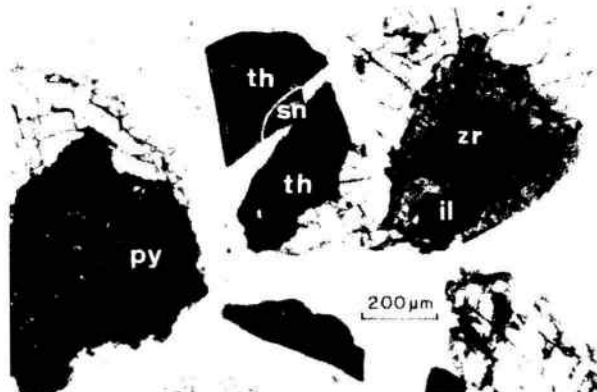
Outros minerais observados no minério incluem hematita (~9% do volume), magnetita (~1% do volume), goethita (~1% do volume), ilmenita (~1% do volume), rutilo (~1% do volume) e minerais não opacos (~2% do volume).

Esta complexidade mineralógica é representada pelas fotomicrografias das figuras 1 e 2.

**Figura 1.** Grão de cassiterita com inclusões de silicatos e columbita-tantalita – Fração – 48+100# luz transmitida.



**Figura 2.** Grão mistos de thorita, cassiterita, silicato, zirconita e ilmenita - Fração – 28+48# luz transmitida.



#### 4. PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

Equipamentos de separação magnética que empregam magnetos de terras raras geram campos com intensidade de fluxo de até 21 kG. São equipamentos compactos e de alta capacidade de processamento, proporcionando flexibilidade de operação.

A seqüência dos ensaios executados é mostrada na figura 3. Notam-se as sucessivas etapas de separação magnética (via seca) em campos de intensidade progressiva, com variações de 1,5 kG a 21 kG. As frações não-magnéticas dos ensaios finais de separação magnética, respectivamente Ensaios 5 e 6, foram submetidos a ensaios de separação eletrostática que visaram a análise da seletividade do processo para a cassiterita e zirconita em relação aos demais minerais presentes. Os ensaios foram realizados de forma descontínua agrupando-se os resultados para avaliação de desempenho global.

##### • Ensaio 1

Objetivo: Separar minerais ferromagnéticos

Equipamento: separador magnético de tambor de baixa potência, marca INBRAS/ERIEZ, modelo CCD Ø 12", executado com ímãs ERIUM 25®.

Parâmetros: Intensidade de Fluxo 1,5 kG, Freqüência 34 Hz, Alimentação 62 kg/pol/h

##### • Ensaio 2

Objetivo: Separar minerais ferromagnéticos

Equipamento: separador magnético de tambor de terras raras, marca INBRAS/ERIEZ, modelo REDM Ø 12", confeccionado com ímãs ERIUM 3000®.

Parâmetros: Intensidade de Fluxo 3,0 kG, Freqüência 14 Hz, Alimentação 58 kg/pol/h

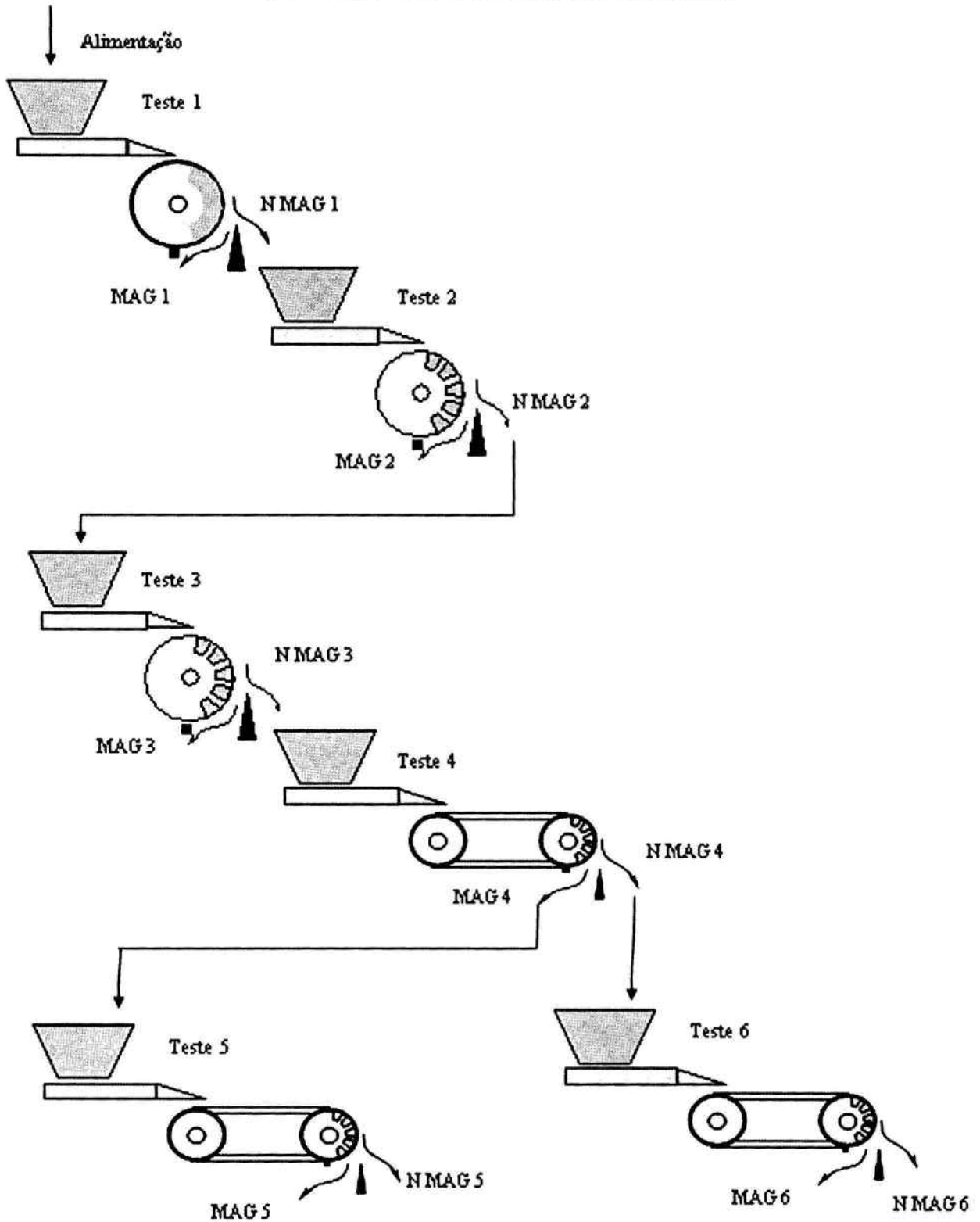
##### • Ensaio 3

Objetivo: Concentrar minerais paramagnéticos de alta susceptibilidade

Equipamento: separador magnético de tambor de terras raras, marca INBRAS/ERIEZ, modelo REDH Ø 15", confeccionado com ímãs ERIUM 3000®.

Parâmetros: Intensidade de Fluxo 6,5 kG, Freqüência 14 Hz, Alimentação 53 kg/pol/h

Figura 3. Sequência de ensaios em separadores magnéticos.



Os ensaios de separação magnética foram realizados no laboratório da INBRÁS-ERIEZ EQUIPAMENTOS MAGNÉTICOS E VIBRATÓRIOS LTDA, e foram utilizados os seguintes equipamentos, correspondentes ao fluxograma da figura 3.

• **Ensaio 4**

Objetivo: Concentrar columbita-tantalita

Equipamento: separador magnético de rolos de altíssima intensidade e de alto gradiente, marca INBRÁS/ERIEZ, modelo RERH, confeccionado com ímãs ERIUM 3000® de altíssimo gradiente.

Parâmetros: Intensidade de Fluxo 21 kG, Frequência 35 Hz, Alimentação 40 kg/pol/h

#### • Ensaio 5

Objetivo: Limpeza do concentrado magnético (columbita-tantalita) do Ensaio 4

Equipamento: separador magnético de rolos de altíssima intensidade e de alto gradiente, marca INBRAS/ERIEZ, modelo RERH, confeccionado com imãs ERIUM 3000® de altíssimo gradiente.

Parâmetros: Intensidade de Fluxo 21 kG, Frequência 45 Hz, Alimentação 40 kg/pol/h

#### • Ensaio 6

Objetivo: Limpeza do concentrado não-magnético (cassiterita) do Ensaio 4

Equipamento: separador magnético de rolos de altíssima intensidade e de alto gradiente, marca INBRAS/ERIEZ, modelo RERH, confeccionado com imãs ERIUM 3000® de altíssimo gradiente.

Parâmetros: 21KG, 100rpm, 50kg/pol/h

Parâmetros: Intensidade de Fluxo 21 kG, Frequência 100 rpm, Alimentação 50 kg/pol/h

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O anexo 1 apresenta um fluxograma de processos contendo os balanços de massa e metalúrgicos referentes aos ensaios realizados.

O objetivo dos Ensaios 1 e 2 foi a separação de minerais de natureza ferromagnética, principalmente óxidos de ferro livres ou em associações com outros minerais. O Ensaio 3 teve a intensidade de campo crescente em relação aos ensaios anteriores e visou investigar a possibilidade de geração de frações não-magnéticas com menores valores de contaminação com minerais contendo ferro. A fração magnética combinada dos Ensaios 1, 2 e 3 apresentou teor e recuperação de  $Fe_2O_3$ , respectivamente, de 67% e 81,0%. A fração não-magnética combinada nesses mesmos ensaios apresentou recuperação de 96% de Sn,  $Ta_2O_5$  e  $Nb_2O_5$ .

No Ensaio 4 foram empregados separadores de rolos de alta intensidade e altíssimo gradiente. A fração magnética desse ensaio apresentou teor alto de estanho, fato este atribuído à baixa velocidade dos rolos utilizada. O Ensaio 5 foi, portanto, uma tentativa de redução do teor de estanho na fração magnética do Ensaio 4, bem como de columbita-tantalita.

O produto magnético do Ensaio 5 foi considerado o concentrado de columbita-tantalita, apresentando teores de  $Nb_2O_5$  e  $Ta_2O_5$ , respectivamente de 33,9% e 4,6%, enquanto que as recuperações metalúrgicas nessa fração foram, também respectivamente, de 56,1% e 61,7%.

Analogamente, o Ensaio 6 foi conduzido com o objetivo de limpeza da fração não-magnética do Ensaio 4. Os resultados do Ensaio 6 indicam baixa seletividade dessa etapa do processo.

#### SEPARAÇÃO ELETROSTÁTICA

O objetivo dos ensaios de separação eletrostática com as frações não-magnéticas dos Ensaios 5 e 6 foi analisar a seletividade deste processo para a cassiterita, de forma a se gerar um concentrado com alto teor de estanho.

Os ensaios de separação eletrostática foram realizados no laboratório de processo da Mineração Taboca, em Pitinga, utilizando um separador eletrostático da marca CARPCO. As principais variáveis de operação consideradas e os respectivos valores adotados foram os seguintes:

- Temperatura do minério: 200°
- Campo elétrico: 20 a 23 kV
- Velocidade do tambor: 115 rpm

Após a realização de ensaios preliminares optou-se por submeter o material a uma etapa prévia de peneiramento na malha 0,425 mm, em função de observações que indicavam o arraste de cassiterita grossa para a fração não-condutora.

No Ensaio 7 foi obtido na fração condutora um concentrado de cassiterita, considerado de alta qualidade, com teor de Sn de 74,2%, e recuperação metalúrgica no ensaio desse elemento de 85,24%. Essa fração representou 34,6% do estanho alimentado no primeiro ensaio.

Analogamente, no Ensaio 8 foi obtido um produto condutor com teor de 41,6% de Sn e recuperação metalúrgica desse elemento de 95,0%.

As frações condutoras combinadas dos Ensaios 7 e 8 representaram um concentrado final de cassiterita com teor de Sn de 51,7% e recuperação metalúrgica global de 77,5% de Sn.

## 6. CONCLUSÕES

O processo de concentração de minerais contidos no pré-concentrado da Usina do Pitinga, mediante uma combinação de separações em separadores magnéticos e eletrostáticos apresentou resultados considerados satisfatórios, tanto em termos de teores como de recuperações metalúrgicas dos compostos de interesse.

Os ensaios realizados nos separadores magnéticos de alta intensidade, com magnetos de terras raras, indicaram a viabilidade técnica de redução acentuada de teores de ferro nos concentrados de columbita-tantalita, bem como a recuperação e enriquecimento em níveis razoáveis dos compostos  $Nb_2O_5$  e  $Ta_2O_5$  nessa fração.

A combinação de peneiramento e separação eletrostática das frações não-magnéticas geradas em ensaios de separação magnética resultaram em concentrado de estanho com teor considerado elevado, sob níveis aceitáveis de recuperação de estanho.



ANEXO 1

Fluxograma de Processo - Balanço de Massa e Metalúrgico

Objetivo: Melhorar o desempenho do LHM, na produção de Columbia "Plus" e "Assenda"

Equipamentos: Separadores Magnéticos e Separador Eletrostático

Legenda

Massa (g)	% Sn	% Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	% MnO <sub>2</sub>	% Ta <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	% ZnO
Distribuição em %					

Atribuição (Condição HTP SEM)					
Massa	Sn	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MnO <sub>2</sub>	Ta <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	ZnO
36.489	16,200	27,060	11,244	1,388	13,019
100	100	100	100	100	100

