



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ  
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOLOGIA E GEOQUÍMICA**

---

**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO Nº 495**

**QUÍMICA, MICROMORFOLOGIA E REFINAMENTO POR  
RIETVELD DAS FASES MINERAIS DA ARGILA DE  
BELTERRA EM RONDON DO PARÁ**

**Dissertação apresentada por:**

**LEONARDO BOIADEIRO AYRES NEGRÃO**

**Orientador: Prof. Dr. Marcondes Lima da Costa (UFPA)**

**Coorientador: Prof. Dr. Dr. Herbert Pöllmann (Universidade Martin-Luther Halle-Wittenberg, Alemanha)**

---

**BELÉM  
2017**

Dados Internacionais de Catalogação de Publicação (CIP)  
Biblioteca do Instituto de Geociências/SIBI/UFPA

---

Negrão, Leonardo Boiadeiro Ayres, 1992-

Química, micromorfologia e refinamento por Rietveld das fases minerais da Argila de Belterra em Rondon do Pará / Leonardo Boiadeiro Ayres Negrão. – 2017.

xii, 76 f. : il. ; 30 cm

Inclui bibliografias

Orientador: Marcondes Lima da Costa

Coorientador: Herbert Pöllmann

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Pará, Instituto de Geociências, Programa de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica, Belém, 2017.

1. Bauxita - Amazônia. 2. Argila - Amazônia. 3. Caulinita – Amazônia. 4. Método Rietveld. I. Título.

CDD 22. ed. 549.5309811

---



**Universidade Federal do Pará**  
**Instituto de Geociências**  
**Programa de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica**

**QUÍMICA, MICROMORFOLOGIA E REFINAMENTO POR  
RIETVELD DAS FASES MINERAIS DA ARGILA DE  
BELTERRA EM RONDON DO PARÁ**

**DISSERTAÇÃO APRESENTADA POR:**

**LEONARDO BOIADEIRO AYRES NEGRÃO**

**Como requisito parcial à obtenção do Grau de Mestre em Ciências na Área de  
GEOQUÍMICA E PETROLOGIA**

**Data de Aprovação: 20 / 02 / 2017**

Banca Examinadora:

---

Prof. Dr. Marcondes Lima da Costa  
(Orientador – UFPA)

---

Prof. Dr. Oscar Jesus Choque Fernandez  
(Membro – IFPA)

---

Prof. Dr. Henrique Kahn  
(Membro – USP)

## AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus pela proteção e mantimento de fé que ajudou a enfrentar os desafios diários à realização deste trabalho;

À minha amada família, em especial aos meus pais Celso e Terezinha e meus irmãos Jaqueline e Alécio, e à minha namorada, Gabriela;

Aos professores Dr. Marcondes Lima da Costa e Dr. Herbert Pöllmann, pela oportunidade, pelas correções, sugestões, direcionamento e por servirem de exemplo na vida acadêmica;

Ao Conselho Nacional de Pesquisa (CNPq) pela bolsa de estudos concedida e à empresa Votorantim Metais por ter concedido acesso às áreas de pesquisa e por todo o suporte de campo;

A todo o programa de Pós-graduação em Geologia e Geoquímica (PPGG) da UFPa, pela infraestrutura e apoio, em especial a secretária Cleida Freitas e aos professores Dr. Rômulo Angélica e Dr.<sup>a</sup> Simone Paz;

Aos queridos amigos do Grupo de Mineralogia e Geoquímica Aplicada (GMGA) da UFPa, especialmente ao Pablllo Santos, Priscila Gozzi, Laís Aguiar, Daiveson Abreu, Davis Castro, Suyanne Rodrigues, Gisele Marques, Alessandro Leite, Glayce Valente, Heliana Pantoja, Maria do Socorro Progene, Fernanda Sobrinho, Patrícia Pinheiro e José Diogo pelo companheirismo e suporte;

Ao Laboratório de Geoquímica do Instituto de Geociências da UFPA, em especial ao químico Msc. Natalino Valente, e ao Laboratório de Microanálises e Laboratório de Caracterização mineral (LCM);

Ao grupo de pesquisa e amigos do laboratório de mineralogia da universidade de Martin-Luther Halle-Wittenberg;

A todos que direta ou indiretamente contribuíram com a realização desta dissertação.

*“A persistência é o menor caminho do êxito”*

**Charles Chaplin**

## RESUMO

Depósitos de bauxitas na região amazônica são comumente cobertos por argilas de coloração amarelada ou avermelhada que podem chegar a 25 m de espessura, denominadas de Argila de Belterra (ABT), termo atribuído a esse material após Sombroek em 1966 descrever argilas similares, porém sem relação com as bauxitas, na região de Belterra, Baixo Amazonas. Em Rondon do Pará, as ABTs possuem entre 10 e 13 m de espessura e cobrem reservas de bauxita de classe mundial. Amostras representativas da ABT de três lavras piloto de bauxita (Branco, Décio e Ciríaco), foram estudadas. A ABT sotopõe perfis laterítico-bauxíticos que consistem em horizontes bem definidos, da base para o topo compostos por: argila bauxítica, seguida por bauxita maciça, crosta ferroaluminosa maciça, crosta ferroaluminosa desmantelada, esferólitos ferruginosos e um horizonte com nódulos bauxíticos tipo *popcorn* envoltos por matriz argilosa. Em contato discordante e ondulado com o perfil laterítico sotoposto, a ABT é marrom avermelhada na base indo a tons amarelados em direção ao topo, apresenta aspecto homogêneo sem estruturas sedimentares visíveis, silte-argilosa e com fragmentos de bauxita porcelanada (tipo *popcorn*) em sua base. A composição mineral do material é dominada por caulinita, com Al-goethita, gibbsita, hematita, anatásio e quartzo residual. A razão  $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$  em torno de 1,05 é menor que a teórica de caulinita (1,178), confirmando a existência de gibbsita e ainda Al-goethita. Conforme observado por DRX a caulinita é de baixa ordem estrutural, evidenciado pela baixa distinção do triple localizado na região  $19\text{-}22^\circ 2\theta$  (ânodo de Cu) e por esse mineral não ter correlação satisfatória com nenhum modelo estrutural ICSD de caulinita, o que foi considerado a principal dificuldade de aplicação do método de Rietveld. A Al-goethita possui cerca de 32% mol de Al e é responsável pela tonalidade ocre/amarelada da ABT. Esse mineral associado à hematita e a hidróxido de Fe amorfo (até 0,5% de Fe) é responsável por teores de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  de até 13%. Quartzo raramente excede 1% e consiste em fragmentos em meio a matriz argilosa. Anatásio se apresenta em teores entre 2,4 e 2,8%. Conforme observado sob MEV, excetuando-se o quartzo, os minerais constituem cristais pseudo-hexagonais medindo entre 150 e 700 nm. O comportamento térmico do material confirma sua composição mineralógica e, a quantificação mineral a partir de análises termogravimétricas, está de acordo com as obtidas pelo método de Rietveld e por estequiometria (FRX), embora uma correlação precisa entre os métodos seja ainda inviável.

**Palavras-chave:** Bauxita; Argila; Belterra; Amazônia; Caulinita; Rietveld.

## ABSTRACT

Bauxite deposits in the Amazon region are commonly covered by yellowish or reddish clays that can reach up to 25m thick, known as Belterra Clay (BC), term attributed after Sombroek in 1966 describe similar clays, but not related to bauxites in the region of Belterra, Lower Amazon. In Rondon do Pará, the BC has between 10 and 13 m thick, covering world-class bauxite reserves. Representative samples of BC from three pilot bauxite mines (Branco, Décio and Ciríaco) in Rondon do Pará were studied. The BC covers laterite-bauxite regoliths with well-defined horizons. From the basis to the top, they are composed of: bauxite clay, followed by massive bauxite, massive iron-aluminous crust, dismantled iron-aluminous crust, ferruginous spherulites, and a horizon with bauxite nodules in a clayey matrix. In discordant contact with the lateritic profile, the BC has reddish brown colors at the base, with yellowish tones towards the top. It has a homogeneous appearance with no visible sedimentary structures, silt-clayey aspect and with fragments of porcelain bauxite (popcorn like) at its base. The mineral composition of the material is dominated by kaolinite, with Al-goethite, gibbsite, hematite, anatase and residual quartz. The  $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$  ratio of about 1.050 is lower than the theoretical kaolinite (1.178), confirming the existence of gibbsite and even Al-goethite as aluminum carrier. As observed by X-ray diffraction analysis, kaolinite is of low structural order, evidenced by the low distinction of the diffraction bands at the 19-22°  $2\theta$  (Cu anode) region and because this mineral has no satisfactory correlation with any structural model of kaolinite, which was considered the principal difficulty in the application of the Rietveld method. Al-goethite has about 32 mol% of Al and is responsible for the ocher / yellowish color of the BC. This mineral associated with hematite and amorphous iron hydroxide (up to 0.5% Fe) is responsible for up to 13% of  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  contents. Quartz rarely exceeds 1% as fragments in the clayey matrix. Anatase has concentrations between 2.4 and 2.8%. As observed by SEM, with the exception of quartz, the minerals represent pseudo-hexagonal crystals measuring from 150 to 700 nm. The thermal behavior of the material confirms its mineralogical composition. Its mineral quantification by thermogravimetric analyzes is in accordance with the Rietveld method and stoichiometric (FRX) results, despite a precise correlation between these methods was unfeasible.

**Keywords:** Bauxite; Clay; Belterra; Amazon; Kaolinite; Rietveld.