



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

---

**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO Nº 516**

**GÊNESE DAS BAUXITAS NODULARES DO PLATÔ  
MILTÔNIA-3, PARAGOMINAS - PA**

**Dissertação apresentada por:**

**WALDIRNEY MANFREDI CALADO**

**Orientador: Prof. Dr. Rômulo Simões Angélica (UFPA)**

---

**BELÉM  
2017**

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

---

Calado, Waldirney Manfredi 1974 -

As bauxitas nodulares do Platô Miltônia-3, Paragominas-PA. /  
Waldirney Manfredi Calado. – 2017.

xix, 70 f : il. ; 30 cm

Inclui bibliografias

Orientador: Rômulo Simões Angélica

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

1. Bauxita – Paragominas (PA). 2. Mineralogia. 3. Laterita –  
Paragominas (PA). I. Título.

---

CDD 22. ed.: 549.53098115

Elaborada por  
Lucia de Fátima Imbiriba de Sousa  
CRB-2/652



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

**GÊNESE DAS BAUXITAS NODULARES DO PLATÔ  
MILTÔNIA-3, PARAGOMINAS - PA**


**DISSERTAÇÃO APRESENTADA POR:**

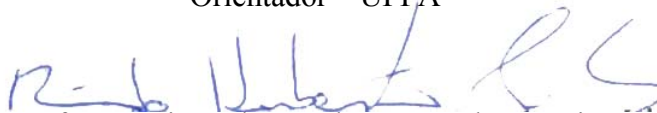
**WALDIRNEY MANFREDI CALADO**


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

**Data de Aprovação: 12 / 12 / 2017**

Banca Examinadora:

  
Prof. Dr. Rômulo Simões Angélica  
Orientador – UFPA

  
Prof. Dr. Raimundo Humberto Cavalcante Lima  
Membro – UFAM

  
Prof. Dr. Marcondes Lima da Costa  
Membro – UFPA

*Aos meus amados filhos Júlia, Manuela, Saulo e Felipe.  
A minha incentivadora e esposa, Larissa.  
Aos meus Pais Waldir e Hermelina.*

## AGRADECIMENTOS

A Deus, que por sua infinita misericórdia me permitiu alcançar este objetivo. Glória ao Senhor!

A Larissa minha esposa, mãe dedicada, profissional competente, minha maior incentivadora e maior credora de paciência, pois sem seu precioso apoio não seria possível alcançar este objetivo.

As minhas amadas filhas Júlia e Manuela, aos meus filhos amados Saulo e Felipe por serem a razão de melhoria contínua, pessoal e profissional.

Aos meus pais, Waldir e Hermelina, que fizeram todo o possível para dar a mim e minhas irmãs educação, exemplo de virtudes e valores que balizam minha vida.

Ao Prof. Dr. Daniel Lima Sousa, pela amizade, tempo dedicado e precioso no apoio de revisão deste trabalho.

Ao Prof. Dr. Rômulo Simões Angélica, pela confiança, cobranças, oportunidade de aprendizagem e desenvolvimento acadêmico e profissional.

A todos os amigos e colegas que compartilharam este período de aprendizagem no programa de pós-graduação do Instituto de Geociências da UFPA.

Aos amigos geólogos contemporâneos de 1994, ano em que ingressei na UFPA para estudar Geologia, com alguns dos quais tive o privilégio de trabalhar e conviver profissionalmente, além de compartilhar, até os dias atuais, bons momentos de amizade, apoio e coleguismo: Klabin Almeida, Walber Carvalho, Davis Carvalho, Leonardo Brazil, Francisco Costa e a todos que, mesmo não sendo citados aqui, não foram esquecidos.

A empresa Hydro Paragominas S.A. pelo aprendizado e crescimento profissional no período em que trabalhei, além da base de dados cedida para o desenvolvimento deste trabalho.

*“Eu calço é 37,  
meu pai me dá 36,  
dói, mas no dia seguinte  
aperto o meu pé outra vez.  
Eu aperto o meu pé outra vez!...”*

*Sapato 36 - Raul Seixas - 1977*

## RESUMO

Existem dois níveis de bauxitas distintos no platô Miltônia-3 localizado na Província Bauxitífera de Paragominas-PA. Estes níveis estão separados por um horizonte de laterita ferruginosa (LF) pseudopsolítica a concrecionária que marca um hiato entre dois ciclos distintos de formação do perfil bauxítico atual. As bauxitas do nível superior (2° ciclo de formação) possuem características nodulares a concrecionárias e as do nível basal (1° ciclo de formação) composto por uma bauxita concrecionária (BC) mais íntegra fisicamente somado a outro nível de bauxita mais friável com porções argilosas para a sua base (BCBA). Percebeu-se tratar da Bauxita Nodular Concrecionária (BNC) localizada no nível superior, de horizonte enriquecido em gibbsita, com baixos teores de sílica reativa e ferro, teores esses muito semelhantes àqueles encontrados no horizonte do principal minério de bauxita (BC) do perfil. Em observações de campo, nas frentes de lavra e nos testemunhos de sondagem constatou-se que esta BNC é uma gradação do horizonte de Bauxita Nodular (BN) acima. Essa gradação é observada pelo aumento do tamanho dos nódulos bauxíticos, onde os seus pseudopisólitos Fe-gibbsíticos intercrescem por coalescência, diminuindo os teores de ferro e sílica disseminados marcados pela mudança de coloração, passando de amarelo-lilás, até atingir uma coloração vermelho-alaranjado a ocre, à medida que se avança na profundidade. Nota-se também marcante diminuição até o completo desaparecimento dos pseudopisólitos Al-ferruginosos, além da diminuição do volume de argila gibbsítica-caulinítica neste nível. Com base nos estudos como petrografia macroscópica e microscópica, MEV/EDS, DRX e análises químicas, além de Análise de Componentes Principal (ACP) e estatística descritiva, foram desenvolvidas duas propostas de modelos de evolução sobre a gênese do nível superior de bauxitas nodulares deste depósito laterítico-bauxítico, considerando: Modelo (1) - Origem a partir da degradação das bauxitas originais (1° Ciclo), relacionadas a um 2° Ciclo de Lateritização que consiste na preexistência da bauxita matura (BC), sobreposto pela LF, que foi recoberto por “Argila de Belterra”. Este novo nível nodular imposto (BN), ocorre pelo processo de coalescência onde houve a junção da fase aluminosa residual, resultante da migração do Fe e Si em solução para fora deste nível e pela migração do Al dos níveis vizinhos acima do capeamento (CAP) e abaixo deste de LF e BC, formando e concentrando em larga escala a gibbsita preferencialmente e secundariamente a caulinita. Com a contínua evolução deste nível de BN, observa-se um amadurecimento da porção basal deste nível, formando a BNC cujos nódulos estão intercrescidos, se conectando localmente, consumindo os níveis vizinhos acima da BN e os níveis abaixo de LF e BC, até o total consumo destes;

Modelo (2) - Sua origem a partir de um 2º Ciclo de Lateritização, porém a partir de uma deposição sedimentar posterior sobre o perfil laterítico do 1º Ciclo. Com a exposição de uma rocha fonte como um plúton granitóide (Granito Cantão, Japiim, Jonasa, Ourém e Ney Peixoto do Neoproterozóico), gnaiss (embasamento cristalino arqueano) ou sedimentos siliciclásticos (Formações Itapecuru e Ipixuna do Cretáceo Superior), cuja degradação intempérica possibilitou a geração de sedimentos de natureza argilosa preferencialmente caulínica durante o Paleógeno até o início do Oligoceno?. Houve a migração de Fe, Si, Ca, Na, etc. para fora deste nível, preservando e concentrando *in situ* o Al e O, além do Si residual. O processo de coalescência permitiu a junção da fase aluminosa residual, concentrando preferencialmente gibbsita e secundariamente caulinita, fechando o primeiro ciclo de formação de bauxita. Em seguida houve um soerguimento regional, seguido por processos erosivos que possibilitaram a exposição deste perfil bauxítico anteriormente formado, sob clima sazonal, com abundância de água meteórica e intensa insolação se intercalando, onde se desenvolveu a LF, de ocorrência regional marcando um hiato entre os ciclos de formação destas bauxitas. Nova movimentação regional de rebaixamento, que possibilitou a deposição de sedimentos de origem siliciclástica, que serviram de rocha fonte para um novo ciclo de formação de bauxita durante o Mioceno Superior. Podem ser as mesmas rochas cuja degradação física e química forneceram os sedimentos para o 1º ciclo de formação de bauxitas. Repetindo o processo de coalescência da fase aluminosa residual, com o desenvolvimento em larga escala preferencialmente da gibbsita e secundariamente caulinita, fechando o segundo ciclo de formação de BN e BNC.

Palavras-chave: Bauxita. Concreções. Evolução. Lateritização. Amazônia.



## ABSTRACT

There are two distinct levels of bauxites on the Miltônia-3 plateau located at the Bauxite Province of Paragominas-PA. These levels are separated by a pseudopsolitic to concretionary ferruginous laterite (FL) horizon, marking a hiatus between two distinct cycles of the current bauxite profile formation. The bauxites of the upper level (2nd cycle of formation) have nodular to concrete characteristics whereas those of the basal level (1st cycle of formation) are composed by a more physically complete concrete bauxite (CB) added by another level of a more friable bauxite with clayey portions for its base (concrete bauxite with clayey bauxite - CBCB). It was noticeable the CNB located at the upper level of gibbsite-enriched horizon with low reactive silica and iron contents, which are very similar to those found on the horizon of the main bauxite ore (CB) of the profile. In field observations, on the survey fronts and in the drill holes it was found that this CNB is a gradation of the above Nodular Bauxite (NB) horizon. This gradation is observed by the increase in the size of the bauxite nodules, where their Fe-gibbsite pseudopsolites grows up by coalescence, decreasing the diffused iron and silica contents marked by the change in color from lilac-yellow to a red-orange color, to ocher, in higher depths. It is also noticeable a decrease until the complete disappearance of the Al-ferruginous pseudopsolites, in addition to the decrease of the volume of gibsytic-kaolinite clay at this level. Based on this study using macroscopic and microscopic petrography, SEM/EDS, XRD and chemical analysis, as well as Principal Component Analysis (PCA) and descriptive statistics, two evolution model proposals were developed on the genesis of the upper level of nodular bauxites of this lateritic-bauxite deposit, considering: Model (1) - Origin from the degradation of the original bauxites (1st Cycle), related to a 2nd Lateritization Cycle which consists of the preexistence of mature bauxite (CB), overlapped by FL, which was covered by "Belterra Clay". This new nodular level (NB) occurs through the coalescence process whereby the residual aluminous phase junction occurred, resulting from the migration of Fe and Si in solution out of this level and by the migration of the neighboring levels above the clayey overburden (CAP) and below that of FL and CB, forming and concentrating large scale gibbsite preferably and secondarily to kaolinite. With the continuous evolution of this level of NB, a maturation of the basal portion of this level is observed, forming the CNB whose nodules are interincreased, connecting locally, consuming neighboring levels above NB and levels below FL and CB, up to the total consumption of these; Model (2) - Its origin from a 2nd Lateritization Cycle, however from a later sedimentary deposition on the lateritic profile of the 1st Cycle. With the exposure of a source rock as a granitoid pluton (Cantão,

Japiim, Jonasa, Ourém and Ney Peixoto of Neoproterozoic granites), gneiss (Archaean crystalline basement) or siliciclastic sediments (Itapecuru and Ipixuna Formations of the Upper Cretaceous), whose weathering degradation made it possible the generation of sediments of clayey nature preferentially kaolinite during the Paleogene until the beginning of the Oligocene. Migration of Fe, Si, Ca, Na, etc. occurred outside this level, preserving and concentrating the Al and O *in situ*, in addition to the residual Si. The process of coalescence allowed for the addition of the residual aluminous phase, preferentially concentrating the gibbsite and secondarily kaolinite, closing the first cycle of bauxite formation. Thereafter, there was a regional upwelling, followed by erosive processes that allowed for the exposure of this previously formed bauxite profile, under a seasonal climate, with an abundance of meteoric water and intense intercalated insolation, where the FL developed, of regional occurrence marking a hiatus between the formation cycles of these bauxites. New regional retraction movement, which allowed for the deposition of sediments of siliciclastic origin, which served as source rock for a new bauxite formation cycle during the Upper Miocene. They may be the same rocks from which physical and chemical degradation provided sediments for the 1st cycle of bauxite formation. Repeating the coalescence process of the residual aluminous phase, with the large scale development preferably of the gibbsite and secondarily kaolinite, closing the second cycle of NB and CNB formation.

Key words: Bauxite. Concretions. Evolution. Lateritization. Amazônia.