



## **Análise e estudo do processo de Beneficiamento da Bauxita em Juruti - Pará: Rotas do alumínio no Norte do Brasil**

<sup>1</sup>Santos, C. C. F.; <sup>2</sup>Santana, V. L.; <sup>3</sup>Mendes, M. E. A; <sup>4</sup>Souza, G. W. B.; <sup>5</sup>Rodrigues, B. C.; <sup>6</sup>Nascimento, Q. L.

<sup>1</sup>Discente de graduação em Ciência e Tecnologia - UFPA. Bolsista de Iniciação Científica PIVIC/UFPA. <sup>2</sup>Professor Dr. do Campus Universitário de Ananindeua - UFPA. <sup>3</sup>Discente de graduação em Ciência e Tecnologia - UFPA. UFPA. Bolsista de Iniciação Científica PIBIC/PRODOUTOR. <sup>4</sup>Discente de graduação em Ciência e Tecnologia - UFPA. Bolsista de Iniciação Científica PIBIC/FAPESPA. <sup>5</sup>Discente de graduação em Ciência e Tecnologia - UFPA. Bolsista de Iniciação Científica PIVIC/UFPA. <sup>6</sup>Discente de graduação em Ciência e Tecnologia - UFPA. Bolsista de Iniciação Científica PIBIC/UFPA.

**Autor Correspondente:** [claudia.santos@ananindeua.ufpa.br](mailto:claudia.santos@ananindeua.ufpa.br)

### **Resumo**

O Pará se destaca na produção de bauxita no Brasil, com as minas de Oriximiná e Juruti sendo as principais fontes. A bauxita, que representa 2,35% das exportações do estado, é extraída principalmente por empresas como Hydro S.A., Mineração Rio do Norte e Alcoa. Com teores de alumina entre 50% e 55%, a viabilidade econômica da extração varia, sendo 30% o teor mínimo aceitável. O beneficiamento da bauxita, devido aos altos teores de alumina, envolve técnicas como britagem, peneiramento e hidrociclização. A pesquisa é desenvolvida no Projeto Juruti, combinando análise geoespacial, revisão bibliográfica e visitas técnicas para mapear o cenário operatório, destacando tanto os aspectos técnicos quanto a importância socioeconômica da mineração no Pará. O objetivo foi detalhar o processo completo, as condições do minério em cada etapa e os equipamentos utilizados, tudo para facilitar o entendimento do beneficiamento da bauxita para todos os públicos.

**Palavras-chaves:** bauxita, alumínio, beneficiamento, Pará, mineração.

## INTRODUÇÃO

Em 1821, Berthier descobriu a bauxita na região de Les Baux, no sul da França. Essa rocha avermelhada, contendo mais de 40% de alumina ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ), é utilizada principalmente na produção de alumínio metálico. No entanto, além de sua aplicação metalúrgica, a bauxita também encontra uso não metalúrgico em setores como refratários (31%), abrasivos (24%), produtos químicos (16%), cimentos de alta alumina (18%) e fabricação de aço (11%) [1].

A rocha bauxita compõe-se de uma mistura impura de minerais de alumínio e os mais importantes são gibbsita  $\text{Al}(\text{OH})_3$ , diásporo  $\text{AlO}(\text{OH})$  e boehmita  $\text{AlO}(\text{OH})$ . Esses minerais são conhecidos como oxi-hidróxidos de alumínio e, suas proporções na rocha variam muito entre os depósitos, bem como o tipo e a quantidade das impurezas do minério, tais como: óxidos de ferro, argila, sílica, dióxido de titânio, entre outras. A maioria das bauxitas economicamente viáveis apresentam uma concentração de alumina ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) situada na faixa de 50% a 55% e o teor mínimo necessário para que a bauxita seja considerada aproveitável é aproximadamente 30% [2].

O estado do Pará é líder na extração de bauxita no Brasil, respondendo por 95% da produção nacional. A maior parte da produção paraense provém das minas situadas em Oriximiná e Juruti, localizadas no oeste do Pará [3]. No contexto das exportações paraenses, a bauxita ocupa a posição de quarto mineral mais exportado, correspondendo a 2,35% das exportações. As principais empresas mineradoras no estado incluem a Hydro S.A (antiga Mineração Paragominas), com 39,25% da produção nacional, Mineração Rio do Norte, detentora de 36,49% da produção nacional, e a Alcoa, que detém uma significativa fatia de 19,56% do mercado. No período entre 2018 a 2021 foram produzidas mais de 151 milhões de toneladas de minério rico em alumínio [4]. Visto que atualmente a mineração de bauxita no Estado do Pará teve um avanço exponencial de produção e desenvolvimento sustentável e tecnológico, assim como, impactos sociais e econômicos no Estado esse trabalho tem o intuito de abordar o beneficiamento da bauxita no Projeto Juruti e a partir de fluxogramas e descrição das etapas do processo, levantando oportunidades e vantagens inerentes às atividades realizadas na região, tornando mais compreensível as atividades de beneficiamento do minério no baixo Amazonas.

Este artigo propõe uma análise e caracterização do processo de beneficiamento de bauxita no Projeto Juruti administrado pela Alcoa, explorando suas nuances e desdobramentos cruciais. Este trabalho também visa compreender com detalhes todo o ciclo de beneficiamento da bauxita e os equipamentos utilizados no caminho feito pelo minério estudado, assim como, a condição do minério em cada etapa do processo. Considera-se essencial enxergar a importância estratégica da mineração no Baixo Amazonas, região onde detém um amplo potencial mineral. Além disso, através do trabalho é possível tornar o processo de beneficiamento mais acessível à sociedade, fornecendo uma compreensão clara das atividades realizadas no Estado do Pará.

## **DESENVOLVIMENTO**

### **Materiais e Métodos**

A metodologia desta pesquisa começou com uma investigação das zonas de extração de bauxita na região do Pará, utilizando a plataforma Sistema de Informações Geográficas da Mineração (SIGMINE). Esse recurso permitiu uma análise geoespacial precisa, revelando pontos de interesse ligados à exploração de bauxita. Com base nos dados adquiridos através do SIGMINE, o Projeto Juruti surgiu como uma mina promissora para esta investigação, sendo escolhida devido à sua importância no contexto do processamento de bauxita na região e a disponibilidade de informações.

Para complementar e favorecer uma compreensão mais abrangente do processo operatório da bauxita dentro do Projeto Juruti, realizou-se também pesquisas por meio de uma análise aprofundada de artigos científicos e dissertações pertinentes, explorando as últimas descobertas e avanços na área.

A metodologia empregada permitiu uma compreensão geral e aprofundada de cada passo, desde o início até as etapas finais de bauxita concentrada e o produto ideal para exportação. Cada informação adquirida nos artigos, revistas, teses e outros foi de suma importância para a construção e embasamento de todo o trabalho, visto que, a análise minuciosa de cada processo unitário foi confirmada por meio das referências bibliográficas.

O aspecto principal desta pesquisa é a elaboração de um fluxograma objetivo e sintetizado, capaz de representar visualmente cada passo do processo de beneficiamento do minério de bauxita. Além da revisão bibliográfica, foram feitas visitas técnicas a instituições relevantes, e dessa forma, foi possível uma imersão prática no ambiente operacional. O contato direto com colaboradores da empresa foi de grande importância e proporcionou um conhecimento mais aprofundado, dando acesso a dados atualizados, refinando assim a compreensão do processo. Essa abordagem integrada, com a combinação da teoria consolidada com a experiência prática e o diálogo contínuo com profissionais do campo, resultou em um mapeamento preciso e atual do cenário operatório, fundamental para embasar estratégias e decisões futuras.

Com os dados coletados e detalhes específicos da planta de beneficiamento local, a elaboração do fluxograma de processo foi conduzida com a utilização da ferramenta gráfica Canva. Essa ferramenta permitiu a representação visual dos estágios do processo de beneficiamento de bauxita, facilitando a compreensão do sequenciamento operacional. O fluxograma não apenas retrata as características do contexto analisado, mas também pode ser utilizado como uma ferramenta visual valiosa para comunicar de forma eficaz os resultados deste estudo.

## **RESULTADOS E DISCUSSÕES**

### **Caracterização dos depósitos de Bauxita na região Amazônica**

No território brasileiro, as principais reservas de bauxita estão nos estados do Pará (90%), Minas Gerais (7%), São Paulo e Goiás [5]. Essa concentração é notável nos municípios de Trombetas, Terra Santa, Faro, Juruti, Paragominas e Rondon do Pará/Goianésia. Dentre as ocorrências do estado do Pará destacam-se três minas significativas: Trombetas, Paragominas e Juruti. Essas operações são responsáveis por uma parcela expressiva, correspondendo a 85% da produção total de bauxita no Brasil [6].

Em 1959, os geólogos Towse & Vinson da Companhia Kaiser foram os responsáveis pelo descobrimento de depósitos de bauxita associados a platôs terciários na Amazônia [7]. Na mesma época, Sombroek (1966) documentou a

presença significativa de formações lateríticas no nordeste do Pará, categorizando os produtos residuais em diversas classes, embora não tenha observado a ocorrência de bauxita na região. Apenas a partir da década de 1950 foram identificados os primeiros extensos depósitos de bauxita na região Amazônica, sendo resultado das investigações conduzidas pelas corporações Kaiser Aluminium Company no Baixo Amazonas e Rio Tinto Zinc Company em Paragominas [8].

A bauxita encontrada na região da Amazônia apresenta uma composição complexa, consistindo em bauxita maciça microcristalina e microporosa, considerada tipicamente como gibbsita. Essa estrutura pode ser sobreposta por uma camada de bauxita nodular criptocristalina, que às vezes adquire características porcelanadas [9]. Alternativamente, a bauxita maciça pode evoluir para uma crosta ferruginosa, composta por oxihidróxidos de ferro, que varia de uma textura brechóide a nodular. Essa camada, por sua vez, transita para uma zona ferruginosa esferulítica e, posteriormente, para a presença de bauxita nodular, especialmente nas proximidades do contato com a argila de Belterra [10], encontrada também na região de Juruti.

Geralmente, os depósitos de bauxita amazônica estão vinculados ao topo de extensos platôs, frequentemente revestidos por uma argila que varia do amarelo ao vermelho, exibindo características típicas de bauxita metalúrgica. Essas bauxitas lateríticas originam-se de rochas siliciclásticas do Cretáceo, especificamente das Formações Alter do Chão (Trombetas e Juruti) e Itapecuru/Ipixuna (Paragominas), relacionadas às bacias do Amazonas e do Grajaú, respectivamente [11]. Embora as bauxitas nessas três regiões apresentem fortes correlações geológicas, destaca-se que as bauxitas de Trombetas/Terra Santa/Faro são geralmente mais espessas e possuem teores mais elevados de alumina aproveitável [12].

### **Mina de Juruti: Caracterização geológica e mineralógica**

A mina de Juruti está situada no oeste do Pará, na região da Floresta Amazônica, às margens do rio Amazonas, a aproximadamente 55 quilômetros ao sul-sudoeste da cidade de Juruti. Observa-se a localização no mapa através da Figura 01.

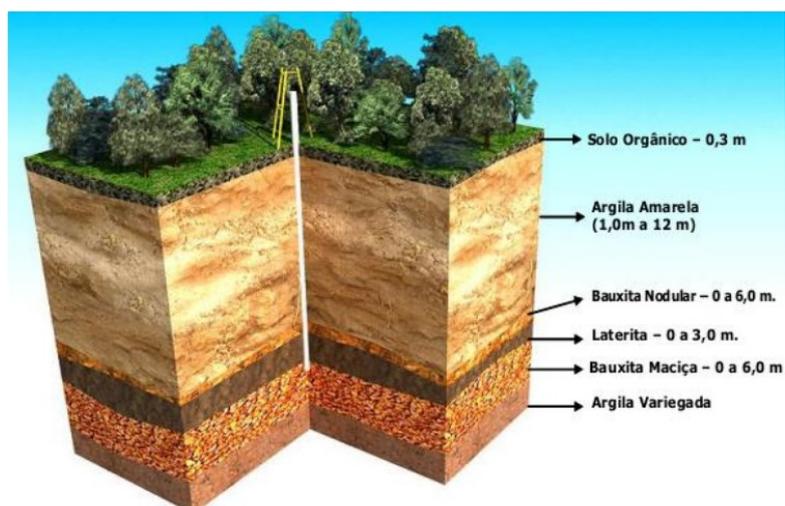
**Figura 01.** Localização mina Juruti - PA



Estabelecida em 2006 e com operações iniciadas em 2009, a mina possui uma reserva estimada de bauxita de 700 milhões de toneladas métricas. Sua capacidade operacional atual é de 7,5 milhões de toneladas por ano (ou 6,5 milhões de toneladas métricas secas) de bauxita de elevada qualidade. [13]

Os depósitos de bauxita em Juruti ocupam uma faixa de profundidade que varia de 2,5 metros a 18,5 metros, caracterizando-se como um corpo mineral de natureza sedimentar com uma espessura máxima de apenas 6 metros [14]. Essa configuração geológica específica destaca a localização e a natureza limitada do depósito, evidenciando sua formação ao longo do tempo em camadas sedimentares distintas. A compreensão detalhada da profundidade e espessura do depósito é crucial para o planejamento e a implementação eficazes de estratégias de extração e beneficiamento da bauxita em Juruti. Na Figura 02 observa-se o perfil litológico da mina em Juruti.

**Figura 02.** Perfil litológico da mina em Juruti - PA



Os estudos do solo em Juruti revelam diversas camadas com características distintas. Abaixo do solo orgânico, encontra-se a argila Belterra (Argila Amarela), de tonalidade amarelada, composta principalmente por caulinita e gibbsita. Esta camada, altamente permeável apesar de sua natureza argilosa, possui espessura variável entre 1 e 12 metros [15].

Logo após, surge a camada de bauxita nodular, formada por nódulos com dimensões entre 0,5 e 2 centímetros, imersos em uma camada argilosa semelhante à cobertura. A aluminosidade ou ferruginosidade desses nódulos varia com a profundidade, sendo que estudos estão em curso para desenvolver métodos de concentração visando a viabilidade econômica. Esta camada pode atingir até 3 metros de espessura [16].

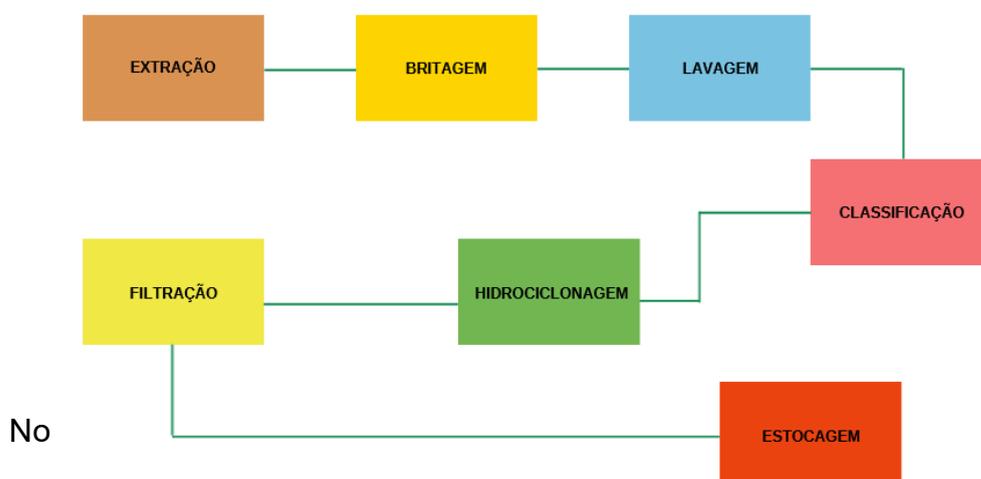
Logo depois, é possível identificar o horizonte de laterita, também conhecido como bauxita ferruginosa, destaca-se pela coloração escura devido ao elevado teor de ferro. Nódulos maiores, capazes de formar grandes agregados cimentados por óxidos de ferro, caracterizam essa camada, cuja espessura varia consideravelmente, podendo alcançar de alguns centímetros a 3 metros. Na camada subsequente de bauxita maciça, a gibbsita é concentrada, contendo óxidos de ferro e caulinita, em proporção reduzida. Quartzo é mais prevalente próximo à zona ferruginosa. A espessura desta camada oscila entre 3,5 e 6 metros, com uma transição de uma estrutura massiva para blocos à medida que a profundidade aumenta [17].

No horizonte inferior, há presença de material argiloso e gibbsita, porém, sem relevância econômica, sendo denominado argila variegada. Essa camada não é considerada viável para a exploração econômica.

### Beneficiamento da Bauxita

O processo de beneficiamento da bauxita realizado no projeto Juruti é uma sequência de operações que visam melhorar a qualidade do minério e torná-lo adequado para uso na produção de alumínio de uma forma mais sustentável. Ela é resumida em etapas como: extração, britagem, lavagem, classificação, hidrociclonagem, filtração e estocagem. Na Figura 03, observa-se o processo das operações unitárias em forma de diagrama.

**Figura 03.** Diagrama das operações unitárias da extração e beneficiamento da Bauxita



beneficiamento de Juruti, estas etapas são bastante eficientes na adequação do minério para posteriores processos de concentração dos Óxidos de Alumínio ( $Al_2O_3$ ) presentes na bauxita. Em razão disso, não há a necessidade de um tratamento mais complexo – com alterações químicas do bem mineral –, ao comparar com outros processos de beneficiamento como o do ferro e cobre. O processamento é principalmente composto por uma eficiente lavagem do material para a remoção de finos e ultrafinos. Os métodos utilizados para o beneficiamento dos minérios de bauxita incluem britagem, peneiramento, rebritagem e hidrociclonagem visando a eliminação dos minerais de sílica e componentes da fração argilosa. Sendo assim, é



primário e secundário, finalizando com a etapa de classificação granulométrica com a utilização de hidrociclones.

Segundo os dados informados por um colaborador da empresa, a usina de Juruti tem uma taxa de alimentação 620 t/h. O processo tem início com a britagem primária e secundária para a redução granulométrica do minério para 130mm. A utilização de pátios de homogeneização e estocagem é uma estratégia para manter uma produção contínua e eficiente. Estes pátios possuem capacidade de estocar cerca de 60.000 toneladas de bauxita extraída. O minério é posteriormente encaminhado para o Scrubber – equipamento que realiza a desagregação primária do minério – por meio de alimentadores. O minério continua o processo de lavagem com a adição de água, transformando-se em uma polpa.

Posteriormente, a polpa segue para a fase de classificação através de um Trommel – peneira rotativa que classifica o material – numa malha inferior a 75mm e é encaminhada para os peneiramentos seguintes. O material retido, com uma granulometria entre 75 mm e 130 mm, proveniente do Scrubber, será combinado com o material não passante da linha do Trommel e direcionado para um processo de rebitagem, para ajustar o tamanho dos grãos às etapas seguintes.

As etapas de peneiramento primário e secundário, além de classificar o minério, têm o objetivo de continuar a lavagem do material com a utilização de sprays instalados sobre as peneiras, novamente com a utilização de água. Todo o material retido nessas fases é descarregado em uma correia transportadora como produto granulado, enquanto o minério que passa pelas peneiras é encaminhado para o circuito de finos. Esse circuito inclui peneiras vibratórias de dois decks, com aberturas das telas de 5,4mm e 8mm para o peneiramento primário e 2,8mm e 1,2mm para o secundário.

O beneficiamento da fração mais fina (inferior a 1,2mm) consiste em hidrociclones que realizarão separação da fração de argila, sendo está o rejeito do beneficiamento da bauxita. O tanque do sistema recebe o material que passou pelo peneiramento secundário e, por meio de bombeamento, alimenta a primeira bateria de hidrociclones. A polpa é então classificada em quatro sequências de hidrociclones, onde a parte fina ou argilosa é separada e encaminhada por gravidade para a lagoa de rejeito, eventualmente para a área de reflorestamento. Na primeira bateria de hidrociclones (sequência 1 e 2), o material inicialmente com 1,2mm passa por uma partição nas duas etapas de classificação em hidrociclones de 26 polegadas,

direcionando o material entre 1,2mm e 0,8mm para a fração underflow. O overflow segue para uma segunda etapa de ciclonagem (sequências 3 e 4), em hidrociclones de 10 polegadas. Nessa fase ocorre uma nova classificação, onde o material entre 0,8mm e 0,03mm é descarregado como produto pelo underflow, enquanto as frações menores são descartadas como rejeito pelo overflow. Todo o material que não é argila após a classificação é chamado de fino e segue para filtros de correia, onde é realizada a etapa de secagem por meio de filtro prensa. Depois do filtro prensa, é misturado ao produto granulado e direcionado para a pilha de bauxita lavada. Enfim, a bauxita encontra-se concentrada e em condições adequadas para exportação.

O material considerado como rejeito oriundo do overflow da ciclonagem de 10 polegadas é direcionado para um reservatório e posteriormente transferido para a lagoa de sedimentação (LS) por meio de uma tubulação de cerca de 30 polegadas. Essa tubulação transfere o material com uma concentração de sólidos entre 5-10% (principalmente composto por ultrafinos) para a LS. Uma draga remove os sólidos já sedimentados para a lagoa de deposição (LD) ao mesmo tempo em que bombeia a água para ser reutilizada no processo, mantendo uma turbidez aceitável. Esta etapa é essencial para a utilização da água de forma sustentável, contribuindo também para o uso de uma área significativamente menor para a disposição do rejeito, em comparação com plantas de beneficiamento de outras mineradoras. [19]

Observa-se no beneficiamento da bauxita uma grande utilização de água. O projeto Juruti, por estar localizado no coração da Amazônia, possui uma oferta vasta deste recurso natural. Apesar dessa disposição hídrica, é indispensável o uso consciente, tornando o processo sustentável e preocupado com os impactos na região.

## REFERÊNCIAS

1. SHAFFER, J. W. Bauxite. In: Mineral Processing Handbook, N. L. Weiss (Editor-In-Chief), Society Of Mining Engineers, New York, P. 19/2-19/20, 1985.
2. ANJOS, F. V. E SILVA, J. B. As Usinas De Produção De Alumínio Da Alcan No Brasil – Processo Bayer Para Produção De Alumina E Os Processos

- Eletrolíticos Para A Produção De Alumínio. In: As Usinas Brasileiras De Metalurgia Extrativa Dos Metais Não-Ferrosos, Abm, São Paulo, 1983.
3. SIMINERAL, Sindicato De Indústrias Minerais Do Estado Do Pará. Projetos - Projeto Juruti. Pará, 2023. Disponível Em:  
<https://www.simineral.org.br/mineracao#mineracaopara> . Acesso Em: 28 Nov. 2023.
  4. AGÊNCIA NACIONAL DE MINERAÇÃO. Anuário Mineral Brasileiro: Principais Substâncias Metálicas. Brasília, 2022. Disponível Em:  
<https://www.gov.br/anm/pt-br/centrais-de-conteudo/publicacoes/serie-estatisticas-e-economia-mineral/anuario-mineral/anuario-mineral-brasileiro/previaamb2022.pdf> . Acesso Em: 28 Nov. 2023
  5. PINHEIRO W.F., FERREIRA F. O.B., NEVES C.A.R. (Coords.). Anuário Mineral Brasileiro: Principais Substâncias Metálicas. Brasília, Departamento Nacional De Produção Mineral, 31 P, 2016.
  6. COSTA M.L. Alumínio E Bauxita No Brasil. In: Melfi A.J., Misi A., Campos D.A., Cordani U.G (Eds.). Recursos Minerais No Brasil Problemas E Desafios. Rio De Janeiro, Academia Brasileira De Ciências, P. 166-173, 2016
  7. KOTSCHUBEY B., Calaf J.M.C., Lobato A.C.C., Leite A.S., Azevedo C.H.D. Caracterização E Gênese Dos Depósitos De Bauxita Da Província Bauxitífera De Paragominas, Noroeste Da Bacia Do Grajaú, Nordeste Do Pará/Oeste Do Maranhão. Belém, 2005.
  8. COSTA M.L. Alumínio E Bauxita No Brasil. In: Melfi A.J., Misi A., Campos D.A., Cordani U.G (Eds.). Recursos Minerais No Brasil Problemas E Desafios. Rio De Janeiro, Academia Brasileira De Ciências, P. 166-173, 2016
  9. COSTA M.L. Alumínio E Bauxita No Brasil. In: Melfi A.J., Misi A., Campos D.A., Cordani U.G (Eds.). Recursos Minerais No Brasil Problemas E Desafios. Rio De Janeiro, Academia Brasileira De Ciências, P. 166-173, 2016
  10. COSTA M.L. Alumínio E Bauxita No Brasil. In: Melfi A.J., Misi A., Campos D.A., Cordani U.G (Eds.). Recursos Minerais No Brasil Problemas E Desafios. Rio De Janeiro, Academia Brasileira De Ciências, P. 166-173, 2016
  11. COSTA M.L., Cruz G.S., Almeida H.D.F., Poellmann H. On The Geology, Mineralogy And Geochemistry Of The Bauxite-Bearing Regolith In The Lower

- Amazon Basin: Evidence Of Genetic Relationship. Journal Of Geochemical Exploration, 146: 58-74, 201410
12. COSTA M.L. Alumínio E Bauxita No Brasil. In: Melfi A.J., Misi A., Campos D.A., Cordani U.G (Eds.). Recursos Minerais No Brasil Problemas E Desafios. Rio De Janeiro, Academia Brasileira De Ciências, P. 166-173, 2016
  13. JESUS, Katiane. Fact Sheet - The Element Of Possibility. Disponível Em: <https://www.alcoa.com/brasil/pt/pdf/brasil-juruti-fact-sheet.pdf>. Acesso Em: 19 De Abr. 2024
  14. FERREIRA, Andson P. Caracterização Tecnológica Do Rejeito Da Planta De Beneficiamento De Bauxita Em Juruti- Pará. 2016. 67 Páginas. Dissertação De Mestrado Em Recursos Naturais Da Amazônia. Área De Concentração: Bioprospecção E Manejo De Recursos Naturais Da Amazônia - Programa De Pós-Graduação Em Recursos Naturais Da Amazônia. Universidade Federal Do Oeste Do Pará – Ufopa, Santarém, 2016.
  15. AMARAL, Alceu M. Relatório De Tarefas: Decapeamento Na Minas De Juruti. Centro Técnico De Aprendizagem. Juruti: Cta, 2015.
  16. BRELAZ, Jânio S. Relatório De Tarefas: Coleta De Amostras Para Determinação De Teores. Centro Técnico De Aprendizagem. Juruti: Cta, 2013.
  17. SOUZA, Douglas S. Relatório De Tarefas: Amostragem Em Canaletas. Centro Técnico De Aprendizagem. Juruti: Cta, 2014.
  18. QUARESMA, L. F. Perfil Da Mineração De Bauxita, Minas Gerais, Mme, 2009. Disponível Em: [Antigo.Mme.Gov.Br](http://antigo.mme.gov.br) . Acesso Em: 28 De Nov. 2023.
  19. LAGE, Natália M. Aproveitamento Do Rejeito Da Bauxita Na Mina De Juruti Por Flotação. Monografia (Graduação). Universidade Federal De Ouro Preto. Escola De Minas. Departamento De Engenharia De Minas. Ouro Preto, 2018.