

## BAUXITA E SEU RESÍDUO, CARACTERIZAÇÃO E ESTUDO POR MICROSCOPIA ELETRÔNICA

M. L. P. Antunes<sup>1</sup>, F. T. Conceição<sup>2</sup>, S. P. Toledo<sup>3</sup>, P. K. Kiyohara<sup>3</sup>  
1 - UNESP/Campus de Sorocaba; 2 – UNESP/Campus de Rio Claro, 3 – USP  
IFUSP/LME  
UNESP/Sorocaba, Av. três de março, 511 – Sorocaba – S.P., Cep.: 18017-180  
[malu@sorocaba.unesp.br](mailto:malu@sorocaba.unesp.br)

### RESUMO

*Através do Processo Bayer, a bauxita é processada e é gerada a alumina. Neste processo, um resíduo altamente alcalino, lama vermelha, é gerado e seu descarte representa um grande problema ambiental. O objetivo deste trabalho é apresentar a caracterização da bauxita brasileira e de seu resíduo por: difração de raios-X, medidas de área específica, análise da composição química por ICP- ES, microscopia eletrônica de transmissão (MET) e microanálise por raios-X (EDS), e microscopia eletrônica de varredura (MEV) e assim discutir possíveis aplicações desse resíduo. Os resultados permitem identificar como constituintes majoritários de ambos os materiais  $Al_2O_3$ ,  $Fe_2O_3$ ,  $SiO_2$  e  $TiO_2$  e a presença de  $Na_2O$  no resíduo. A análise por microscopia eletrônica mostra a bauxita constituída por placas hexagonais e aglomerados de partículas enquanto que na lama, se nota uma redução nas dimensões das partículas.*

Palavras-chave: bauxita, alumina, lama vermelha, microscopia eletrônica.

### INTRODUÇÃO

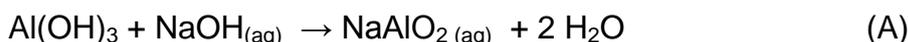
A bauxita é um minério constituído essencialmente por hidróxidos de alumínio, óxidos e hidróxidos de ferro, caulinita ou haloisita, óxido de titânio e outros elementos traço<sup>(1)</sup>. É o minério mais utilizado para produção de alumina e alumínio.

O minério de bauxita pode ser classificado pelo tipo de hidróxido de alumínio presente em sua constituição. Sendo então classificados como gibsíticos (trihidratada) e diásporo ou boemítico (monohidratada). As reservas de bauxita gibsíticas são encontradas no Brasil, Austrália, China, Jamaica e Índia. Já as reservas monohidratadas são encontradas na França, Grécia e Hungria<sup>(2)</sup>.

As grandes reservas mundiais de bauxita encontram-se localizadas em regiões tropicais e subtropicais, sendo os maiores produtores: Austrália, China, Brasil, Guiné, Jamaica, e Índia.

As reservas brasileiras correspondem a 10% das mundiais, sendo a 3ª maior reserva do mundo<sup>(3)</sup>. Estas se encontram distribuídas principalmente na região norte, seguidas pela região sudeste e sul. Cerca de 100% da produção de bauxita no Brasil é destinada à refinaria de alumina e posterior produção do alumínio. O restante é destinado à indústria de refratários e químicos.

A partir da bauxita é produzida a alumina e esta é usada no Processo Heroult-Hall para a produção do alumínio metálico. Para o refino da bauxita e produção da alumina utiliza-se o Processo Bayer, desenvolvido e patenteado em 1888 pelo químico soviético Karl Josef Bayer<sup>(4)</sup>. Esse processo utiliza-se da propriedade dos hidróxidos de alumínio presentes na bauxita dissolverem-se em solução de hidróxido de sódio, formando o aluminato de sódio (A).



Adicionando-se pequenos núcleos de gibsita é possível obter a precipitação do  $\text{Al(OH)}_3$ , a partir do aluminato de sódio (B).



O hidróxido de alumínio assim obtido é separado em duas frações: a fração grossa que é calcinada formando a alumina que será utilizada na produção de alumínio e a fração fina que é utilizada para nuclear novas soluções de aluminato de sódio.

Durante o processo Bayer os resíduos de óxidos de ferro, silício e outros elementos presentes na bauxita são separados, gerando um resíduo insolúvel e altamente alcalino (pH na faixa de 10 a 13) denominado lama vermelha.

A lama vermelha pode ser classificada segundo a norma NBR 10.004 da associação brasileira de normas Técnicas (ABNT) como um resíduo classe I – perigoso (alta corrosividade).

Para cada tonelada de alumina produzida, aproximadamente uma ou duas toneladas de lama vermelha são geradas (WANG *et al*, 2008), sendo que a cada ano são produzidas 120 milhões de toneladas desse resíduo no mundo. Estima-se que a produção de lama vermelha no Brasil é de 7 a 10 milhões de toneladas/ano<sup>(5)</sup>. Em geral devido ao custo de transporte e tratamento, esse material é armazenado em áreas próximas às fábricas, em lagoas de disposição. Estas devem ser projetadas de forma adequada, caso contrário corre-se o risco de contaminação ambiental. Tudo isso contribui como custo adicional e permanente ao processo de produção do alumínio.

Uma alternativa para os problemas causados pela enorme produção de lama vermelha é o desenvolvimento de tecnologias que visem a sua reutilização. Estudar suas características e suas propriedades possibilita conhecer o potencial da lama vermelha para diferentes aplicações. Vale destacar que a lama gerada depende fortemente da bauxita da qual ela é proveniente e do processo pelo qual ela foi gerada.

Buscando contribuir com informações sobre a bauxita brasileira e de seu resíduo, a lama vermelha, este trabalho visa apresentar um estudo de caracterização desses materiais por: difração de raios-X, medidas de área específica, análise da composição química por ICP- ES, microscopia eletrônica de transmissão (MET) e microanálise por raios-X (EDS/MET) e microscopia eletrônica de varredura (MEV).

## MATERIAIS E MÉTODOS

### Amostras de bauxita e lama vermelha

A bauxita estudada neste trabalho é proveniente da região de Poços de Caldas (M.G.) e a lama vermelha foi fornecida por uma indústria de refino da bauxita, localizada na cidade Alumínio, interior do estado de São Paulo (Brasil). Inicialmente, todas as amostras foram secas em estufa a 70°C para posterior análise.

## Métodos de caracterização

A composição química da amostra de bauxita e da lama vermelha foi analisada utilizando-se um espectrofotômetro de emissão em plasma indutivamente acoplado (ICP-ES) do Laboratório Acme (Analytical Laboratories LTDA, Vancouver Canadá).

A área superficial específica da amostra de lama vermelha foi obtida através da adsorção física de nitrogênio (N<sub>2</sub>) a baixas temperaturas, e foi calculada empregando o método B.E.T.<sup>(6)</sup>. Os dados de adsorção foram obtidos utilizando um equipamento Porosímetro Micromeritics ASAP 2020.

A mineralogia da amostra de lama vermelha foi obtida utilizando-se um difratômetro de raios-X Phillips X'Pert modelo MPD (PW3050/10), através da radiação k-alfa do cobre, sendo o equipamento operado a 40kV e 40mA. Os picos foram identificados a partir de dados da literatura.

Através da microscopia eletrônica de transmissão (MET) foi possível identificar a morfologia das partículas constituintes da bauxita e da lama vermelha. Para essa análise, as amostras, na forma de pó, foram preparadas sobre telas recobertas com carbono utilizadas em microscópios eletrônicos de transmissão. As preparações foram analisadas em um microscópio eletrônico de transmissão Philips CM200, operado a 200kV, que permitiu obter micrografias eletrônicas e realizar a microanálise por raios-X usando um EDS/MET.

Também foi feita a análise dessas amostras através da microscopia eletrônica de varredura (MEV), em um microscópio JEOL 840A operado a 25kV obtendo-se imagens de elétrons secundários.

## RESULTADOS E DISCUSSÕES

### Composição química

A composição química da bauxita de Poços de Caldas e da lama vermelha é apresentada na tabela 1.

Esses resultados mostram como constituintes majoritários da lama vermelha e da bauxita: Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, SiO<sub>2</sub> e TiO<sub>2</sub> e observa-se a presença de Na<sub>2</sub>O no resíduo.

Tabela 1 – Composição química da bauxita de Poços de Caldas e da lama vermelha

	<b>Bauxita (%)</b>	<b>Lama vermelha (%)</b>
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	46,93	22,87
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	14,35	27,04
SiO <sub>2</sub>	8,83	19,19
TiO <sub>2</sub>	1,86	2,98
CaO	0,05	2,17
Na <sub>2</sub> O	0,03	8,01
MnO	0,12	0,16
MgO	0,01	0,04

Pelos dados da Tabela 1 observa-se que metade da composição química da lama vermelha é constituída por óxidos de alumínio e óxidos de ferro. Ao ser comparada à lama produzida em outra planta brasileira de refino da bauxita, observa-se que as concentrações são bem diferentes<sup>(7)</sup>, demonstrando que não só a origem da bauxita, bem como o processo de refino podem produzir lamas com composições diferentes. Esse material vem sendo estudado pelo nosso grupo de pesquisa como pigmento de tintas, reagente Fenton e coagulante devido a grande presença de ferro.

Pode ser observado que o teor Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> da amostra de bauxita é inferior a 50%, porém o valor encontrado pode ser considerado elevado e a bauxita pode ser qualificada como industrial<sup>(1)</sup>. O teor de ferro medido não é prejudicial para a fabricação de alumínio metálico, mas a utilização dessa bauxita para manufatura de sulfato de alumínio e de refratários não é recomendada, uma vez que o teor de ferro é superior a 8%.

#### Área superficial específica

Foi obtida a área específica apenas para amostra de lama vermelha e o valor encontrado é de 21,6m<sup>2</sup>/g. Esse material quando calcinado a 400°C eleva a sua área específica para 39,06m<sup>2</sup>/g, provavelmente devido à formação de aluminas de transição a essa temperatura. Bons resultados vêm sendo obtidos quando se produzem adsorvedores de corante têxtil ativando esse material termicamente<sup>(8)</sup>.

#### Difração de raios-X

A figura 1 apresenta o difratograma de raios-X da amostra de lama vermelha.

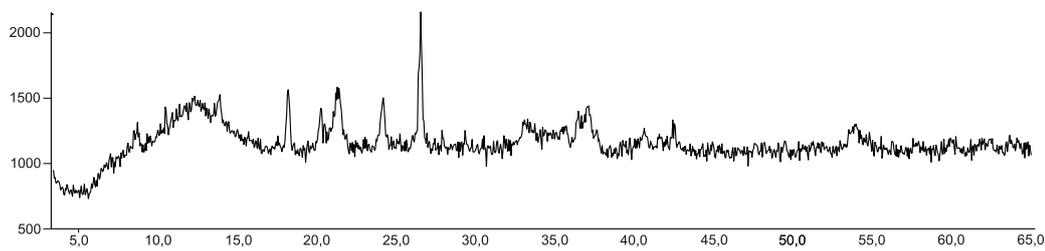


Figura 1 – DRX da Lama vermelha e das lamas tratadas termicamente

A lama vermelha apresenta como fases cristalinas: hematita, Gohetita, Gibsita, Boehmita, Quartzo, Calcita, Soldalita, Caulinita, Rutilo e silicatos de sódio e alumínio, todas fases coerentes com a análise química do material. Destaca-se que a soldalita não deve estar presente na bauxita, uma vez que este é um composto formado no Processo Bayer.

#### Caracterização por microscopia Eletrônica

A morfologia das partículas constituintes da lama vermelha observada por microscopia eletrônica de transmissão pode ser observada na figura 2. A lama é constituída por partículas de diferentes tamanhos (0,05 a 2 $\mu$ m) e formas. As partículas menores (50nm) apresentadas nessa figura foram analisadas por EDS, o que permitiu identificá-las como partículas compostas por ferro. São estas as partículas encontradas em maior número nas amostras, resultado que está de acordo com os resultados de composição química apresentado neste trabalho. A análise por EDS das outras partículas permitiu identificá-las como compostas pelos seguintes elementos: Al, Fe, Si, Ca e Ti, mostrando um bom acordo com os resultados de composição química e difração de raios-X apresentados anteriormente.

A morfologia das partículas constituintes da bauxita apresenta um grande número de partículas de formato tabular hexagonal, que devem corresponder à gibsita presente na amostra. A análise por EDS praticamente identifica as mesmas composições observadas na lama vermelha.

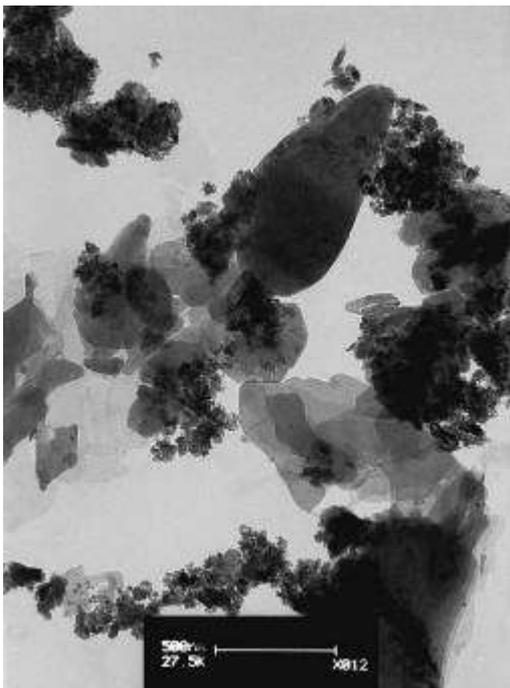


Figura 2 – Imagem de MET da lama vermelha

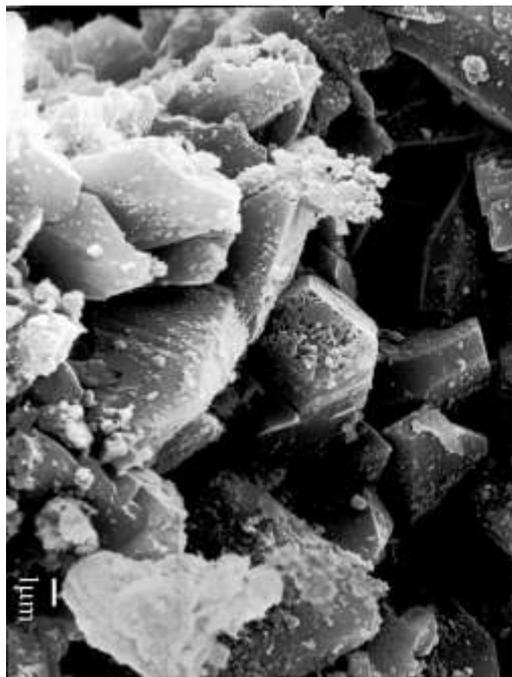


Figura 3 – Imagem de MEV da bauxita

Ao analisar a lama vermelha por microscopia eletrônica de varredura, nota-se um aglomerado de partículas de dimensões inferiores às observadas na bauxita. Quase não se encontram partículas de formato hexagonal e tabular.

A figura 3 apresenta uma imagem da amostra de bauxita vista ao microscópio eletrônico de varredura. Essa análise permite identificar partículas de dimensão de 4 a 5  $\mu\text{m}$  com formato tabular e hexagonal. Esse tipo de partícula não foi encontrado nas amostras de lama o que permite identificá-las com sendo os hidróxidos de alumínio que são extraídos no Processo Bayer.

## CONCLUSÕES

Os principais constituintes da lama vermelha produzida na cidade de Alumínio (S.P.) são óxidos de alumínio, óxidos de ferro e óxidos de silício. Sendo, portanto, um material que pode ser utilizado quando se tem interesse por esses elementos químicos ou quando se quer materiais com grandes quantidades de ferro. Apresentando potencial para ser utilizada como coagulante, catalisador, adsorvedor, pigmento e reagente Fenton.

O teor  $Al_2O_3$  da amostra de bauxita é inferior a 50%, porém o valor encontrado pode ser considerado elevado e a bauxita pode ser qualificada como industrial. Mas a utilização dessa bauxita para manufatura de sulfato de alumínio e de refratários não é recomendada, uma vez que o teor de ferro é superior a 8%.

O estudo por microscopia eletrônica permite identificar a morfologia dos hidróxidos de alumínio presentes na amostra de bauxita como partículas de formato tabular hexagonal. Já a amostra de lama vermelha apresenta uma grande quantidade de partículas de ferro de 50nm.

## AGRADECIMENTOS

FAPESP e  
FUNDUNESP

## REFERÊNCIAS

1 - SOUZA SANTOS, P. Ciência e Tecnologia de Argilas – vol. 1. São Paulo: E. Blucher, 1989.

2 – MARTIRES, R.A.C. Economia Mineral do Brasil 2009. [http://www.dnpm.gov.br/Economia Mineral do Brasil 2009](http://www.dnpm.gov.br/Economia%20Mineral%20do%20Brasil%202009), acessado em janeiro de 2012.

3 - BRAY, E.L. Bauxite and Alumina. In: U.S.G.Survey (Ed.). Mineral Commodity Summaries 2010. US Geological Survey, Washington, p.27, 2010.

4 - HIND, A.R; BHARGAVA, S.K; GROCOTT, S.C. The surface chemistry of Bayer process solids: a review. Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects, v.146, p. 359-374, 1999.

5 – MERCURY, J.M.R.; CABRAL, A.A.; PAIVA, A.E.M., ANGELICA, R.S.; NEVES, R.F.; SCHELLER, T. Thermal Behavior and evolution of the mineral phases of Brazilian red mud. J. Therm. Anal. Calorim. v. 104, p. 635-643, 2011.

6 - BRUNAUER, S.; EMMETT, P.H.; TELLER, E. Adsorption of gases in multimolecular layers. J. Am. Chem. Soc., v.60, p. 309-319, 1938.

7 – SNARS, K.; GILKES, R.J. Evaluation of Bauxite Residues (red mud) of different origins for environmental applications. Applied. Clay Sci., v.46, p. 13 – 20, 2009.

8 – ANTUNES, M.L.P., BARROS, T.R. Avaliação do potencial da lama vermelha tratada termicamente a 400°C na adsorção de corantes têxteis. In: 55º Congresso Brasileiro de Cerâmica, Porto de Galinhas, PE, 2011. Anais..., São Paulo, ABCeram, 2011.

## **BAUXITE AND BAUXITE RESIDUE, CHARACTERIZATION AND ELECTRON MICROSCOPY STUDY**

### **ABSTRACT**

Through the Bayer process, bauxite is refined and alumina is produced. In this process, a highly alkaline residue, red mud is generated and its disposal represents an environmental problem. The aim of this paper is to present the characterization of Brazilian bauxite and Brazilian red mud by: X-ray diffraction, specific surface area, chemical composition analysis by ICP-MS, transmission electron microscopy (TEM) and energy dispersive X-ray spectrometry (EDS), and scanning electron microscopy (SEM) and discuss possible applications of this residue. The results identify as a constituent of both materials:  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{TiO}_2$  and  $\text{SiO}_2$  and the presence of  $\text{Na}_2\text{O}$  in residue. The analysis by electron microscopy of Bauxite shows particles with hexagonal shape and red mud shows small particles size.

Key-words: Bauxite, alumina, red mud, electron microscopy