



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

---

**TESE Nº 162**

**APLICAÇÃO DE RESÍDUOS DA MINERAÇÃO DE BAUXITA NA  
SÍNTESE DE GEOPOLÍMEROS**

**Tese apresentada por:**

**IGOR ALEXANDRE ROCHA BARRETO**

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

---

**BELÉM- PARÁ  
2022**

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) de acordo com  
ISBD Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal do Pará  
Gerada automaticamente pelo módulo Ficat, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)**

---

- B273a Barreto, Igor Alexandre Rocha.  
Aplicação de resíduos da mineração de bauxita na síntese  
degeopolímeros / Igor Alexandre Rocha Barreto. — 2022.  
xii, 110 f. : il. color.
- Orientador(a): Prof. Dr. Marcondes Lima da Costa  
Tese (Doutorado) - Universidade Federal do Pará, Instituto  
de Geociências, Programa de Pós-Graduação em Geologia e  
Geoquímica, Belém, 2022.
1. Argila de Belterra. 2. Argila de lavagem da bauxita.  
3. Geopolímero. 4. Caulinita. 5. Metacaulinita. I. Título.

CDD 551.9

---



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

**APLICAÇÃO DE RESÍDUOS DA MINERAÇÃO DE BAUXITA NA  
SÍNTESE DE GEOPOLÍMEROS**


**TESE APRESENTADA POR:**

**IGOR ALEXANDRE ROCHA BARRETO**

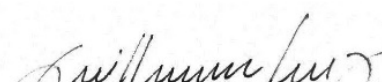
**Como requisito parcial à obtenção do Grau de Doutor em Ciências na Área de  
GEOQUÍMICA E PETROLOGIA, Linha de Pesquisa MINERALOGIA E  
GEOQUÍMICA.**


**Data de Aprovação: 08 / 04 / 2022**


**Banca Examinadora:**

  
Prof. Dr. Marcondes Lima da Costa  
Orientadora – UFPA

  
Prof. Dr. Herbert Pöllmann  
Membro – Martin-Luther Univ. Halle

  
Prof. Dr. Guilherme Frederico Bernardo L. e Silva  
Membro – USP

  
Prof. Dr. José Roberto Zamian  
Membro – UFPA

  
Prof. Dr. Rômulo Simões Angélica  
Membro – UFPA

A Deus,  
Aquele que é o maior responsável por todas as  
conquistas alcançadas no decorrer da minha vida;

A minha mãe, Nelma Franco Rocha da Silva, e aos meus  
avós, Neide Costa Franco Rocha e João Silva Rocha (*in  
memoriam*),

Por terem me proporcionado acesso à educação;  
Por todo amor;  
Por todo incentivo.

## AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior -Brasil (CAPES)Código de Financiamento 001;

Ao professor Dr. Marcondes Lima da Costa, pela orientação, paciência e todo esforço para proporcionar as ferramentas analíticas e os recursos financeiros necessários para o que todos resultados possam ser alcançados até a defesa final;

Ao Programa de Pós-graduação em Geologia e Geoquímica (PPGG) da Universidade Federal do Pará (UFPA) pela da infraestrutura laboratorial e pelos recursos financeiros;

A empresa Mineração Paragominas S.A (Hydro) por todo suporte financeiro e fornecimento da amostra de Argila de Lavagem da Bauxita;

A empresa Votorantim Metais por todo apoio e concessão da amostra de Argila de Belterra;

Aos técnicos do Instituto de Geociências (IG) da Universidade Federal do Pará (UFPA), pelo apoio nos testes iniciais;

Aos técnicos da biblioteca do Instituto de Geociências (IG) da Universidade Federal do Pará (UFPA), pelas orientações e suporte na adequação do texto as normas do Programa de Pós-graduação em Geologia e Geoquímica (PPGG);

A professora Thais Sanjad pelo apoio na preparação das amostras;

Ao professor José Antonio da Silva Souza e sua aluna de doutorado Alice por terem abertos as portas do laboratório Lamp, da Faculdade de Engenharia da UFPA, para realização das primeiras sínteses dos geopolímeros;

Aos meus amigos da vida Deyveson Leal, Vânia Viana, Paulo Souza, Renata Nascimento, Jhonata Vicenzoti por todos conselhos e apoio emocional;

A todos os componentes do Grupo de Mineralogia e Geoquímica Aplicada (GMGA) por todo apoio e incentivo, especialmente, a doutora Glayce Valente, ao doutor Leonardo Negrão e ao doutorando Pabllo Santos.

## RESUMO

O processo de extração e beneficiamento dos depósitos de bauxitas da província bauxitífera de Paragominas/Rondon do Pará pode gerar grandes quantidades de resíduos, principalmente em duas etapas do processo: lavra e beneficiamento. Na etapa de lavra dos depósitos o “resíduo” é oriundo da retirada de uma espessa camada de material argiloso (conhecido como Argila de Belterra). Por outro lado, o “resíduo” do processo de beneficiamento é gerado após as etapas de britagem, moagem e lavagem, que originam uma ampla quantidade de material argiloso disperso em uma grande quantidade de água. Para o presente estudo selecionou Argila de Belterra dos depósitos de bauxita de Rondon do Pará, amostra de Argila de Lavagem de bauxita da empresa Hydro, uma amostra de caulim beneficiado da Imerys, da região do rio Capim, também no estado do Pará, uma amostra de microssílica comercial (Ecopower) e reagentes P.A da sigma (NaOH e KOH). As amostras e os geopolímeros foram caracterizados por Difração de Raios-X (DRX), Fluorescência de Raios-X (FRX), Análise Térmica Gravimétrica (TG), Calorímetro Exploratória Diferencial (DSC), Espectrometria de Emissão Ótica com Plasma Acoplado (ICP-OES) e Analisador de Partícula a Laser (APL). Geopolímeros foram sintetizados a partir da Argila de Belterra, microssílica e NaOH de acordo com o planejamento Box-Benkhen. Realizou-se também síntese de geopolímeros a partir de Argila de Belterra e caulim beneficiado (um estudo comparativo) usando KOH e microssílica. E por fim, geopolímeros foram sintetizados a partir da Argila de lavagem de Bauxita com NaOH e microssílica de acordo com o planejamento Doehlert. No estudo somente com a Argila de Belterra, o maior resultado de resistência resultado foi 47,78MPa e o menor resultado foi 7,05MPa. No estudo comparativo entre Argila de Belterra e caulim beneficiado, os melhores resultados de resistência a compressão foram obtidos com o caulim beneficiado. Os resultados de resistência a compressão dos geopolímeros sintetizados a partir da Argila de Lavagem variaram de 8.99 a 41.89MPa. Esses resultados demonstram o potencial positivo de ambos materiais para síntese de geopolímeros que podem ser usados como possíveis substitutos “Eco-friendly” para materiais tradicionais, principalmente, cerâmica e cimento.

**Palavras-chave:** Argila de Belterra; Argila de lavagem da bauxita; geopolímero; caulinita; metacaulinita.

## ABSTRACT

The process of extraction and beneficiation of bauxite deposits in the bauxite province of Paragominas/Rondon do Pará can generate large amounts of waste, mainly in two stages of the process: mining and processing. In the mining stage of the deposits, the “residue” comes from the removal of a thick layer of clay material (known as Belterra Clay). On the other hand, the “residue” from the beneficiation process is generated after the crushing, grinding and washing stages, which give rise to a large amount of clay material dispersed in a large amount of water. For the present study, it selected Belterra clay from the bauxite deposits of Rondon do Pará, a sample of Bauxite Washing Clay from the Hydro company and a sample of kaolin benefited from Imerys Company. The samples and geopolymers were characterized by X-ray Diffraction (XRD), X-ray Fluorescence (FRX), Gravimetric Thermal Analysis (TG), Differential Exploratory Calorimeter (DSC), Optical Emission Spectrometry with Coupled Plasma (ICP-OES) and Laser Particle Analyzer (APL). Geopolymers were synthesized from Belterra clay, microsilica and NaOH according to the Box-Benken design. Synthesis of geopolymers from Belterra clay and beneficiated kaolin was also carried out (a comparative study) using KOH and microsilica. Finally, geopolymers were synthesized from Bauxite washing clay with NaOH and microsilica according to the Doehlert design. In the study with only Belterra clay, the highest resistance result was 47.78MPa and the lowest result was 7.05MPa. In the comparative study between Belterra Clay and beneficiated kaolin, the best results of compressive strength were obtained with the beneficiated kaolin. The compressive strength results of the geopolymers synthesized from the Washing Clay ranged from 8.99 to 41.89MPa. These results demonstrate the positive potential of both samples for the synthesis of geopolymers that can be used as possible “Eco-friendly” substitutes for traditional materials, mainly ceramics and cement.

**Keywords:** Belterra Clay; Bauxite washing clay; geopolymer; kaolinite; metakaolinite.



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

## PARECER

### Sobre a Defesa Pública da Tese de Doutorado de IGOR ALEXANDRE ROCHA BARRETO

A banca examinadora da Tese de Doutorado de **IGOR ALEXANDRE ROCHA BARRETO** orientando do Prof. Dr. Marcondes Lima da Costa (UFPA) e composta pelos professores doutores Herbert Pöllmann (Martin-Luther Universität Halle-Wittenberg, Alemanha), Guilherme Frederico Bernardo Lenz e Silva (USP), José Roberto Zamian (UFPA), e Rômulo Simões Angélica (UFPA), após apresentação da sua tese intitulada “**APLICAÇÃO DE RESÍDUOS DA MINERAÇÃO DE BAUXITA NA SÍNTESE DE GEOPOLIMEROS**” emite o seguinte parecer:

O candidato realizou sua apresentação de forma clara, organizada e segura no tempo estipulado. Na arguição mostrou domínio da temática abordada e respondeu às perguntas formuladas pela banca, porém foi evidenciando que o texto apresentado necessita de alguns ajustes. São eles: ajustar o foco ou reescrever os objetivos, adequar a metodologia de forma a melhorar o entendimento e o encadeamento dos artigos publicados e/ou enviados para publicação. E no caso das conclusões, também é necessário fazer um ajuste de modo a melhor integrar os resultados obtidos nos três artigos, respondendo aos objetivos iniciais.

Finalmente, a banca examinadora decidiu por unanimidade aprovar a tese de doutorado.

Belém, 08 de abril de 2022

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

Prof. Dr. Herbert Pöllmann (Martin-Luther Universität Halle-Wittenberg)

Prof. Dr. Guilherme Frederico Bernardo Lenz e Silva (USP)

Prof. Dr. José Roberto Zamian (UFPA)

Prof. Dr. Rômulo Simões Angélica (UFPA)