

**Autor:** Bruno Mendes da Rocha ([bruno.rocha.7@hotmail.com](mailto:bruno.rocha.7@hotmail.com))

**Orientador:** Prof. Dr. Carlos Roberto de Souza Filho ([beto@ige.unicamp.br](mailto:beto@ige.unicamp.br))

**INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS; DEP. DE GEOLOGIA E RECURSOS NATURAIS - UNICAMP**

**Agência Financiadora:** PIBIC/CNPQ

**Palavras-Chave:** Bauxita – Espectroscopia – Biblioteca Espectral.

## Introdução

A bauxita se forma em regiões tropicais e subtropicais por ação do intemperismo sobre rochas aluminossilicáticas. É um minério de alumínio, que corresponde a um material heterogêneo formado de uma mistura de hidróxidos de alumínio hidratados ( $[AlO_x(OH)_3 \cdot 2x]$ ,  $0 < x < 1$ ) contendo impurezas. Os principais constituintes deste material são gibbsita,  $Al(OH)_3$ , boehmita,  $AlO(OH)$  e diaspório,  $AlO(OH)$ . As proporções das três formas variam em função da localização geográfica do minério.

Na área do sensoriamento remoto, o comportamento espectral dos alvos (também chamado de assinatura espectral) está relacionado ao processo de interação entre a matéria e a radiação eletromagnética (REM) incidente. Este processo depende da estrutura atômica e molecular de cada alvo. Os elétrons dos materiais estão distribuídos em diferentes níveis energéticos, em torno dos núcleos de seus átomos. Estes níveis eletrônicos podem absorver maior ou menor quantidade da energia da REM em certas faixas do espectro eletromagnético, definindo as bandas de absorção.

Considerando a grande importância da bauxita como fonte de alumínio, este projeto tem como objetivo estudar o comportamento espectral de bauxitas de vários depósitos brasileiros, incluindo os de Poços de Caldas (MG), Barro Alto (GO), Paragominas (PA) e Itamarati (MG), visando a geração de uma biblioteca espectral de referência para essa tipologia de depósito. Para facilitar a divulgação e o compartilhamento dos espectros e dos resultados obtidos foi construída a web site que pode ser acessada através do endereço: <http://www.ige.unicamp.br/espectrobauxita/>

## Metodologia

Os estudos espectroscópicos foram centrados nas regiões do espectro refletido, incluindo o visível-VIS, infravermelho próximo-NIR e de ondas curtas-SWIR: 0.350-2.500  $\mu m$ . O equipamento utilizado para as medidas de reflectância desta região espectral foi o espectrorradiômetro **FieldSpec High-Resolution** da Analytical Spectral Devices, que opera com uma resolução espectral de 3 nm na região do VNIR, 8.5 nm na região do NIR-SWIR-1 e 6.5 nm na região do SWIR-2 (entre 2.000-2.500  $\mu m$ ). As amostras também foram submetidas a análises na região do infravermelho médio - MIR, entre 2.500  $\mu m$ -8.000  $\mu m$  ( $4000-1250\text{ cm}^{-1}$ ) e infravermelho termal - TIR, entre 8.000  $\mu m$ -15.000  $\mu m$  ( $1250-600\text{ cm}^{-1}$ ). Para estes estudos foi utilizado o espectrômetro **Nicolet 6700 FT-IR** da Thermo Scientific, que opera nas regiões MIR e TIR.

## Resultados e Discussões:

### 1. Análise espectral na região 350-2500 nm (equipamento FieldSpec® 3 Hi-Res)

O espectro ilustrado na Figura 1 (e.g. Poços de Caldas) é um bom representante de um típico espectro de bauxita brasileira tendo sido utilizado para a caracterização mais abrangente das feições que se espera encontrar neste tipo de depósito.

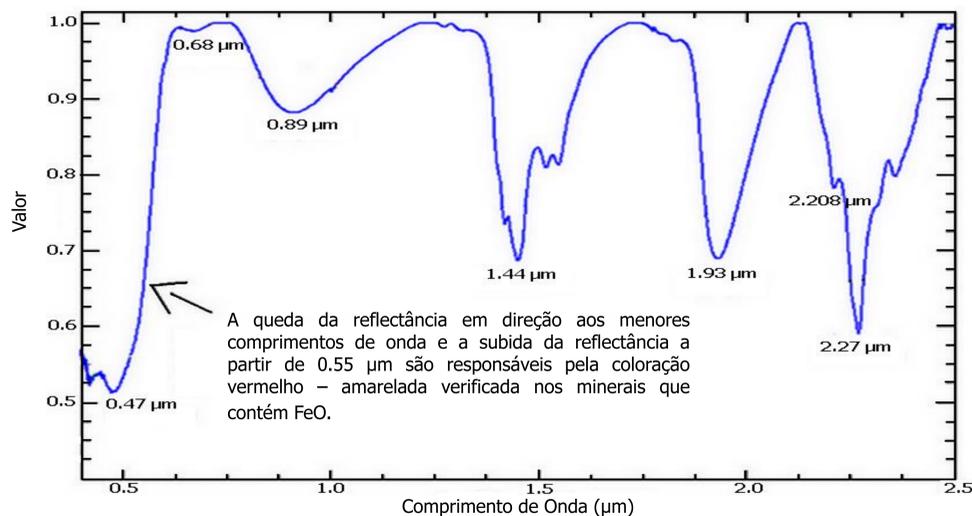


Figura 1. Curva de reflectância espectral (assinatura espectral) característica do depósito de bauxita de Poços de Caldas.

### Referências Bibliográficas:

Meneses P. R. & Netto J. S. M. 2001. *Sensoriamento remoto: reflectância dos alvos naturais*. Brasília, DF: UNB; Planaltina: Embrapa Cerrados.

Pontual S, Merry N. & Gamson P. 1997. *Spectral Interpretation Field Manual (G-MEX)*. - AusSpec International Pty. Ltd.

Russell, J.D. e Fraser, A.R. Wilson, M. J. 1994. Infrared Methods. In: *Clay Mineralogy: Spectroscopy and Chemical Determinative Methods*, 18-61.

Frost, R.L. 1998. *Clays Clay Miner.* 46 (280).

<http://www.usgs.gov/>

### Análise das feições de absorção espectral:

- **0,47  $\mu m$** : a presença de ferro na composição da amostra produz uma suave queda da refletividade na região azul do visível.
- O íon férrico produz a feição próxima a **0,90  $\mu m$**  e abaixo de **0,50  $\mu m$**  nas amostras de Poços de Caldas – MG, Paragominas – PA e Itamarati - MG devido à presença da goethita. Já para as amostras de Barro Alto – GO o íon férrico é responsável por duas absorções localizadas próximas a **0,55  $\mu m$**  e **0,87  $\mu m$** , devido principalmente à presença de hematita ao invés da goethita (que pode estar em menores proporções).
- **1,44  $\mu m$**  e **1,93  $\mu m$** : presença de moléculas de hidroxila (OH) e de água na estrutura de minerais.
- **2,207  $\mu m$** : pequena inflexão notada apenas nas amostras de Poços de Caldas e Itamarati devido à combinação do OH + Al referente à presença de caulinita.
- **2,27  $\mu m$** : a reflectância do mineral gibbsita –  $Al(OH)_3$  – mostra a mais notável banda vibracional da ligação Al-OH próximo a 2,27 micrômetros.

### 2. Análise espectral na região 2.5-25 $\mu m$ (equipamento Nicolet 6700 FT-IR)

Tomando como exemplo novamente o espectro da bauxita de Poços de Caldas (Figura 2) pode-se definir o comportamento espectral geral de um depósito de bauxita brasileiro para estes comprimentos de onda:

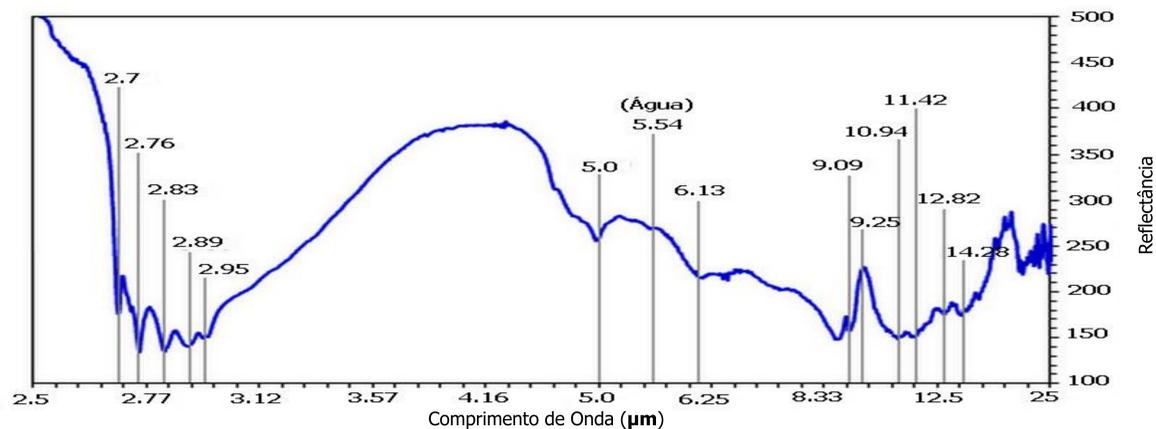


Figura 2. Curva de reflectância espectral (assinatura espectral) característica do depósito de bauxita de Poços de Caldas.

### Análise das feições de absorção espectral:

- **2.76  $\mu m$**  e **2.83  $\mu m$** : estiramento da ligação Al-O-H pertencente à gibbsita. Feições típicas da gibbsita também podem ocorrer em **2.89** e **2.95  $\mu m$** .
- Deformações do grupo hidroxila da gibbsita podem causar a formação de uma absorção secundária em **9.09  $\mu m$**  e uma relativamente forte em **5.0  $\mu m$** .
- As bandas em **10.94  $\mu m$**  e em **6.13  $\mu m$**  é atribuída ao grupo  $Al(OH)Al$  livre de ligações de hidrogênio. Correspondem à deformação do grupo interno hidroxila característico da caulinita.
- **9.25  $\mu m$** : estiramento assimétrico das ligações Si-O-Al.
- **11.42  $\mu m$** : presença de  $Fe(AlOH)$ , indicando a persistência da estrutura em folhas octaédricas do mineral de argila.
- **12.82  $\mu m$** : alongamento do grupo Si-O dentro da estrutura cristalina, caracterizando o quartzo.

Dois regiões do espectro IR, entre 2.56-3.12  $\mu m$  e 7.14-11.11  $\mu m$ , foram selecionadas para análise conjunta de minérios coletados em cada um dos depósitos estudados (Figuras 3a e 3b).

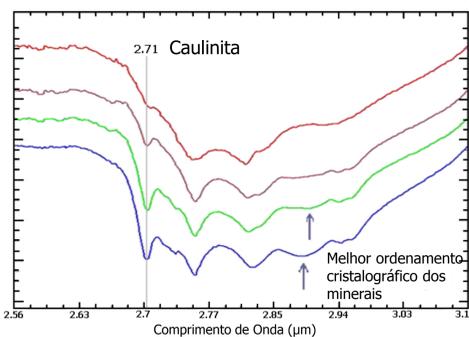


Figura 3a: Assinatura espectral na região de 2.56 e 3.12  $\mu m$ .

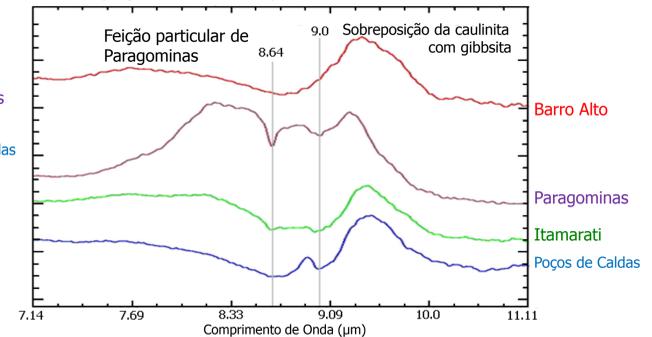


Figura 3b: Assinatura espectral na região de 7.14 e 11.11  $\mu m$ .

## Conclusão:

A espectroscopia ótica tem sido cada vez mais utilizada em estudos voltados a prospecção mineral. Entretanto, sua aplicação aos depósitos de bauxita ainda é muito restrita. Considerando-se um conjunto de amostras de minérios de alumínio coletados nos principais depósitos de bauxita brasileiros, um acervo inédito de curvas espectrais foi gerado nesse projeto entre comprimentos de onda de 0.35-25  $\mu m$ . Análises do comportamento espectral de todos os minérios nas regiões do infravermelho de ondas curtas (1.3-3  $\mu m$ ), médio (3-5  $\mu m$ ) e termal (5-25  $\mu m$ ), revelam que o principal mineral de minério é a gibbsita. Os minerais de ganga incluem caulinita e quartzo. A assinatura espectral estabelecida para os diferentes depósitos de bauxita do país podem ser utilizadas futuramente como referência para campanhas de exploração regional baseadas em sensoriamento remoto multiespectral e hiperespectral a bordo de aviões e satélites.