

the pollutants and it concentrates the mineral zircon. An amount of polluting mineral is involved by an iron-clay coating that interferes in its removal during the processes. The result is the contamination of the zircon final product, that is classified according both core of ZrO_2 and another substances, which are related to the mass of polluting minerals. PCZ was treated with attrition process to eliminate the problem of the clay and to increase the effectiveness of the electric and magnetic processes in the removal of the pollutants. It was chosen an semi-industrial equipment to verify the technical viability of the process. The operational parameters were: the amount of solids in pulp, the concentration of NaOH in pulp and the time of agitation of the pulp. The combinations of values indicated more than one viable alternative for the process. It was chosen the rehearsal with 70% of solids in pulp, with 600 g NaOH/t pulp and with the time of 20 minutes of agitation. The company suggested the accomplishment of a rehearsal without NaOH, for environment reasons. Two samples were attritioned with the same operation parameters, being one without the chemical reagent. Then they were treated in both electrostatic and magnetic separators. The analytic results showed that the final product (non-magnetic) of the sample attritioned with NaOH had 50% less TiO_2 than other sample. Therefore, the attrition process was more effective with the use of the caustic soda. The TiO_2 it is one of the polluting substances of the zircon concentrate.

Keywords: attrition, scrubbing, zircon, mineral treatment.

1. Introdução

O processo de atrição, também conhecido como escurubagem, é a operação na qual ocorre a separação de grãos unidos por material argiloso, por precipitados salinos, ou por material semelhante, pela ação de forças relativamente fracas. O processo é o resultado do atrito entre grãos de durezas elevadas, em polpa sob intensa agitação (Taggart, 1945).

A empresa Millennium opera a mina Guaju, localizada no município de Mataraca, PB, 71 quilômetros à NW de João Pessoa. A principal matéria-prima produzida é a ilmenita. O zircão é um co-produto do processamento mineral de dunas litorâneas, onde ocorre disseminado com outros minerais pesados. As características mineralógicas da jazida condicionam a formação de tipos diferentes de concentrados de zircão, classificados conforme o teor de ZrO_2 e os teores de outras substâncias consideradas contaminantes. A matéria-prima mais nobre contém teor mínimo de 65% de ZrO_2 e teores máximos de 0,08% de TiO_2 , 0,12% de Fe_2O_3 , 0,10% de P_2O_5 e 0,80% de Al_2O_3 , substâncias contaminantes, presentes na matéria-prima.

A concentração do zircão é um processo em bateladas. A fonte de todos os tipos é um produto denominado Pré-Concentrado de Zircão (PCZ), gerado após a separação da ilmenita do minério ROM (*run-of-mining*). As características do PCZ variam conforme a área-fonte do ROM.

As dunas, em geral, são homogêneas, mas há algumas diferenças entre os sedimentos da base e os do topo da jazida. Na base, os sedimentos têm cor vermelha e cerca de 98% dos minerais estão envolvidos por uma película argilo-ferruginosa, às vezes fortemente aderida, que deixa os minerais opacos. Também há argila preenchendo cavidades e irregularidades dos grãos. No topo, a cor dos sedimentos é amarela e cerca de 95% dos minerais têm superfícies brilhantes, sem argila aderida ou preenchendo cavidades (Sabedot & Sampaio, 2000).

Se o PCZ resultar de uma área-fonte onde predominam os sedimentos da base da jazida, a maioria de seus minerais pesados (MP) vai apresentar o problema da argila aderente. Caso contrário, a maioria dos MP não apresentará o problema. No primeiro caso, a batelada vai gerar concentrados de zircão de baixas qualidades. No segundo, a mesma batelada vai gerar concentrados de altas qualidades.

Caso o zircão fosse a principal matéria-prima de interesse econômico, a produção de concentrados de alta ou de baixa qualidade seria controlada pela seletividade na lavra. Como o zircão é um co-produto, e como a argila aparentemente não afeta a qualidade dos concentrados de ilmenita, a seletividade não é uma estratégia considerada na operação. E se duas ou mais frentes estiverem operando em níveis diferentes na jazida, sedimentos do topo e da base serão enviados para a planta de tratamento, indistintamente.

O PCZ é um produto enriquecido com zircão (>80% da massa), que contém uma variedade de minerais considerados contaminantes: rutilo, ilmenita, cianita e estauroлита, entre outros. Esse produto passa por um conjunto de separadores eletrostáticos e magnéticos, que remove os contaminantes para concentrar o zircão (mineral não-condutor e não-magnético). Os equipamentos não atuam com eficácia nos minerais portadores da película argilosa. Como consequência, parte dos contaminantes segue incorporada à massa zirconítica, que forma o concentrado final de zircão. A qualidade dessa matéria-prima é determinada pela massa de contaminantes nela disseminada.

A empresa produtora, interessada em otimizar a concentração do produto de melhor qualidade, desenvolveu, com a UFRGS, alguns ensaios de atrição para avaliar a questão. Os primeiros trabalhos foram conduzidos em

escala de laboratório, por Sabedot e Sampaio (2001), no concentrado de zircão de baixa qualidade. Os ensaios indicaram os parâmetros operacionais otimizados do processo. As análises da matéria-prima original mostraram que a maioria dos minerais (zircão e contaminantes) estava envolvida pela película argilo-ferruginosa.

Considerando a eficácia do processo em escala de laboratório, decidiu-se pela aplicação de ensaios de atrição no PCZ em equipamento semipiloto, por representar uma escala mais compatível com um processo industrial. O processo de atrição não existe no fluxograma operacional da mina Guaju. Com ele, admite-se uma opção viável para otimizar a produção de tipos mais nobres de concentrados de zircão.

2. Material e métodos

A empresa coletou uma amostra *bulk* do PCZ para os ensaios, durante uma etapa normal do tratamento industrial. Uma alíquota foi processada em um separador isodinâmico Frantz, que originou 8 subalíquotas de diferentes intensidades magnéticas. A análise em lupa binocular possibilitou a identificação das características mineralógicas do produto.

Os ensaios de atrição semipiloto foram aplicados em 12 amostras do PCZ (40 kg/amostra). Os parâmetros operacionais, tendo como referência os resultados dos ensaios otimizados em laboratório, foram: concentração de sólidos em polpa, concentração de NaOH na polpa e tempo de agitação da polpa. A [Tabela 1](#) mostra os valores dos parâmetros aplicados nos ensaios semipiloto. O ensaio 1 foi realizado sem NaOH, porque a empresa desejava obter informações sobre a performance do processo sem o reagente químico, por questões de meio ambiente.

Tabela 1 - Parâmetros dos ensaios de atrição em escala semipiloto.

ENSAIO	POLPA (% sólidos)	NaOH (g/t polpa)	TEMPO (minutos)
1	80	0	20
2	80	400	20
3	80	400	40
4	80	500	20
5	80	600	20
6	70	500	20
7	70	600	20
8	80	500	30
9	80	600	30
10	70	500	30
11	70	600	30
12	80	600	10

Os ensaios foram desenvolvidos em um equipamento do Laboratório de Tratamento Mineral, do Departamento de Engenharia de Minas da Escola Politécnica, da Universidade de São Paulo, composto por uma célula de atrição e um agitador mecânico. A célula de base quadrada media 31 cm de lado e 51 cm de altura; internamente era revestida com borracha e estruturada com 4 aletas. A agitação foi implementada por um eixo com dupla hélice, acoplado em um motor de 2 HP, de forma a gerar intensa turbulência a uma rotação fixa de 1000 rpm. A [Foto 1](#) ilustra o equipamento.



Foto 1 - Equipamento de atrição utilizado nos ensaios semipiloto.

Alíquotas dos 12 ensaios foram analisadas em lupa binocular e qualificadas de forma subjetiva, considerando-se a presença de grãos com argila aderida às cavidades e/ou em forma de película. Nesses termos, os ensaios foram qualificados como "regular", "bom" e "ótimo".

A performance dos processos com e sem NaOH foi verificada em duas alíquotas atricionadas (ensaios 1 e 2), que foram tratadas nos equipamentos eletrostático e magnético do Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo S/A (IPT). O separador eletrostático foi o da marca Carpcó, modelo HT (15,25,36) 111-15, rolo induzido com 14 polegadas de diâmetro. O separador magnético via úmida a tambor foi o da marca Inbras/Eriez, modelo 4L, com matriz 2 x 4 mm, operando com 17.000 Gauss (*gap* fechado) de intensidade magnética. Os produtos gerados nesses dois processos, bem como a amostra *bulk* original, foram analisados em um espectrofotômetro de raios x da marca Philips, modelo PW1660, no laboratório químico da empresa Millennium.

3. Resultados e discussões

3.1 Caracterização do pré-concentrado de zircão (PCZ)

O PCZ apresentou as seguintes características:

- Mineralogia: zircão (86%); rutilo (5%); ilmenita (3%); cianita (2%); outros (4%).
- Cerca de 10% dos minerais continham argila aderida em cavidades e irregularidades dos grãos.
- Cerca de 5% dos minerais transparentes apresentaram cor amarela e opacidade, devido à aderência da película argilo-ferruginosa.

A reduzida massa de minerais com argila indicou que o PCZ foi originado de sedimentos lavrados predominantemente no topo da jazida, onde a maioria dos minerais possui superfícies limpidas e transparentes.

3.2 Qualificação dos ensaios de atrição

A qualificação dos ensaios de atrição foi definida de forma subjetiva, isto é, pela observação, em lupa binocular, da quantidade de argila aderida aos grãos dos produtos atricionados. A qualificação REGULAR indicou a presença de grãos com argila aderida em cavidades rasas e profundas, de grãos com vestígios da película, e/ou de grãos com opacidade; a qualificação BOA indicou a presença de grãos com argila aderida apenas em algumas cavidades profundas, mas sem vestígios da película e sem opacidade; a qualificação ÓTIMA indicou que os grãos estavam completamente liberados da argila e com superfícies brilhantes. Realizaram-se análises químicas de alíquotas atricionadas dos 12 ensaios, para proceder-se a uma avaliação objetiva do processo semipiloto. Esperava-se que a redução da argila pudesse ser quantificada com os resultados analíticos. A opção mostrou-se inadequada, porque a massa de argila aderente é de valor muito baixo, insuficiente para estabelecer diferenças entre os resultados antes e depois da atrição, isto é, as diferenças foram valores considerados coincidentes com os da "margem de erro" do processo analítico. A [Tabela 2](#) mostra os resultados da avaliação subjetiva.

Tabela 2 - Qualificação dos 12 ensaios de atrição semipiloto.

QUALIDADE	ENSAIOS
ÓTIMA	8, 9, 11
BOA	2, 3, 4, 5, 7, 10
REGULAR	1, 6, 12

As melhores performances operacionais foram verificadas nos ensaios 8, 9 e 11, cujos grãos atricionados estavam completamente liberados da argila. Nos ensaios 2, 3, 4, 5, 7 e 10, verificou-se que os minerais atricionados tinham argila aderida apenas em cavidades profundas. Essa performance indicou que os parâmetros usados nos ensaios são adequados para o processo industrial. Destacam-se os ensaios 2, 4, 5 e 7, devido aos menores tempos de operação. O ensaio 7, com menor concentração de sólidos em polpa, poderá ser eleito como o mais adequado para a operação industrial, se esse parâmetro representar menor consumo de energia. Durante os ensaios, não houve condições técnicas para se avaliar o consumo de energia dos sistemas. Nos ensaios 1, 6 e 12, os processos tiveram eficácia parcial, devido aos vários grãos com argila aderida em cavidades rasas e profundas, bem como argila aderida nas superfícies dos minerais. Essas características indicaram que as operações sem NaOH (ensaio 1), ou com tempo de 10 minutos (ensaio 12), não seriam adequadas para a escala industrial. O ensaio 6 mostrou resultado atípico, talvez decorrente de algum problema operacional não detectado durante a sua realização.

3.3 Ensaios nos separadores eletrostático e magnético

A [Tabela 3](#) mostra os resultados de análises químicas do PCZ original e das amostras submetidas aos processos de atrição (com e sem NaOH), eletrostático e magnético. Nas duas amostras tratadas, a diferença entre os valores das substâncias contaminantes só foi significativa para o TiO_2 . Por isso foi a escolhida para a avaliação da performance dos separadores naquelas amostras. Para as demais substâncias, a diferença entre os valores nas duas amostras foi irrelevante e relacionada à margem de erro do processo analítico. O TiO_2 é a substância presente nos minerais rutilo e ilmenita, principais contaminantes do PCZ. Os histogramas da [Figura 1](#) mostram que os produtos não-condutor e não magnético, derivados do PCZ atricionado com NaOH, tiveram teores de TiO_2 reduzidos cerca de 50% em relação aos produtos derivados do PCZ atricionado sem NaOH. As diferenças foram relevantes e indicaram que o reagente químico foi importante no processo de atrição.

Tabela 3 - Análises químicas (%) do PCZ original e das amostras submetidas aos tratamentos físicos.

AMOSTRA	TiO_2	Fe_2O_3	P_2O_5	Al_2O_3	ZrO_2
PCZ	7,46	1,49	0,19	1,31	58,36
Tratada sem NaOH	0,65	0,24	0,12	1,09	66,17
Tratada com NaOH	0,3	0,28	0,11	1,07	66,03

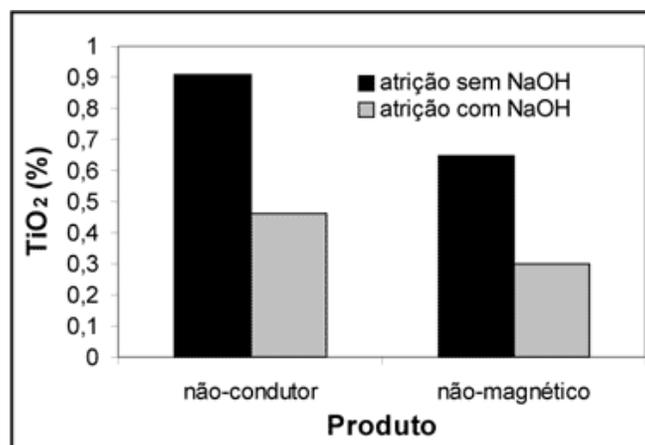


Figura 1 - Histogramas para os teores de TiO_2 , em produtos de tratamentos físicos de amostras do Pré-Concentrado de Zircão.

3.4 Outras avaliações sobre o processo semipiloto

A [Tabela 3](#) mostra que o teor de 66% de ZrO_2 nas amostras tratadas está acima do mínimo exigido para o concentrado de zircão de alta qualidade. Mas os teores das substâncias contaminantes estão elevados e mostram que a matéria-prima não tem a especificação química adequada para um produto de qualidade. A remoção dos minerais contaminantes nos separadores elétrico e magnético foi uma operação não otimizada. Não se desejava obter eficácias operacionais nos separadores, mas apenas avaliar o potencial deles para a remoção dos minerais contaminantes. Apesar de as condições operacionais predeterminadas não se qualificarem como otimizadas, indicaram, contudo, que o potencial para a remoção foi maior na alíquota atricionada com soda cáustica.

Não houve viabilidade técnica para se determinar o potencial econômico do método pesquisado, na forma como os ensaios foram desenvolvidos. Como sugestão, e considerando que a concentração do zircão é um processo em bateladas, seria interessante poder processar duas amostras *bulk* do PCZ - uma normal e outra previamente atricionada com soda - na planta que gera os concentrados de zircão. As análises químicas dos concentrados e os balanços das massas seriam informações valiosas para indicar o potencial econômico do processo de atrição.

Os resultados do processo em escala semipiloto foram considerados satisfatórios. A performance foi semelhante à do processo em escala de laboratório. Considerando-se a simplicidade e a eficácia do método, admite-se que a atrição do PCZ com NaOH seja uma alternativa viável para ser incorporada à escala industrial do tratamento, de forma a promover a produção dos tipos mais puros de concentrado de zircão.

Conclusões

- A amostra *bulk* do PCZ continha baixa quantidade de minerais com argila aderida, indicando que sua área-fonte principal relacionou-se com os sedimentos do topo da jazida. Considerando o objetivo dos ensaios, a amostra adequada poderia ter como área-fonte principal os sedimentos da base da jazida. Entretanto, como uma das questões envolvidas nesse tema é justamente a não-seletividade durante a lavra, a amostra *bulk* foi considerada apropriada para os ensaios.
- Os resultados dos ensaios de atrição semipiloto foram satisfatórios. A maioria das combinações de parâmetros de operação foi eficaz na remoção da argila aderida aos minerais. Essa performance confirmou os resultados obtidos nos ensaios de laboratório. A escolha da melhor combinação para a operação industrial deverá contemplar o parâmetro que favoreça o menor consumo de energia, certamente o item mais dispendioso no processo. Por isso, considera-se que o ensaio 7 (70% sólidos, 600 g NaOH/t polpa e 20 minutos de operação) tenha os parâmetros mais adequados à operação industrial.

- Os ensaios de separação eletrostática e magnética nos produtos da atrição com e sem NaOH forneceram resultados que mostraram a importância do reagente químico no processo de atrição. Os teores de TiO₂, correspondentes aos principais minerais contaminantes do PCZ, foram 50% inferiores nos produtos "não-condutor" e "não-magnético", derivados da atrição com NaOH. O uso do reagente favoreceu a liberação da argila, contribuindo para a formação de concentrados finais de zircão com teores mais baixos de substâncias contaminantes.

Agradecimentos

Os autores agradecem à empresa Millennium Inorganic Chemicals do Brasil S/A, que enviou a amostra *bulk* e absorveu a maioria dos custos dos ensaios de atrição e a totalidade dos custos das análises químicas; ao IPT, à engenheira de minas Mônica Speck Cassola e à sua equipe técnica, que disponibilizaram gratuitamente as instalações, os equipamentos, a mão-de-obra operacional e os materiais de consumo para os ensaios eletrostáticos e magnéticos.

Referências Bibliográficas

SABEDOT, S., SAMPAIO, C.H. Aplicação de um processo de atrição para otimizar a recuperação de concentrados de zircão. In: SOUTHERN HEMISPHERE MEETING ON MINERAL TECHNOLOGY/ENCONTRO NACIONAL DE TRATAMENTO DE MINÉRIOS E METALURGIA EXTRATIVA, VI/XVIII, 2001. Rio De Janeiro, RJ. *Anais...*, Rio de Janeiro, RJ: CETEM, 2001. v.3, p.79-82. [[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...* em CD, 2000, p.525-533. [[Links](#)]

TAGGART, A.F. *Handbook of mineral dressing*. New York, USA: John Wiley & Sons, 1945. v.1, p.10-01 a 10-16. [[Links](#)]

Artigo recebido em 20/07/2001 e aprovado em 15/02/2002.



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