

# Construção de Bibliotecas Espectrais para Depósitos de Bauxita Brasileiros - Uma Referência para Prospecção e Exploração de Minérios de Alumínio por Sensoriamento Remoto Orbital e Aerotransportado

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 ( $[AlO_x(OH)_{3-x}]_0 < x < 1$ ) contendo impurezas. Os principais constituintes deste material são gibbsita ( $Al(OH)_3$ ), boehmita ( $Al(OH)_3$ ) e diaspório ( $AlO(OH)$ ).

As proporções das três formas variam em função da localização geográfica do minério. Considerando a grande importância da bauxita como fonte de alumínio, este projeto de IC, iniciado em 2010, tem como objetivo a geração de bibliotecas espectrais de referência desse minério, considerando uma amostragem em vários depósitos brasileiros, incluindo os de Poços de Caldas (MG), Barro Alto (GO), Paragominas (PA) e Itamarati (MG). As assinaturas contidas nessa biblioteca poderão servir de subsídio para campanhas de exploração regional de bauxita baseada em sensoriamento remoto multiespectral e hiperespectral a bordo de aviões e satélites.

## Metodologia

Na primeira fase da pesquisa as amostras de bauxita foram espectralmente analisadas na região do VIS, NIR e SWIR (0.35-2.5 μm) com o espetrorradiômetro FieldSpec® 3 Hi-Res e na região do MIR e TIR (2.5-25 μm) com o espetrômetro Nicolet 6700 FT-IR. Na segunda fase, as mesmas amostras foram submetidas a difração de raios-X através do equipamento D2 Phaser – Difratômetro de Raios-X, da Bruker AXS, com o procedimento de análise baseado no Método do Pó. As amostras foram observadas ainda sob MEV para a caracterização dos componentes em micro-escala.

## Resultados e Discussões

### 1. Análise espectral na região 0.35-2.5 μm (equipamento FieldSpec® 3 Hi-Res)

O espetro ilustrado na Fig. 1 (Poços de Caldas) é representativo de um típico espetro da bauxita encontrada em depósitos nacionais.

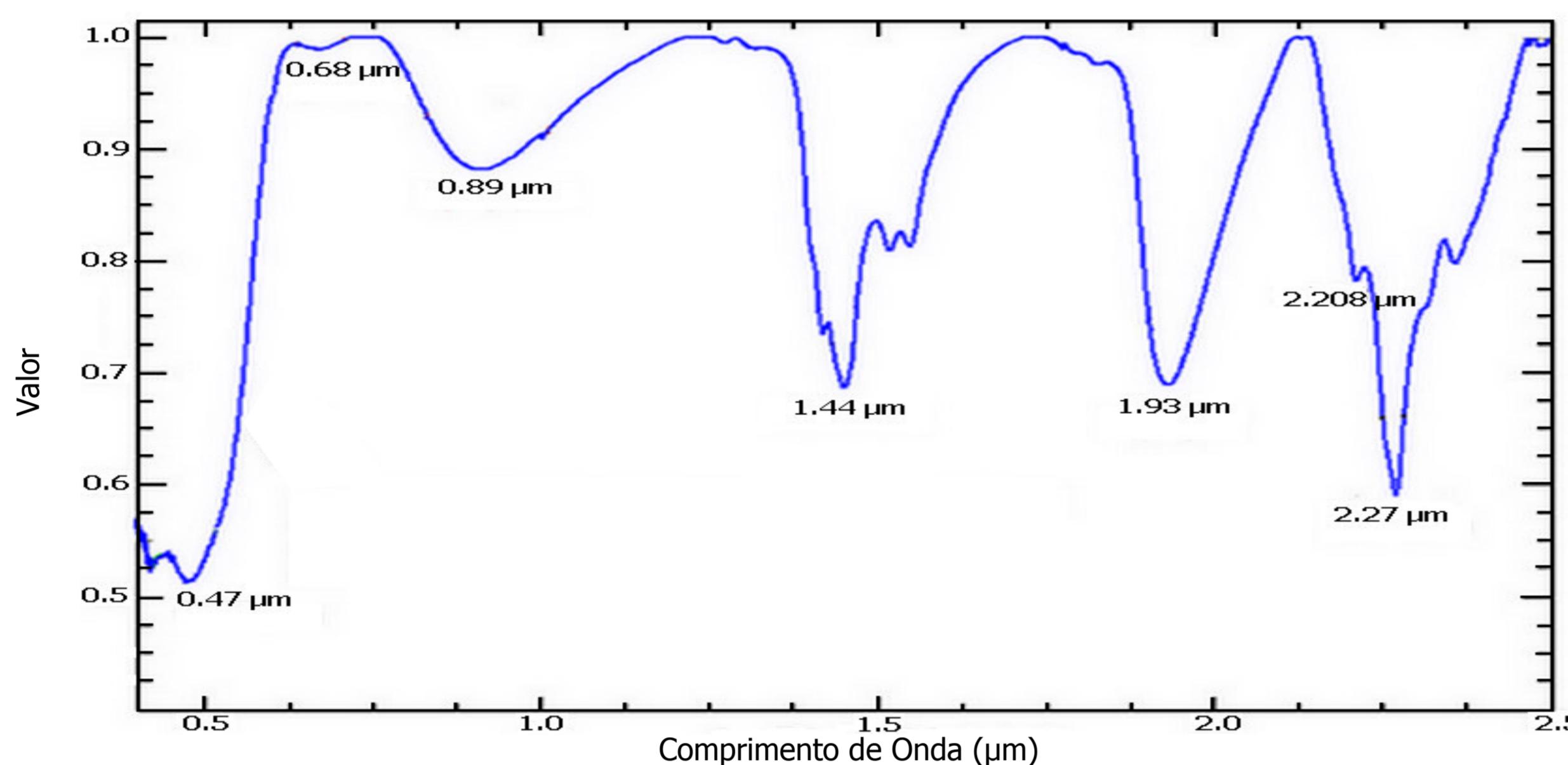


Figura 1. Curva de reflectância espectral característica do depósito de bauxita de Poços de Caldas.

• O íon férrico produz a feição próxima a **0,90 μm** e abaixo de **0,50 μm** nas amostras de Poços de Caldas, Paragominas e Itamarati devido à presença da goethita. Para as amostras de Barro Alto, o íon férrico é responsável por duas absorções localizadas próximas a **0,55 μm** e **0,87 μm**, devido principalmente à presença dominante da hematita.

• **2,208 μm**: pequena inflexão notada apenas nas amostras de Poços de Caldas e Itamarati devido à combinação do OH + Al referente à presença de caolinita.

• **2,27 μm**: reflectância do mineral gibbsita – $Al(OH)_3$ – mostra a mais notável banda vibracional da ligação Al-OH .

### 2. Análise espectral na região 2.5-25 μm (equipamento Nicolet 6700 FT-IR)

O espetro de Poços de Caldas (Fig. 2) define bem o comportamento das bauxitas brasileiras estudadas.

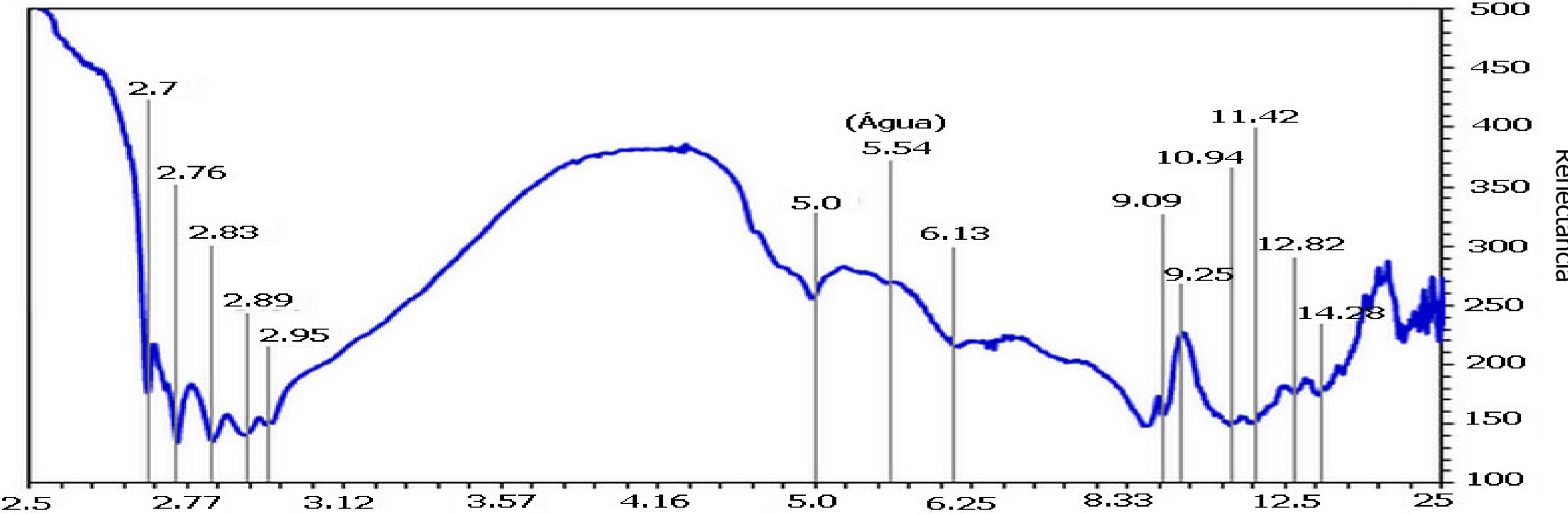


Figura 2. Curva de reflectância espectral característica do depósito de bauxita de Poços de Caldas.

## Conclusões

- As amostras de bauxitas dos quatro depósitos brasileiros aqui abordados são constituídas essencialmente por gibbsita, sendo comum também a presença de (i) goethita e hematita; (ii) minerais de alteração como a ilita, caolinita e a nacrita, (iii) além de alumino-silicatos, como é o caso da phillipsita.
- As assinaturas espectrais dos minérios apresentam suficiência de feições de absorção em comprimentos de onda e geometria específicos e profundidades variadas, o que proporciona sua identificação e estimativa de abundância relativa.
- Visto que muitas dessas feições encontram-se posicionadas em janelas atmosféricas do espetro eletromagnético entre as regiões do visível ao infravermelho termal, as assinaturas espectrais aqui estabelecidas 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.

Um website relacionado ao projeto foi desenvolvido como parte da IC e pode ser acessado através do endereço <http://www.ige.unicamp.br/espectrobauxita/>

- 2.76 μm e 2.83 μm**: estiramento da ligação Al-O-H relacionada à gibbsita. Deformações do grupo hidroxila podem causar absorções em **2.89, 2.95 μm, 9.09 μm** e em **5.0 μm**.
- As bandas em **10.94 μm** e **6.13 μm** são atribuídas ao grupo  $Al(OH)Al$  livre de ligações de hidrogênio. Correspondem à deformação do grupo interno hidroxila, característico da caolinita.
- 9.25 μm**: estiramento assimétrico das ligações Si-O-Al.
- 11.42 μm**: presença de  $Fe(AIOH)$ , indicando estrutura em folhas octaédricas do mineral de argila.
- 12.82 μm**: alongamento do grupo Si-O dentro da estrutura cristalina, caracterizando o quartzo.

### 3. Análise da Difratometria de Raio-X (equipamento D2 Phaser)

A interpretação dos difratogramas da Fig. 3 permite observar que todas as amostras são constituídas essencialmente por hidróxido de alumínio (gibbsita). A assinatura do depósito de Paragominas o destaca dos demais depósitos. Possui um pico principal bem mais intenso que o observado nos demais depósitos. Apresenta ainda feições secundárias também mais proeminente, particularmente aquelas relacionadas a presença da Bayerita (um polimorfo da gibbsita -  $\alpha-Al(OH)_3$ ).

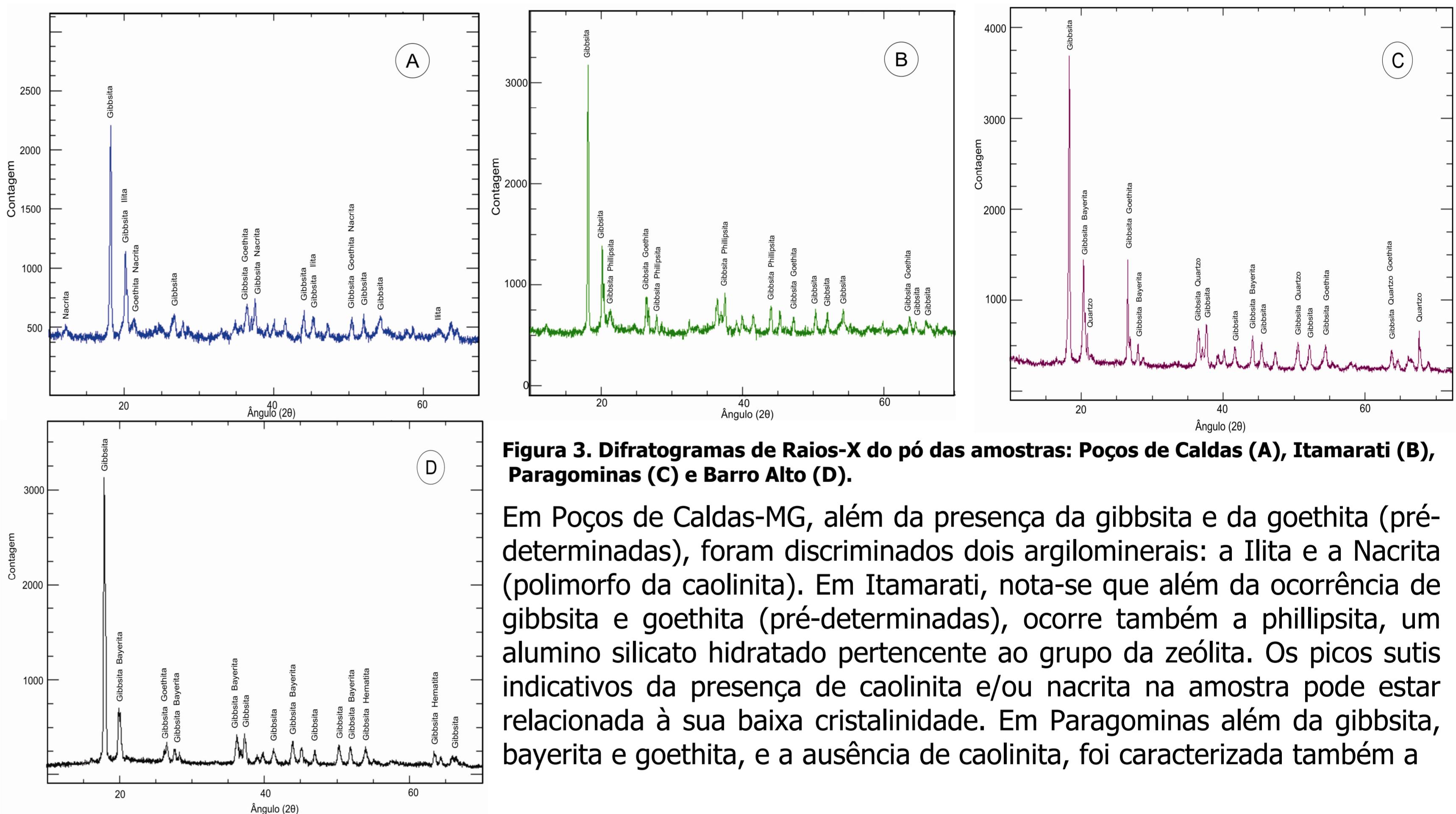


Figura 3. Difratogramas de Raios-X do pó das amostras: Poços de Caldas (A), Itamarati (B), Paragominas (C) e Barro Alto (D).

Em Poços de Caldas-MG, além da presença da gibbsita e da goethita (pré-determinadas), foram discriminados dois argilominerais: a Ilita e a Nacrita (polimorfo da caolinita). Em Itamarati, nota-se que além da ocorrência de gibbsita e goethita (pré-determinadas), ocorre também a phillipsita, um alumino silicato hidratado pertencente ao grupo da zeólita. Os picos sutis indicativos da presença de caolinita e/ou nacrita na amostra pode estar relacionada à sua baixa cristalinidade. Em Paragominas além da gibbsita, bayerita e goethita, e a ausência de caolinita, foi caracterizada também a

presença de quartzo (picos em 21 e 67 graus). Na amostra de Barro Alto foram identificados hematita, goethita, gibbsita e bayerita, com picos bem definidos desses dois últimos. Tal como em Paragominas, a caolinita não foi determinada em Barro Alto.

### 4. Análises com o Microscópio Eletrônico de Varredura (MEV)

Algumas particularidades dos depósitos puderam ser identificadas apenas com análise via MEV, sendo portanto, fundamental na definição mineralógica de cada amostra (Tabela 1). No caso de Poços de Caldas (Fig. 4), por exemplo, foi possível a identificação do rutilo ( $TiO_2$ ) e monazita ( $(Ce,La,Nd,Th)PO_4$ ). Em Itamarati (Fig. 5), o titânio está na composição da goethita. A análise da amostra de Paragominas (Fig. 6) mostra que a rocha é constituída essencialmente por gibbsita e quartzo. Já em Barro Alto (Fig. 7), o titânio está associado à hematita.

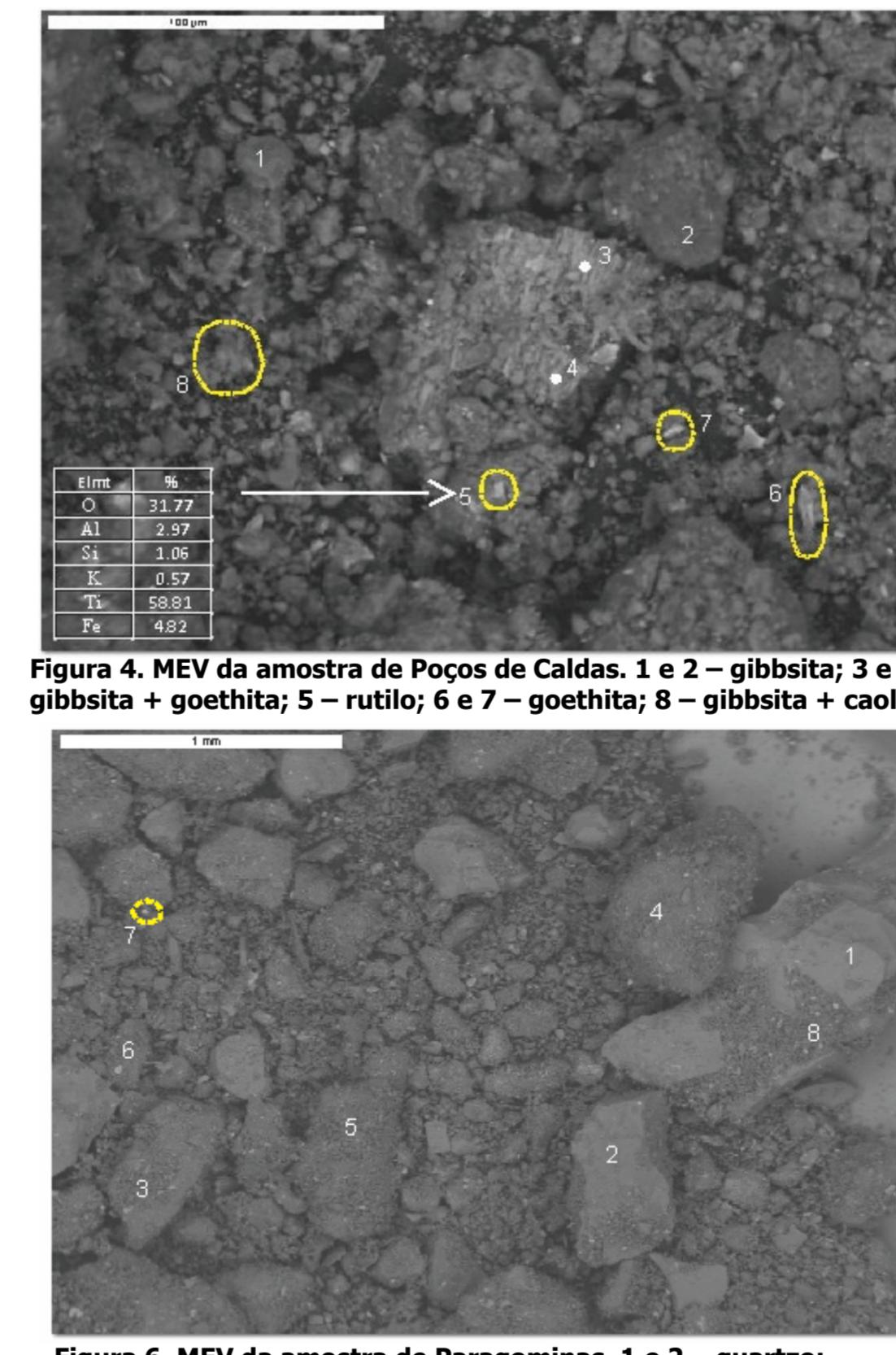


Figura 4. MEV da amostra de Poços de Caldas. 1 e 2 – gibbsita; 3 e 4 – gibbsita + goethita; 5 – rutilo; 6 e 7 – goethita; 8 – gibbsita + caolinita.

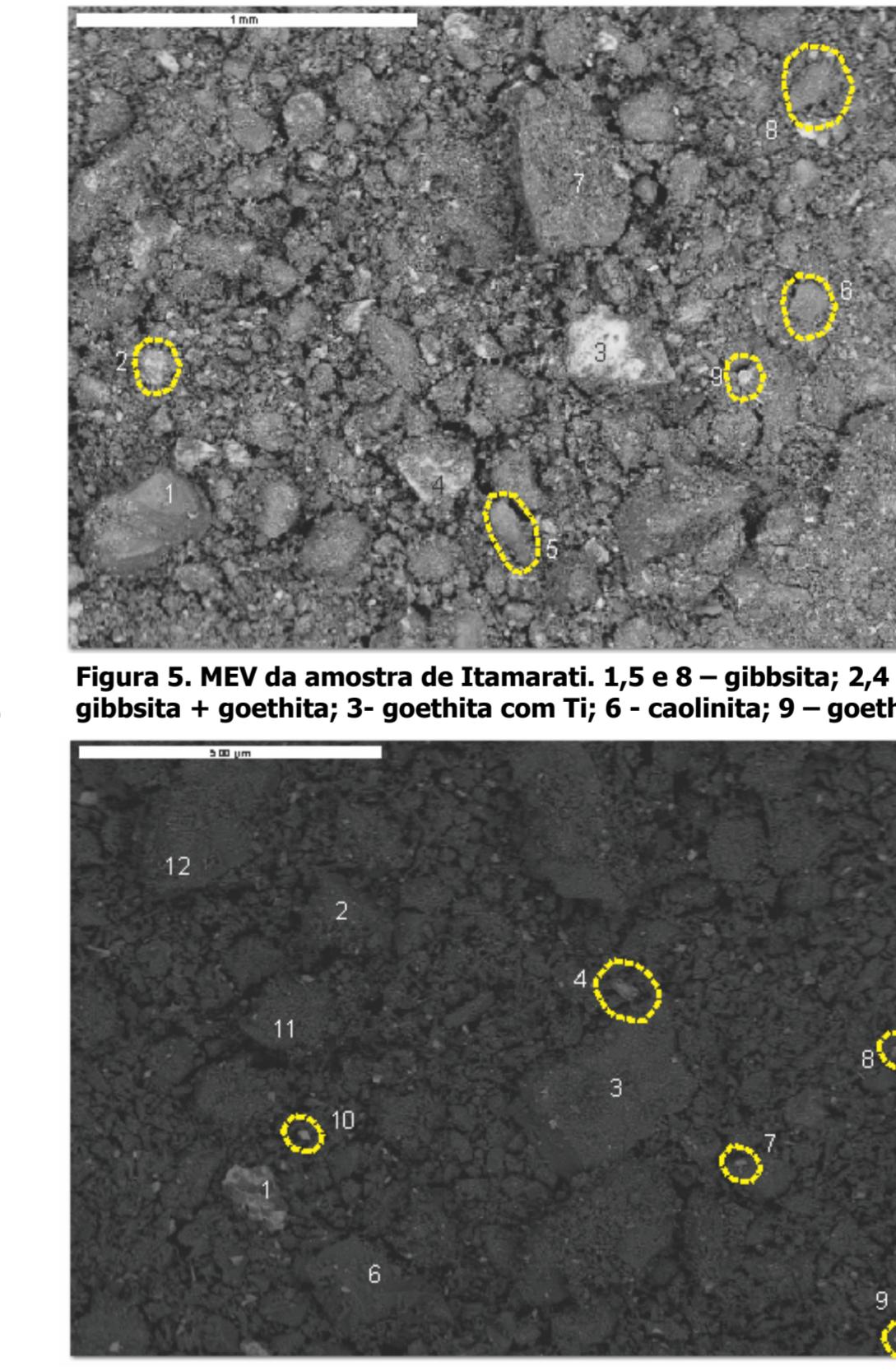


Figura 5. MEV da amostra de Itamarati. 1,5 e 8 – gibbsita; 2,4 e 7 – gibbsita + goethita; 3 – goethita com 11; 6 – caolinita; 9 – goethita.

Tabela 1. Síntese da mineralogia dos depósitos de bauxita.

Poços de Caldas - MG	Fórmula Química
Gibbsita	$Al(OH)_3$
Goethita	$FeO(OH)$
Caolinita	$Al_2Si_3O_{10}(OH)_4$
Ilita	$K_{1-1}Al_4Si_6O_{17}Al_{1-1}O(OH)_4$
Nacrita	$Al_2Si_3O_{10}(OH)_4$
Rutilo	$TiO_2$
Monazita	$(Ce,La,Nd,Th)PO_4$

Itamarati - MG	Fórmula Química
Gibbsita	$Al(OH)_3$
Goethita	$FeO(OH)$
Caolinita	$Al_2Si_3O_{10}(OH)_4$
Phillipsita	$(K_2,Na_2,Ca)Al_2Si_3O_{12}H_2O$

Paragominas - PA	Fórmula Química
Gibbsita	$Al(OH)_3$
Goethita	$FeO(OH)$
Quartzo	$SiO_2$

Barro Alto - GO	Fórmula Química
Gibbsita	$Al(OH)_3$
Hematita	$Fe_2O_3$
Goethita	$FeO(OH)$

## Referências Bibliográficas

- Bleicher L. & Sasaki J.M. 2000. *Introdução à Difração de Raios-X em Cristais*. Universidade Federal do Ceará.
- Frost, R.L. 1998. *Clays Clay Miner.* 46 (280).
- Geselbracht, M. J. & College R. 2008. *Introduction to X-ray Powder Diffraction*.
- Pontual S, Merry N. & Gamson P. 1997. *Spectral Interpretation Field Manual (G-MEX)*. - AusSpec International Pty. Ltd.