



Rem: Revista Escola de Minas

versão impressa ISSN 0370-4467

Rem, Rev. Esc. Minas v.55 n.1 Ouro Preto jan./mar. 2002

doi: 10.1590/S0370-44672002000100010

Mineração

Caracterização de zircões da Mina Guaju (PB)

Sydney Sabedot

Geólogo, Doutorando, LAPROM/PPGEM/UFRGS











E-mail: sabedot@ct.ufrgs.br

Carlos Hoffmann Sampaio

Professor Adjunto do Departamento de Metalurgia/UFRGS

E-mail: sampaio@vortex.ufrgs.br

Serviços

-  Serviços customizados
-  Artigo em XML
-  Referências do artigo
-  Curriculum ScienTI
-  Como citar este artigo
-  Acessos
-  Citado por SciELO
-  Similares em SciELO
-  Tradução automática
-  Enviar este artigo por email

Resumo

Um tipo de concentrado de zircão produzido na mina Guaju, na Paraíba, é considerado de baixa qualidade porque contém baixo teor de ZrO_2 e alto teor de substâncias contaminantes. Estudos com microscópio ótico, microscópio eletrônico de varredura e microsonda eletrônica nos zircões indicaram as características responsáveis pela baixa qualidade do concentrado: película argilosa envolvendo os minerais, inclusões minerais e metamitos nos zircões. A película interfere na remoção dos minerais condutores e/ou magnéticos, que seguem com o zircão durante seu beneficiamento, contaminando a matéria-prima final. As inclusões minerais são de composições diversas e ocorrem em cerca de 28% dos zircões, contaminando, indiretamente, o concentrado final. A metamitização de zircões é um processo desencadeado na estrutura do mineral, devido ao decaimento de U e Th, e que provoca o enriquecimento de elementos químicos na rede cristalina.

Palavras-chave: zircão, caracterização, dunas, metamitização.

Abstract

The Guaju mine, in the State of Paraíba, produces low quality zircon concentrate, because this concentrate contains a low grade of ZrO_2 and a high grade of other undesirable substances in the raw material. Studies involving optic microscope, scanning electron microscopy and electron microprobe in the zircon minerals showed characteristics that indicated the causes of the low quality of the concentrate: clay film involving the minerals, mineral inclusions and metamict zones in the zircons. The clay film interferes in the removal of the conductive and/or magnetic minerals, which go with the zircon during its treatment, contaminating the final raw material. The composition of the mineral inclusions is varied. The inclusions occur in about 28% of the zircons and they contaminate indirectly the final concentrate. The zircon metamictization is a process unchained in the structure of the mineral, due to U and Th decay. This process promotes the increase of chemical elements in the crystalline net.

Keywords: zircon, characterization, dunes, metamictization.

1. Introdução

A mina Guaju localiza-se no município de Mataraca, Paraíba, 71 quilômetros à NW de João Pessoa. Os direitos minerários são da empresa Millennium Inorganic Chemicals do Brasil S/A, que produz concentrados de ilmenita, zircão e rutilo no local. Esses e outros minerais pesados ocorrem disseminados em dunas que formam o minério ROM (run-of-mine), junto à faixa litorânea.

Estudos de Sabedot e Sampaio (2000) indicaram que as dunas têm características mineralógicas distintas ao longo do perfil sedimentar. Uma delas é a ocorrência de uma película argilo-ferruginosa que envolve os minerais do depósito. No topo das dunas, 95% dos minerais têm brilho vítreo e 5% apresentam a opacidade típica da película. Na base, 98% dos minerais possuem a película fortemente aderida aos grãos. Essa característica não é importante na produção de ilmenita e rutilo, mas interfere na do zircão, porque minerais condutores e magnéticos com a película não são removidos com eficácia nos processos eletrostático e magnético, contaminando o concentrado de zircão (que é um mineral não-condutor e não-magnético). Como consequência, forma-se uma matéria-prima com baixa qualidade e com baixo valor comercial. O presente estudo foi motivado pelo interesse da empresa produtora em identificar as causas da formação dessa matéria-prima.

2. Características genéricas do zircão

O zircão é um silicato de zircônio que contém Hf, Fe, Ca, Na e Mn, entre outros elementos. Quando puros, são transparentes e têm valor comercial como gemas. Com contaminantes, as cores variam entre amarelo, laranja, vermelho, azul, marrom e verde. Nas formas mais comuns, ocorrem como minerais resistatos em faixas litorâneas, onde adquirem importância econômica (Dana, 1978).

No campo da geocronologia, é um dos minerais mais datados, porque contém U e Th, importantes na técnica de datação U-Th-Pb. Por ser resistente a processos metamórficos e a outras deformações geológicas, sua estrutura grava os eventos pelos quais passou a rocha hospedeira (Nasdala et alii, 1996). Embora o zircão seja resistente à ação de forças externas, internamente ocorre um processo de alteração denominado metamitização, resultante da substituição do U e Th por Zr. Esse processo provoca um intenso dano estrutural, resultado da colisão entre os átomos da rede cristalina do mineral (Garnar, 1994).

Austrália e África do Sul possuem as maiores reservas e são os principais produtores. Em 2000, esses países produziram 800 mil toneladas. O Brasil produziu 30 mil toneladas (DNPM, 2001). Alta dureza, elevado índice de refração e elevado ponto de fusão são características que favorecem o uso do zircão, da zircônia e do zircônio em variados segmentos industriais. Os principais são: fundição, refratários, abrasivos e ligas (Garnar, 1994).

3. Características relacionadas ao depósito mineral

As dunas da mina Guaju são depósitos conhecidos como *mineral sands*. São pláceres do Quaternário que repousam sobre sedimentos argilo-arenosos lateritizados e endurecidos da Formação Barreiras, do Terciário (DNPM, 1983). A [Foto 1](#) mostra dunas da mina em lavra. Os minerais econômicos são: ilmenita, zircão e rutilo. Mas também ocorrem cianita, monazita, estaurolita, turmalina, magnetita, hematita, epidoto, coríndon e berilo, entre outros. O teor médio desses minerais pesados é de 3,7%. O quartzo é o principal mineral leve e constitui a ganga da jazida (Sabedot & Sampaio, 2000). Esses pláceres favorecem operações de lavra à céu aberto, com desmonte mecânico por tratores de esteiras, que descarregam o minério em moegas móveis instaladas nas bases das dunas. Correias transportam o material até a planta de tratamento. Nesta, o quartzo e outros minerais leves são removidos por gravimetria. As matérias-primas são concentradas por processos eletrostáticos e magnéticos.



Foto 1 - Dunas em lavra na mina Guaju.

4. Materiais e métodos

Foi estudado um concentrado de zircão com teor de 63% de ZrO_2 . É um produto de baixa qualidade devido a elevados teores das substâncias contaminantes TiO_2 , Fe_2O_3 , Al_2O_3 e P_2O_5 . Segundo Garnar (1994), um concentrado de alta qualidade necessita um teor mínimo de 65% de ZrO_2 . A amostra foi quarteada em alíquotas para os estudos da mineralogia, da granulometria, das inclusões minerais e do processo de metamitização.

Para os estudos granulométricos e mineralógicos, 4 alíquotas foram observadas em um microscópio de luz transmitida. Cada alíquota foi subdividida nas frações 48, 60, 80, 100, 150, 200 e <200 mesh, e cada fração foi observada no microscópio.

Para o estudo das inclusões minerais e dos zircões metamíticos, 2 lâminas foram preparadas e analisadas em microscópio eletrônico de varredura (MEV) e em microssonda eletrônica (ME). Numa lâmina, separaram-se 100 grãos de zircão com inclusões minerais. Os grãos foram colados, desgastados e polidos na lâmina, que posteriormente foi metalizada com grafite para a condutividade dos elétrons. Na outra lâmina, separaram-se cerca de 800 grãos que passaram pelos mesmos procedimentos de colagem, desgaste, polimento e metalização. O equipamento MEV foi o da marca Philips, modelo XL20 e sistema de raios x EDAX, pertencente ao LAMEF/PPGEM/UFRGS. O equipamento ME foi o da marca Cameca, modelo SX50, do IG/UFRGS.

5. Resultados e discussões

5.1. Caracterização granulométrica e mineralógica

A [Tabela 1](#) mostra a distribuição granulométrica do concentrado de zircão nas 4 alíquotas; a [Tabela 2](#) mostra a distribuição da massa mineral (zircão e contaminantes) nas diferentes frações; a [Tabela 3](#) mostra os dados sobre as massas de zircões com e sem inclusões minerais e os das cores identificadas nas alíquotas.

Tabela 1 - Distribuição granulométrica (%) do concentrado de zircão.

Malha (mesh)	Aliquota 1	Aliquota 2	Aliquota 3	Aliquota 4	MÉDIA
+ 48	-	0,01	0,01	0,01	0,01
+ 60	0,19	0,10	0,12	0,10	0,13
+ 80	6,87	4,92	5,53	4,39	5,43
+ 100	6,82	7,48	7,78	8,36	7,60
+ 150	37,51	30,94	29,67	29,27	31,85
+ 200	47,04	54,75	55,10	55,93	53,2
- 200	1,57	1,80	1,79	1,94	1,78

Tabela 2 - Distribuição da massa mineral (%) nas frações.

Fração	Zircão	Monazita	Cianita	Quartzo	Ilmenita	Rutilo	Outros (*)
+ 48	16,0	2,0	8,0	33,0	-	-	41,0
+ 60	90,0	2,0	5,0	1,5	0,5	0,5	0,5
+ 80	92,0	2,0	4,0	0,5	0,5	0,5	0,5
+ 100	95,0	1,0	2,0	0,5	0,5	0,5	0,5
+ 150	97,0	-	1,0	0,5	0,5	0,5	0,5
+ 200	99,0	0,5	-	-	-	0,5	-
- 200	99,0	-	0,5	-	-	0,5	-

(*) sillimanita, estauroлита e hematita.

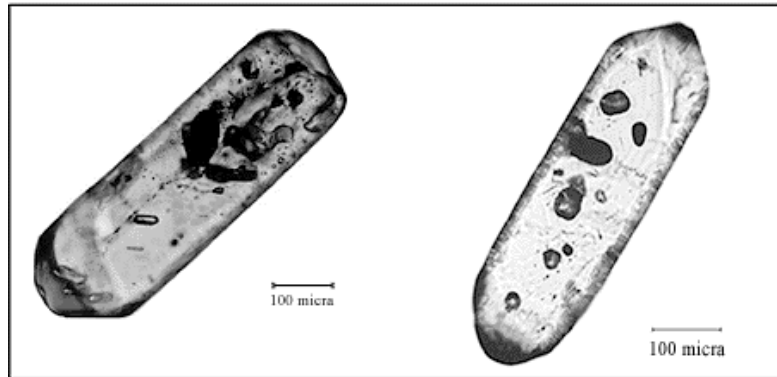
Tabela 3 - As inclusões minerais e as cores nos zircões.

Aliquota	Inclusões (%)		Cores (%)		
	Sem	Com	Incolor	Amarelo	Opacos
1	73	27	62	28	10
2	72	28	65	28	7
3	65	35	50	45	5
4	78	22	72	17	11
Média	72	28	62	29	8

Os dados da [Tabela 1](#) mostram que a massa zirconítica concentra nas frações 150 e 200 *mesh* (85%). Na [Tabela 2](#), verifica-se que a massa de minerais contaminantes é significativa em todas as frações, indicando ser este um dos motivos da baixa qualidade do concentrado estudado. A ocorrência de minerais contaminantes pode ser atribuída a dois fatos: concentração gravimétrica não otimizada; massa mineral parcialmente envolta pela película argilo-ferruginosa. A presença de quartzo e outros minerais menos densos que o zircão no concentrado reforça o primeiro fato. O segundo foi verificado durante a análise microscópica, onde as massas minerais das frações granulométricas continham entre 50% e 90% dos grãos envoltos pela película, além de argila preenchendo as cavidades dos minerais. Essa característica influencia na concentração do zircão: com a película, minerais condutores e/ou magnéticos não são removidos com eficácia nos processos correspondentes e seguem com o zircão. O resultado é a formação de uma matéria-prima final contaminada.

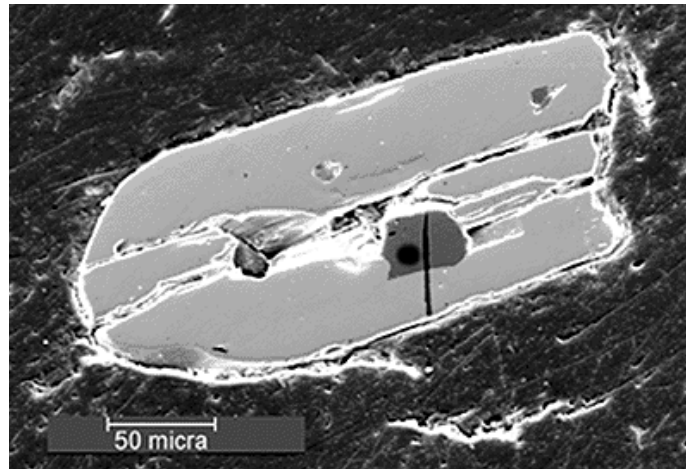
5.2 Inclusões minerais

Inclusões minerais nos zircões são outra causa da baixa qualidade da matéria-prima. O estudo mineralógico indicou que 28% dos grãos continham inclusões minerais visíveis na lupa com aumento de 50 vezes. Os tamanhos são variados e podem ocupar um volume significativo da massa mineral, como nos dois grãos selecionados do concentrado, mostrados nas [Fotos 2](#) e [3](#).



Fotos 2 e 3 - Grãos de zircões com inclusões minerais.

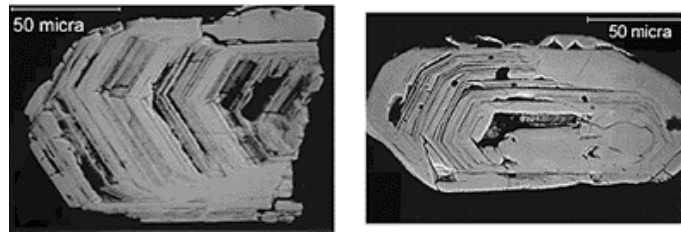
A [Foto 4](#) mostra inclusões minerais em detalhe, em um dos grãos analisados no MEV. O desgaste dos 100 grãos permitiu expor 142 inclusões minerais. A análise qualitativa das mesmas, na microsonda eletrônica, identificou variados elementos, que indicaram a presença dos minerais biotita, turmalina, feldspato, ilmenita, rutilo, estauroлита, apatita, monazita, magnetita, hematita e quartzo.



Fotos 4 - Imagem MEV de zircões com inclusões minerais.

5.3 Metamitização

Cerca de 15% dos 800 grãos de zircão analisados na microsonda apresentaram o processo de metamitização bem caracterizado. As [Fotos 5](#) e [6](#) são imagens BSE de zircões metamíticos, onde as bandas escuras identificam os metamitos, que correspondem a uma massa vítrea zirconítica (Wopenka et alii, 1996).



Fotos 5 e 6 - Imagens BSE de zircões metamórficos da mina Guaju.

No processo de metamitização ocorre substituição de Zr por outros elementos. Smith et alii (1991) verificaram que a estrutura do zircão pode acomodar íons externos com o processo e, em alguns grãos, 40% da massa de Zr foi substituída por cátions de Y, TR, Nb, U, Ca, etc.; uma percentagem baixa do Si foi substituída por Al e P. Gorz & White (1970) mostraram que o Fe entra na estrutura cristalina do zircão substituindo o Si e sua concentração pode variar entre 400 e 15.000 ppm. Hartmann et alii (1999), estudando zircões metamórficos do Granito Caçapava, no Rio Grande do Sul, identificaram trocas químicas entre o zircão e o ambiente metamórfico, determinando que as partes metamitizadas estão fortemente enriquecidas em Fe (~100 vezes), entre outros elementos. Esses estudos mostram que a estrutura do zircão se enriquece de elementos devido ao processo de metamitização. Portanto as substâncias contaminantes no concentrado de zircão da mina Guaju também estão relacionadas ao processo de metamitização.

5.4 Outras feições características dos zircões da mina Guaju

As análises em microsonda eletrônica também permitiram identificar outras características típicas dos zircões: zoneamento de crescimento, vazios intracristalinos e fraturamento. Elas não têm, aparentemente, relação com a qualidade da matéria-prima final, mas são importantes para identificar aspectos como a gênese do mineral. A Foto 7 mostra um cristal de zircão com zoneamento de crescimento, caracterizado por bandas euédricas de tonalidades distintas na foto. Esse zoneamento oscilatório é comum nos cristais de zircão e típico de cristalização ígnea, refletindo as mudanças físicas e químicas do magma onde o zircão cristalizou e cresceu (Halden & Hawthorne, 1993).

Vazios intracristalinos são feições também observadas nos zircões da mina Guaju. A [Foto 8](#) mostra um cristal com excesso de vazios. Geralmente, os vazios ocorrem em quantidades inferiores, podem estar presentes tanto nos zircões metamórficos como nos ígneos e formam-se durante a cristalização do mineral. Em excesso, como no cristal da [Foto 8](#), e onde é visível um alinhamento das inclusões minerais e dos vazios, caracteriza um zircão metamórfico (Hartmann).

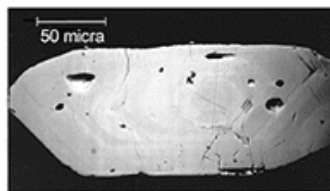


Foto 8 - Imagem BSE de zircão ígneo.

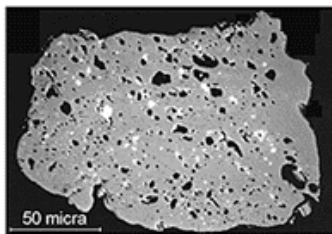


Foto 9 - Imagem BSE de zircão metamórfico.

As variações físico-químicas durante o crescimento do zircão geram concentrações não uniformes de U e Th no mineral, causando expansões de volumes em diferentes taxas na metamitização. Em geral, as zonas mais ricas em U e Th expandem-se muito mais rapidamente. Essas expansões heterogêneas criam pressões internas por todo o mineral, suficientes para fraturá-lo. As fraturas servem como um caminho potencial para a penetração de fluidos, permitindo a lixiviação dos elementos (Nasdala et alii, 1996). As [Fotos 5, 6](#) e 7 mostram algumas fraturas, comuns em zircões observados em microsonda eletrônica.

Conclusões

- Na análise microscópica dos minerais do concentrado de zircão da mina Guaju, verificou-se a existência de uma película argilo-ferruginosa envolvendo a maioria dos grãos. A presença de minerais contaminantes (rutilo, ilmenita e monazita, entre outros) no concentrado é atribuída à película, que inibe a ação dos processos eletrostático e magnético, impossibilitando a remoção desses minerais. Como consequência, há formação de um concentrado de zircão com teor elevado de substâncias contaminantes e baixo teor de ZrO_2 , caracterizando uma matéria-prima de baixa qualidade.
- Cerca de 28% dos grãos de zircão possuem inclusões constituídas por diferentes minerais. Essas inclusões também são responsáveis pelo teor elevado das substâncias contaminantes no concentrado.
- O processo de metamitização ocorre em cerca de 15% dos zircões estudados. Esse processo permite o enriquecimento de elementos químicos na estrutura cristalina do mineral e, por isso, também é uma das causas dos elevados teores das substâncias contaminantes no concentrado de zircão da mina Guaju.

Agradecimentos

Os autores agradecem à empresa Millennium Inorganic Chemicals do Brasil S/A, pela disponibilidade de amostras para o estudo; ao professor Léo Afrâneo Hartmann, do Instituto de Geociências da UFRGS, pelas importantes informações sobre os zircões e o processo de metamitização; ao CNPq/RHAE, pelo apoio financeiro ao estudo.

Referências bibliográficas

- DANA, J.D. *Manual de mineralogia*. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos Editora S.A., 1978. 642 p. [[Links](#)]
- DNPM. *Mapa Geológico do Estado da Paraíba*. Rio de Janeiro: DNPM, 1983. [[Links](#)]
- DNPM. Sumário Mineral. *Zircônio*. Rio de Janeiro: DNPM, 2001. 122 p. [[Links](#)]
- GARNAR, T.E. *Zirconium and hafnium minerals*. In: *Industrial Minerals and Rocks*. Indiana: Donald D. Carr Senior Editor, 1994. 6.th. ed. 1196 p., p. 1159-1165. [[Links](#)]
- GORZ, H., WHITE, E.W. Minor and trace elements in HF soluble zircons. *Contrib Mineral Petrol*. v. 29, p. 180-182, 1970. [[Links](#)]
- HALDEN, N.M., HAWTHORNE, F.C. The fractal geometry of oscillatory zoning in crystals: application to zircon. *American Mineralogist*, v. 78, p.1113-1116, 1993. [[Links](#)]

HARTMANN, L.A. et alii. Chemical analyses of zircons in sequential sections: an integrated electron microprobe, backscattered electron and cathodoluminescence image investigation. *Pesquisas*, v. 26, n. 1, p. 59-66, 1999. [[Links](#)]

HARTMANN, L.A. UFRGS, Inst. de Geociências. *Informações verbais*. [[Links](#)]

NASDALA, L. et alii. Heterogeneous metamictization of zircon on a microscale. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, v. 60, n. 6, p. 1091-1097, 1996. [[Links](#)]

SABEDOT, S., SAMPAIO, C.H. Caracterização mineralógica de dunas enriquecidas com minerais pesados, nas proximidades do rio Guaju, PB. In: CONGRESSO ANUAL DA ABM, 55, 2000. Rio de Janeiro, RJ. *Anais...*, 2000, p.525-533. [[Links](#)]

SMITH, D.G.W. et alii. Zonally metamictized and other zircons from Thor Lake, Northwest Territories. *Canadian Mineralogist*, v. 29, p. 301-309, 1991. [[Links](#)]

WOPENKA, B. et alii. Trace elements zoning and incipient metamictization in a lunar zircon: application of three microprobe techniques. *American Mineralogist*, v. 81, p. 902-912, 1996. [[Links](#)]

Artigo recebido em 20/07/2001 e aprovado em 28/02/2002.



Todo o conteúdo do periódico, exceto onde está identificado, está licenciado sob uma [Licença Creative Commons](#)

Escola de Minas

Praça Tiradentes, 20
35400-000 Ouro Preto MG - Brazil
Tel: (55 31) 3551-4730



editor@rem.com.br