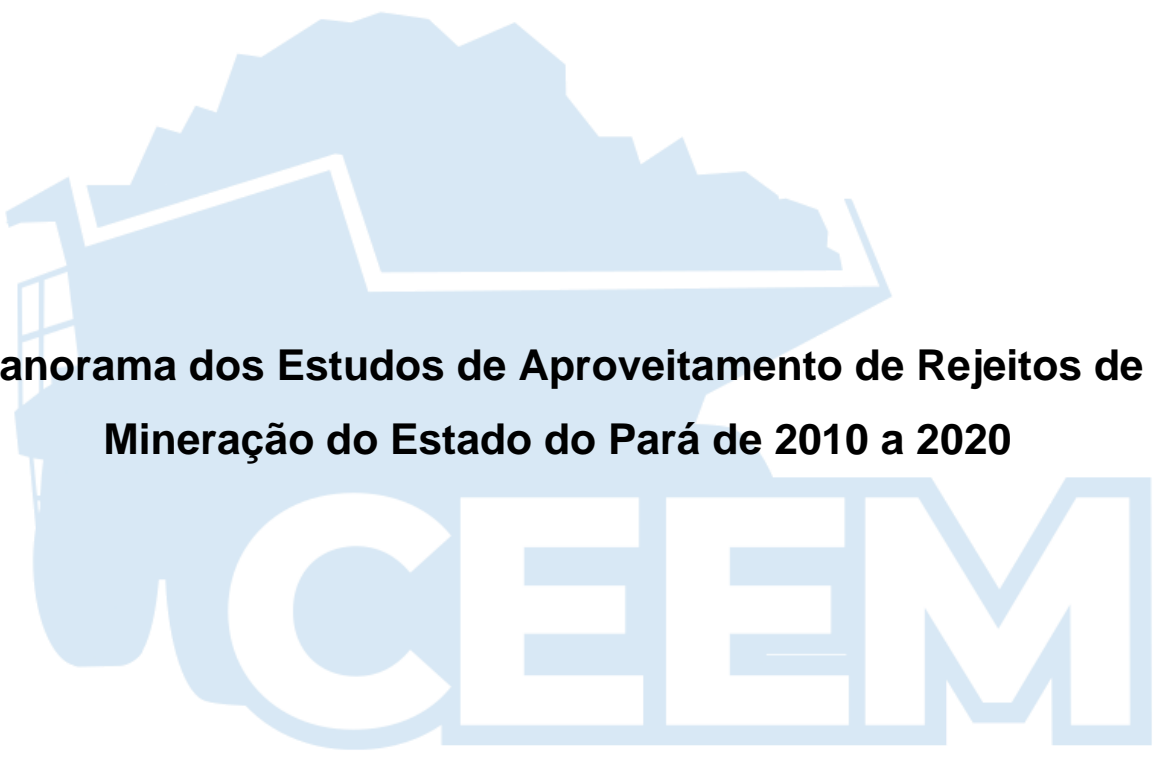


Universidade Federal de Alfenas (UNIFAL-MG), Campus de Poços de Caldas
Curso de Especialização em Engenharia de Minas (CEEM)

Jaime Henrique Barbosa da Costa



**Panorama dos Estudos de Aproveitamento de Rejeitos de
Mineração do Estado do Pará de 2010 a 2020**

Poços de Caldas

2022

Jaime Henrique Barbosa da Costa

Panorama dos Estudos de Aproveitamento de Rejeitos de Mineração do Estado do Pará de 2010 a 2020

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) apresentado à
Universidade Federal de Alfenas (UNIFAL-MG) como parte
dos requisitos para a integralização do curso de
Especialização em Engenharia de Minas (CEEM).
Orientador: Prof. Dr. Maurício Guimarães Bergerman

Poços de Caldas

2022

Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal de Alfenas
Biblioteca Campus Poços de Caldas

Costa, Jaime Henrique Barbosa da.

Panorama dos Estudos de Aproveitamento de Rejeitos de Mineração do Estado do Pará de 2010 a 2020 / Jaime Henrique Barbosa da Costa. - Poços de Caldas, MG, 2022.

55 f. : il. -

Orientador(a): Maurício Guimarães Bergerman.

Trabalho de Conclusão de Curso (Especialização em Engenharia de Minas) - Universidade Federal de Alfenas, Poços de Caldas, MG, 2022.

Bibliografia.

1. Aproveitamento de Rejeitos. 2. Mineração. 3. Panorama. 4. Pará. 5. Revisão Sistemática. I. Bergerman, Maurício Guimarães, orient. II. Título.

Jaime Henrique Barbosa da Costa

Panorama dos Estudos de Aproveitamento de Rejeitos de Mineração do Estado do Pará de 2010 a 2020

A Banca examinadora abaixo-assinada aprova o Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) apresentado à Universidade Federal de Alfenas (UNIFAL-MG) como parte dos requisitos para a integralização do curso de Especialização em Engenharia de Minas (CEEM).

Aprovada em: 24 de março de 2022

Orientador: Prof. Dr. Mauricio Guimarães Bergerman

Instituição: Universidade de São Paulo

Assinatura:



Examinador 1: Prof. Dr. Arthur Pinto Chaves

Instituição: Universidade de São Paulo

Assinatura:



Examinador 2: Prof. Dr. Guilherme José Ramos Oliveira

Instituição: Universidade Federal de Alfenas

Assinatura:



AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Dr. Mauricio Guimarães Bergerman pela orientação, confiança e todo apoio necessário para a realização deste trabalho;

Ao Prof. Dr. Arthur Pinto Chaves pelos comentários, sugestões e ensinamentos na realização deste trabalho;

Aos colegas do grupo de pesquisa do Laboratório de Tratamento de Minérios da Universidade de São Paulo pelas contribuições;

A todos aqueles que direta ou indiretamente contribuíram para realização deste trabalho.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Fluxograma típico do beneficiamento de minérios.....	20
Figura 2 - Quantidade média de rejeitos gerada nos processos de beneficiamento.	21
Figura 3 – Barragens cadastradas no SNISB conforme o uso principal em 2020.....	28
Figura 4 – Quantitativo de barragens de contenção de rejeitos cadastradas no SIGBM por UF em 14/10/2021	29
Figura 5 – Quantitativo de barragens de rejeitos cadastradas no SIGBM por tipo de minério no Estado do Pará	30
Figura 6 – Quantitativo de barragens de rejeitos cadastradas por empresa no Estado do Pará	31
Figura 7 – Trabalhos Publicados (%) por Tipos de Rejeitos de Mineração	32
Figura 8 – Número de Trabalhos Publicados por Tipos de Rejeitos de Mineração	33
Figura 9 – Número de Trabalhos por Ano de Publicação	33
Figura 10 – Trabalhos Publicados por Tipo de Publicação.....	34
Figura 11 – Trabalhos Publicados por Áreas de Aplicação dos Rejeitos	34
Figura 12 – Trabalhos Publicados por Instituições de Pesquisa	35
Figura 13 – Autores com mais Trabalhos Publicados.....	35

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVA	1
2. OBJETIVOS	4
2.1. Objetivo geral.....	4
2.2. Objetivos específicos.....	4
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	4
3.1. Mineração no Brasil.....	4
3.2. Mineração no Pará.....	6
3.3. Impacto Ambiental da Mineração.....	10
3.4. Resíduos Sólidos da Mineração.....	16
3.5. Geração e Disposição de Rejeitos da Mineração.....	18
3.6. Aproveitamento de Rejeitos.....	23
4. MATERIAIS E MÉTODOS	25
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	27
5.1. Diagnóstico das Barragens de Rejeitos de Mineração do Brasil.....	27
5.2. Diagnóstico das Barragens de Rejeitos de Mineração do Pará.....	29
5.3. Panorama do Estudos de Aproveitamento de Rejeitos de Mineração do Pará.....	32
6. CONCLUSÕES	36
REFERÊNCIAS	38
APÊNDICE A – Trabalhos encontrados na pesquisa	49

RESUMO

O Estado do Pará tornou-se o maior produtor mineral do Brasil em 2019, destacando-se, em primeiro lugar, na produção de minério de ferro, de cobre, bauxita e caulim. A geração de resíduos é parte inerente de qualquer processo produtivo. No caso da mineração, nos últimos anos, em função do aumento da demanda por insumos minerais, houve um grande crescimento de suas atividades. Resultou daí a geração, igualmente crescente, de rejeitos da mineração. A necessidade de dar destinação sustentável aos rejeitos da mineração é urgente, e o aproveitamento econômico desses materiais surge como alternativa à deposição em estruturas como pilhas e barragens. O objetivo deste trabalho foi apresentar um panorama dos estudos de aproveitamento de rejeitos de mineração do Estado do Pará no período de 2010 a 2020. Para isso, a metodologia utilizada foi a da revisão sistemática e da análise bibliométrica dos trabalhos obtidos. Como resultado foi possível observar que houve uma crescente do número de trabalhos publicados sobre o tema durante o período estudado. O maior número de trabalhos foi publicado no período 2015 – 2020 (45) com praticamente o dobro de publicações do período de 2010 – 2014 (19). O Caulim foi o bem mineral que apresentou o maior número de trabalhos publicados de aproveitamento do rejeito gerado do seu processamento (42,2%). A síntese de produtos a partir dos rejeitos, especialmente a síntese de zeólitas a partir do rejeito do beneficiamento de caulim, foi a principal área de aplicação dos trabalhos selecionados na pesquisa seguida da área da Construção Civil (cerâmica vermelha, agregados, argamassas, geopolímero). A UFPA foi a instituição de pesquisa que mais publicou trabalhos sobre o tema de aproveitamento de rejeitos paraenses durante o período estudado (56,3%). Com essa pesquisa foi possível traçar um panorama dos estudos de aproveitamento de rejeitos de Mineração do Estado do Pará, entregando uma síntese estruturada do desenvolvimento científico durante o período de 2010 a 2020, para contribuir com pesquisadores que desejem trabalhar com o referido tema.

Palavras-chave: aproveitamento de rejeitos; mineração; panorama; Pará; revisão sistemática.

ABSTRACT

The State of Pará became the largest mineral producer in Brazil in 2019, standing out in the first place in the production of iron ore, copper, bauxite and kaolin. The generation of waste is an inherent part of any production process. In the case of mining, in recent years, due to the increase in demand for mineral inputs, there has been a great growth in its activities. This resulted in the equally growing generation of mining tailings. The need to give sustainable destination to mining tailings is urgent, and the economic use of these materials emerges as an alternative to deposition in structures such as piles and dams. The aim of this work was to present an overview of studies on the use of mining tailings in the State of Pará from 2010 to 2020. For this, the methodology used was the systematic review and bibliometric analysis of the works obtained. As a result, it was possible to observe that there was an increasing number of published works on the subject during the period studied. The largest number of works was published in the period 2015 – 2020 (45) with practically twice as many publications from the period 2010 – 2014 (19). Kaolin was the mineral that presented the highest number of published works on the use of the waste generated from its processing (42.2%). The synthesis of products from the tailings, especially the synthesis of zeolites from the tailings of kaolin processing, was the main area of application of the works selected in the research, followed by the area of Civil Construction (red ceramics, aggregates, mortars, geopolymer). UFPA was the research institution that most published works on the subject of waste use in Pará during the period studied (56.3%). With this research, it was possible to draw an overview of studies on the use of mining tailings in the State of Pará, delivering a structured synthesis of scientific development during the period from 2010 to 2020, to contribute to researchers who wish to work with the aforementioned topic.

Keywords: overview; mining tailings; Pará; bibliometric analysis.

1. INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVA

O setor mineral tem grande importância social e econômica para o país. O Brasil, detentor de território com extensão continental e de notável diversidade geológica conquistou uma posição de destaque no cenário global, tanto em reservas quanto em produção mineral. No ano de 2019, o valor da produção mineral brasileira foi de US\$ 38 bilhões, o que representou cerca de 16,8% do PIB Industrial do país. No Comércio Exterior, a indústria extrativa mineral, no ano de 2019, contribuiu com mais de US\$ 32 bilhões em exportações de minérios, sendo somente o minério de ferro responsável por US\$ 22,1 bilhões deste valor. O Brasil produz cerca de 80 substâncias minerais não energéticas, destacando-se, entre outras, as produções de nióbio, minério de ferro, bauxita e manganês (IBRAM, 2020).

O Estado do Pará tornou-se o maior produtor mineral do Brasil em 2019 ultrapassando, pela primeira vez na história, o Estado de Minas Gerais, destacando-se, em primeiro lugar, na produção de minério de ferro, de cobre, bauxita e caulim (ANM, 2020b). Essa liderança pode ser justificada pelo aumento de produção de minério de ferro no Pará e pelo cenário de menor produção em terras mineiras após o fechamento de operações de mineradoras devido ao rompimento de barragens de rejeito. Os principais produtos exportados pela indústria de extração mineral do Pará em 2019 foram: minério de ferro, gerando um lucro de US\$ 13,968 bilhões, seguido de concentrado de cobre (US\$ 1,899 bilhão), ouro (US\$ 295 milhões), minério de manganês (US\$ 260 milhões), bauxita (US\$ 134 milhões), caulim (US\$ 119 milhões) (SEDEME, 2020).

A geração de resíduos é parte inerente de qualquer processo produtivo. No caso da mineração, nos últimos anos, em função do aumento da demanda por insumos minerais, houve um grande crescimento de suas atividades, havendo, inclusive, viabilidade à lavra e ao beneficiamento de minérios com teores sucessivamente mais baixos. Resultou daí a geração, igualmente crescente, de resíduos da mineração, que se diferenciam dos produzidos em outros setores, notadamente por haver resíduos sólidos da extração – o estéril – e do beneficiamento – os rejeitos (IBRAM, 2019).

Os estéreis são os materiais escavados, gerados pelas atividades de extração (ou lavra) no decapeamento da mina, que não têm valor econômico e ficam geralmente dispostos em pilhas. Os rejeitos são resíduos resultantes dos processos de beneficiamento a que são submetidas às substâncias minerais. Estes processos têm a finalidade de padronizar o tamanho dos fragmentos, remover minerais associados sem valor econômico e aumentar a qualidade, pureza ou teor do produto final (SILVA; VIANA; CAVALCANTE, 2012).

Na atividade de mineração, grandes volumes e massas de materiais são extraídos e movimentados. A quantidade de resíduos gerada pela atividade depende do processo utilizado para extração do minério, da concentração da substância mineral estocada na rocha matriz e da localização da jazida em relação à superfície (SILVA; VIANA; CAVALCANTE, 2012).

O grande volume de resíduos gerados na indústria extrativa mineral traz indagações à cerca da disposição e destino final destes resíduos. A solução adotada pelas mineradoras é a disposição planejada e adequada dos resíduos. No caso do estéril, o sistema de disposição deve funcionar como uma estrutura projetada e implantada para acumular materiais, em caráter temporário ou definitivo, dispostos de modo planejado e controlado em condições de estabilidade geotécnica e protegidos de ações erosivas. O sistema de disposição dos rejeitos deve ser projetado como uma estrutura de engenharia para contenção e deposição de resíduos originados de beneficiamento de minérios, captação de água e tratamento de efluentes (SILVA; VIANA; CAVALCANTE, 2012).

Essas instalações de armazenamento são um dos legados mais visíveis de uma operação mineira, que, mesmo depois de fechados e reabilitados devem permanecer estáveis e sem efeitos negativos ao meio ambiente (IBRAM, 2019).

Nesse contexto, o aproveitamento de rejeitos e estéril é um tema que ganhou relevância nos últimos anos, em especial com a consolidação dos conceitos de licença social para operar (LSO) e de economia circular, correspondendo a uma tendência do setor mineral mundial (ANM, 2020a).

A necessidade de dar destinação sustentável aos resíduos da mineração, em especial os rejeitos, ganhou mais relevância após os desastres das barragens de rejeito em Mariana (2015) e Brumadinho (2019), ambos no Estado de Minas Gerais, e o aproveitamento econômico desses

materiais surge como alternativa à deposição em estruturas como pilhas e barragens (ANM, 2020a).

Com base nos dados declarados no Relatório Anual de Lavra (RAL), no período de 2010 a 2019, estima-se que, no Brasil, um total de 3,4 bilhões de toneladas de rejeitos e 8,2 bilhões de toneladas de estéril foram geradas em empreendimentos produtores de ferro, ouro, cobre, fosfato, estanho, alumínio, níquel, carvão, manganês, zinco, cromo e vanádio (ANM, 2020a).

Um desafio premente da sociedade é a redução dos resíduos gerados mantendo o mesmo patamar de qualidade de vida. Do mesmo modo, os setores produtivos, incluídos aqui o de mineração, também têm que lidar com este paradigma. Para tanto, a eficiência no uso dos recursos e o desenvolvimento de tecnologias para o aproveitamento de resíduos são estratégicos (IBRAM, 2016).

A otimização dos processos de beneficiamento juntamente com a recuperação da espécie mineral útil nos rejeitos e o aproveitamento dos mesmos em outros usos estão entre as possíveis soluções tecnológicas para minimizar o conteúdo das barragens ou mesmo extingui-las (IPT, 2016).

Aproveitar e recuperar esses resíduos, portanto, possui um fim tanto ambiental quanto econômico, pois é possível dar outra destinação comercial ao que geralmente é descartado, diminuindo também a quantidade de resíduos para o meio ambiente.

Pesquisas têm sido realizadas em busca do aproveitamento de resíduos da mineração. Entretanto a maioria delas não é aplicada pela indústria extrativa mineral, provavelmente, devido a questões econômicas.

O Pará é um dos principais estados mineradores do país e ainda, não se tem, um panorama dos estudos realizados no Estado sobre o tema aproveitamento de rejeitos nos últimos anos; logo, apresentar um estudo com essa temática torna-se de grande importância para os pesquisadores que pretendem atuar nessa área pois será possível identificar lacunas no estado da arte atual a fim de sugerir pesquisas adicionais.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo geral

Apresentar um panorama dos estudos de aproveitamento de rejeitos de mineração do Estado do Pará no período de 2010 a 2020.

2.2. Objetivos específicos

- Realizar um diagnóstico das barragens de rejeitos de mineração do Brasil e em particular do Estado do Pará.
- Apresentar um panorama dos estudos de aproveitamento de rejeitos por matéria-prima mineral produzida no Estado do Pará nos últimos anos (2010 – 2020);
- Discutir as possíveis alternativas de aproveitamento desses rejeitos;

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1. Mineração no Brasil

A Mineração corresponde à uma atividade econômica e industrial que consiste na pesquisa, exploração, lavra (extração) e beneficiamento de minérios presentes no subsolo. Essa atividade é uma das grandes responsáveis pela atual configuração da sociedade em que vivemos, visto que diversos produtos e recursos utilizados por nós são provenientes dessa atividade, como computadores, cosméticos, estradas, estruturas metálicas, entre outros (SOUSA, 2020).

A mineração no Brasil remonta à época colonial, quase dois séculos posteriores à chegada dos portugueses em território sul-americano, mais precisamente no século XVII. A demora em se descobrir jazidas leva a crer que os interesses portugueses estavam voltados para outros recursos, como o pau-brasil, tabaco, açúcar e mão- de-obra escrava. No século XVIII, ocorreu o

primeiro grande boom mineral, ocasionado pela descoberta do ouro, dando início ao surgimento das bases para a constituição do setor mineral brasileiro e colocando o Brasil como o primeiro grande produtor mundial de ouro (BARRETO, 2001).

Após quase um século, começou o processo de declínio do nosso primeiro ciclo do ouro. Acreditava-se que as jazidas superficiais tinham-se esgotado e os esforços foram então redirecionados para a criação de condições para a instalação das grandes empresas estrangeiras, que na época eram as inglesas. Assim, inicia-se, sem muito sucesso, durante o século XIX, um novo ciclo com a procura de jazidas primárias de ouro. Constatou-se, posteriormente, que o ciclo esperado na verdade não iria ocorrer, tendo ficado como resquícios dessa fase as minas da Passagem e de Morro Velho, ainda hoje em funcionamento (BARRETO, 2001).

O segundo ciclo mineral começou a delinear-se no século XX, após o fim da Segunda Guerra Mundial (mais precisamente a partir dos anos 50), concretizando-se efetivamente no final da década de 1960. Assim, pode-se afirmar que grande parte do atual parque mineral foi construída recentemente e, em particular, durante as décadas de 1970 e 1980. As descobertas mais marcantes do século XX foram: o manganês da Serra do Navio (anos 40); o petróleo, que culminou com a criação da Petrobras (anos 50); as jazidas ferríferas do vale do Paraopeba (anos 50); as minas do Quadrilátero Ferrífero de Minas Gerais (meados dos anos 50, intensificando-se nos anos 60); o carvão no Rio Grande do Sul e no Paraná (anos 50), com grande incremento a partir dos anos 60; as minas de cobre do Rio Grande do Sul (anos 60), Pará e Goiás, nas décadas posteriores; as minas de chumbo na Bahia (anos 60), e em Minas Gerais mais recentemente; o nióbio de Araxá em Minas Gerais (anos 60); o caulim na Amazônia; fosfato e zinco em Minas Gerais; o megaprojeto Carajás no Pará; o amianto da mina Cana Brava, em Goiás; a bauxita de Minas Gerais e Pará; assim como a descoberta da província estanífera de Rondônia, todos na década de 1970 (BARRETO, 2001).

A mineração é uma das atividades básicas na economia de um país, sendo essencial para o desenvolvimento da sociedade. Por ser um país com grande extensão territorial, o Brasil devido sua localidade e formação geológica, se mostra uma nação privilegiada quando o assunto é diversidade e disponibilidade mineral, possuindo assim uma quantidade considerável de minerais

metálicos e não-metálicos, fazendo com que ocupe uma posição mundial dominante como detentor de grandes reservas, e de acordo com Barreto (2001), está entre os seis mais importantes países minerais do mundo.

De acordo com o IBRAM (2020), no ano de 2019, o valor da produção mineral brasileira foi de US\$ 38 bilhões, o que representou cerca de 16,8% do PIB Industrial do país. No Comércio Exterior, a indústria extrativa mineral contribuiu com mais de US\$ 32 bilhões em exportações de minérios, sendo somente o minério de ferro responsável por US\$ 22,1 bilhões deste valor. Em 2019 foram gerados 174.719 empregos diretos e mais de 2 milhões indiretos. O Brasil produz cerca de 80 substâncias minerais não energéticas, destacando-se, entre outras, as produções de nióbio, minério de ferro, bauxita e manganês. Segundo a ANM (2020b), aproximadamente 90% do valor da produção mineral brasileira em 2019 referem-se aos Estados do Pará e Minas Gerais.

Em decorrência disso, a indústria mineral tem grande valor na economia brasileira, contribuindo tanto na produção de bens valiosos – os minérios - como na geração de emprego.

Assim, é possível dizer que a mineração é indispensável ao desenvolvimento socioeconômico. Contudo, a atividade mineradora é responsável por diversos problemas provocados no meio ambiente (SOUSA, 2020).

3.2. Mineração no Pará

O Estado do Pará abrange 14,6% do território nacional, abriga 4% da população brasileira e desde 2019 é o maior produtor de minérios do Brasil, superando Minas Gerais. Destaca-se em primeiro lugar na produção de ferro, bauxita, cobre e caulim, além de ser grande produtor de manganês, níquel, calcário, ouro, gemas e outros minérios de uso na construção civil. Cerca de 90% dos produtos exportados pelo Estado, em 2019, foram oriundos da indústria extrativa mineral. Os municípios de Parauapebas e Canaã dos Carajás, na região sudeste do Pará, despontam como os maiores arrecadadores de recursos da Compensação Financeira pela Exploração de Recursos Minerais (CFEM) em todo o Brasil (SEMAS, 2020).

O setor de mineração tem sido um dos principais motores de crescimento econômico no Estado do Pará. (SEMAS, 2020). Suas exportações de minerais e metais, devido à qualidade e quantidade de suas minas de porte internacional, garantem divisas indispensáveis ao equilíbrio macroeconômico do País. Muito embora seja pequena a participação nos empregos diretos, os empregos totais gerados a partir dos investimentos em mineração se multiplicam por quatro, quando são considerados os empregos indiretos, os induzidos, e os da infraestrutura de apoio (SEICOM, 2013).

No limiar de uma nova perspectiva de desenvolvimento no Estado do Pará, a mineração tem um papel de grande importância econômica na construção deste cenário, pois já contribui com quase um terço do PIB mineral brasileiro. O Pará é um estado minerador, o que é medido pela expressiva participação da mineração tanto no PIB e nas exportações estaduais, como nos mercados interno e externo, mas esse potencial ainda não é suficientemente conhecido pela maioria de sua população (SEICOM, 2013).

A década de 1960 pode ser considerada o marco da inserção do Pará na história da mineração brasileira; a partir dessa década, muitas descobertas foram feitas, minas exploradas, impactos socioeconômicos positivos e negativos produzidos e, principalmente, a vida de milhares de pessoas alterada em razão da atividade minerária (SEICOM, 2013).

As reservas de ferro e bauxita merecem destaque, pois possibilitaram a implantação de grandes projetos mineiros ou de indústrias extrativas, que, nas décadas de 1970 e 1980, deram início à exploração mineral das jazidas de grande porte de bauxita, em Oriximiná (Mineração Rio do Norte (MRN) – 1979), e de ferro, na Província Mineral de Carajás (Vale – 1986), em Parauapebas. Outras reservas minerais importantes deram origem a empreendimentos mineiros de médio e grande porte, como: mina de caulim no município de Ipixuna do Pará (Imerys e Pará Pigmentos S.A. – 1996); mina de bauxita da MRN, em Oriximiná, alimentando o Complexo Albrás-Alunorte para produção de alumínio/alumina no município de Barcarena (Vale); Projeto Cobre do Sossego (2004), em Canaã dos Carajás; Projeto Paragominas (Vale – 2007), para produção de bauxita em Paragominas; Projeto Vermelho (Vale – 2007), na produção de níquel em Canaã dos Carajás; Projeto Onça-Puma, em Ourilândia do Norte; Projeto Juruti (Alcoa – 2007), para produção de bauxita no município de Juruti (JOÃO, 2013).

A ativação desses empreendimentos dinamizou a economia paraense, que passou a ser fortemente impulsionada pelo setor mineral (JOÃO, 2013).

No Pará, a descoberta da principal e mais exuberante reserva mineral de ferro localizada na serra dos Carajás, em 1967, foi fundamental para determinar a vocação mineral do estado, sendo decisiva para consolidar a história da Vale, empresa originalmente estatal fundada em 1942, que, nos primeiros anos de atividade em Minas Gerais, produzia cerca de quatro milhões de toneladas de minério de ferro, quase que totalmente destinadas à Companhia Siderúrgica Nacional (CSN). A partir de 1984, a Vale passou a lavrar as jazidas de ferro de Carajás, que possuíam uma reserva total de 18 bilhões de toneladas de minério de ferro de alto teor, produzindo inicialmente cerca de 25 milhões de toneladas/ano, o que projetava uma expectativa de 720 anos de exploração para a exaustão da reserva. Todavia, em 2007, a Vale já alcançava uma produção total de 91,7 milhões de toneladas, diminuindo a expectativa de exploração para metade do período previsto (JOÃO, 2013).

Localizado no município de Canaã dos Carajás, no sudeste do Pará, o Projeto S11D de minério de Ferro é o maior complexo minerador da história da Vale. O Projeto S11D entrou em produção em 2016 (VALE, 2018).

Além do megaempreendimento mineiro a partir da reserva de classe mundial do ferro de Carajás, a Vale desenvolve outros projetos voltados à produção mineral na Província de Carajás, com destaque para o níquel do Projeto Onça-Puma, no município de Ourilândia do Norte, que entrou em produção em 2011. Das reservas minerais de cobre paraense, a Vale está operando produtivamente, desde 2004, o Projeto de Cobre do Sossego, com a produção de concentrado de cobre. Outras reservas minerais cupríferas estão representadas no portfólio de empreendimentos mineiros da Vale, como o Projeto Salobo, no município de Marabá, com que entrou em produção em 2012. As reservas minerais de cobre de Alemão, 118 e Cristalino deverão ser transformadas pela Vale em projetos mineiros na década de 2020 (JOÃO, 2013).

O Projeto Níquel do Vermelho foi desenvolvido primeiramente pela Vale com o objetivo de se tornar sua principal operação de níquel-cobalto. Foi realizado um extenso trabalho no Projeto nas etapas de Escopo (Avaliação Econômica Preliminar), Estudo de Pré-Viabilidade e Estudo de Viabilidade. A Vale relatou sua decisão de implantação do projeto em 2005, no entanto, no fim

do mesmo ano, ela optou por suspender o projeto após aquisição da empresa canadense de níquel Inco. Em dezembro de 2017, a Horizonte Minerals chegou a um acordo com a Vale para adquirir 100% do Projeto Níquel do Vermelho que ainda encontra-se sem data para entrar em operação (HORIZONTE MINERALS, 2022).

No final dos anos 1960, como fruto das campanhas de prospecção e de pesquisa mineral encetadas na região da Serra dos Carajás, foram definidas novas jazidas de minério de manganês no sul do Pará: Igarapé do Azul, Buritirama e Sereno. Em 2002, foi iniciada a operação da mina de Buritirama, localizada em Marabá, e em 2020 ela foi a maior produtora de minério de manganês do Brasil (DAMASCENO, 2007) (ANM, 2020b).

Na década de 80, aconteceu a nova corrida ao ouro na Amazônia, tendo como papel de destaque a produção garimpeira, no garimpo de Serra Pelada em Curionópolis (SILVA, 2012).

De acordo com Silva (2012) a história da mineração do Pará se confunde com a da Amazônia tendo o referido Estado o papel de protagonista. A evolução histórica da indústria mineral paraense praticamente direciona a história mineral da Amazônia.

Ainda que a atividade garimpeira faça parte da formação histórica do Pará, a mineração formal e de larga escala passou a ter importância no Estado somente a partir dos anos 1960 (SEICOM, 2013).

A seguir são listados os principais eventos da mineração no Pará (SEICOM, 2013), (VALE, 2018):

1958 – Nilçon Pinheiro descobre ouro no Tapajós; Predomínio da atividade garimpeira.

Pesquisa fortalecida: 1960 – bauxita (ALCAN); Manganês (US Steel); 1967 – Ferro (Carajás) e manganês (US Steel); 1969 – Titânio (CODIM); 1970 – Bauxita (RTZ);

Mais de 15 novas reservas descobertas na década de 1970;

1976 – Início de operação da Caulim da Amazônia (Cadam) em Almeirim;

1979 – Início de operação da MRN;

1985 – Início de operação da Companhia Vale do Rio Doce (CVRD) (ferro e manganês) em Parauapebas; Bauxita em Almeirim (Santa Lucrécia);

1991 – Ouro em Parauapebas (Igarapé Bahia/CVRD);

1995 – Alumina em Barcarena (Alunorte);

- 1997 – Caulim em Ipixuna do Pará (Pará Pigmentos CVRD/Cadam); Caulim em Ipixuna do Pará (Imerys Rio Capim Caulim);
- 2002 – Manganês em Marabá (Buritirama);
- 2003 – Bauxita em Paragominas (Vale-Hydro);
- 2004 – Calcário para cimento em Itaituba (CBE); Cobre em Canaã dos Carajás (Sossego/Vale);
- 2005 – Bauxita em Juruti (Alcoa);
- 2007 – Ouro em Itaituba (Serabi);
- 2011 – Níquel em Ourilândia do Norte (Onça-Puma/Vale);
- 2012 – Cobre em Marabá (Salobo/Vale);
- 2016 – Ferro em Canaã dos Carajás (S11D/Vale).

As principais cadeias produtivas minerais do estado do Pará são do: Alumínio-Alumina-Bauxita; Cobre; Ferro e Aço; Manganês; Níquel; Água Mineral; Agregados para Construção Civil; Argila para Cerâmica Vermelha; Calcário; Caulim; Fosfato; Gemas, Metais Preciosos e Joias (SEICOM, 2013).

3.3. Impacto Ambiental da Mineração

A atividade mineraria, como atividade econômica, possui uma relação peculiar, embora intrínseca com o meio ambiente, mas essencial para o setor produtivo, contribuindo diretamente na produção de insumos de bens industriais (SEMAS, 2020).

De fato, não se pode afastar a exploração mineraria e o aspecto ecológico no qual está inserida e atrelada e, neste contexto, a mineração possui regramento próprio, pautado na peculiaridade da atividade, marcada pela rigidez locacional, ainda que estejam localizadas em áreas ambientalmente relevantes e protegidas (SEMAS, 2020).

Diante deste cenário, para uma atividade que por sua essência e causadora de potencial dano ambiental, a regulação desta, vem como instrumento necessário para um crescimento

econômico aliado a preservação e preocupação com o meio ambiente e com a sociedade (SEMAS, 2020).

De acordo com Silva (2007), a Mineração causa um impacto considerável. Ela altera intensamente a área minerada e as áreas vizinhas, onde são realizados os depósitos de estéril e de rejeito. Além disso, quando existe a presença de substâncias químicas nocivas no estágio de beneficiamento do minério, isso pode manifestar um problema sério no panorama ambiental.

Segundo Barreto (2001), a mineração é considerada como atividade potencialmente poluidora do meio ambiente e, portanto, recebe um tratamento da gestão pública ambiental comum a todas as atividades que efetiva ou potencialmente degradam a qualidade ambiental.

Ainda de acordo com a Resolução CONAMA 1 de 1986, a mineração é considerada atividade potencialmente poluidora, o que implica certas restrições e até proibição para o seu exercício em determinadas áreas, a saber: áreas definidas como intocáveis, áreas de conservação e áreas indígenas, essas últimas onde somente podem ser exercidas atividades com autorização do Congresso Nacional. Ou seja, a característica poluidora da atividade mineral não implica proibição do seu exercício em determinadas Unidades de Conservação. Contudo, exige-se a prévia autorização do órgão ambiental responsável pela administração da Unidade de Conservação (Lei 7.805/89). De acordo com Antunes (1996), *“a exclusão da mineração somente poderá ser concebida se, no estudo de impacto ambiental, ficar demonstrado que os efeitos nocivos das atividades de mineração, na unidade específica, não podem ser mitigados adequadamente”* (BARRETO, 2001).

A mineração é hoje uma das mais importantes atividades econômicas do Brasil, inegavelmente dela decorreram impactos sociais, econômicos e ambientais negativos. Entretanto, esses impactos podem ser minimizados, se a atividade for planejada e executada dentro do conceito de sustentabilidade (BARRETO, 2001).

De outro ponto de vista, Silva (2007) destaca que a mineração altera o meio ambiente, mas é uma atividade econômica básica da economia mundial. “Através desta, o homem extrai recursos naturais que alimentam toda a economia. Sem ela, nenhuma das atividades subsequentes pode existir”.

A mineração possui grande importância para a economia nacional e para o desenvolvimento do país, tendo em vista que fornece matérias-primas para diversos setores, como as indústrias de transformação, fertilizantes, cimento, construção civil e petroquímica. Levando em conta o meio ambiente, a mineração apresenta alguns impactos negativos, tendo em vista que os bens minerais são extraídos da crosta terrestre gerando alteração na estrutura física do relevo.

De acordo com Silveira et al. (2013), além dos impactos ambientais causados na extração do minério, há também os causados pela quantidade de resíduos gerados. Nas mineradoras este número é significativo e seu aproveitamento ainda se encontra bastante reduzido, sendo necessária a busca de alternativas para utilização desta matéria prima.

É notória a importância da Indústria da Mineração para o desenvolvimento econômico do país, o que evidencia também a necessidade e relevância em se discutir questões ambientais (SANTIAGO, 2018).

A constante preocupação com a responsabilidade social e a sustentabilidade faz com que as organizações desenvolvam medidas para avaliação do desempenho ambiental acreditando que adotando melhores práticas sustentáveis os ganhos serão maiores a médio ou longo prazo (SANTIAGO, 2018).

Como é salientado por Savi; Filho e Savi (2006), o setor industrial é um dos maiores responsáveis pela degradação ambiental, haja vista a questão dos processos emitirem no meio ambiente grande quantidade de resíduos e muitas vezes sem o tratamento adequado.

A solução ou minimização desses impactos ambientais envolve uma nova atitude dos gestores, estes devem considerar o meio ambiente em suas decisões e assumir convicções administrativas e tecnológicas que auxiliem no aumento da capacidade de sustento do mundo (BARBIERI, 2011). Nesse sentido, é necessário que os engenheiros busquem a melhoria permanente, fazendo uso da tecnologia no ramo de suas atividades sem prejudicar o meio ambiente (SAVI; FILHO; SAVI, 2006).

De acordo com o Relatório Brundtland da COMISSÃO MUNDIAL SOBRE MEIO AMBIENTE E DESENVOLVIMENTO (1988), para que exista desenvolvimento sustentável é preciso atender as necessidades da atual geração, sem colocar em perigo a capacidade das

futuras de satisfazer as suas. Para isso é preciso atender as demandas atuais utilizando de um manejo eficiente dos meios físicos e bióticos do ecossistema. Nesse contexto, a pressão sobre as empresas de onde são retiradas as commodities minerais está cada vez maior. Da mesma forma, tem aumentado a preocupação e atenção sobre temas socioambientais por parte dos consumidores, sociedade e governo (MOREIRA, 2003).

Acerca disso, Couto e Silva (2014) destacam que em virtude dos grandes prejuízos ao meio ambiente, como o desmatamento, poluição, escassez de recursos naturais e o uso demasiado de produtos químicos no solo, as pessoas passaram a constatar que o modo que vinham utilizando os recursos naturais não era o correto e a partir daí surgiu a preocupação a cerca das questões socioambientais.

No ponto de vista organizacional, Castro (2012) acredita que um dos principais motivos que levam uma empresa a se adequar a princípios sustentáveis é a necessidade de sobrevivência no mercado, ou seja, visualizam que podem continuar competitivas e oferecer produtos de qualidade, melhorar os processos e diminuir os impactos ambientais.

Nesse seguimento, Couto e Silva (2014) declaram que “as grandes organizações tem investido em projetos socioambientais de modo a modificar suas formas de atuação, buscando serem vistas com outros olhos”.

De acordo com Zambon e Ricco (2011), existem comprovações de que ações sustentáveis podem gerar uma variedade de recompensas para as empresas; como imagem, reputação, relacionamento, vendas, produtividade dos funcionários e lucro.

Mendes (2018) afirma que para a atividade econômica da mineração, com todas as suas etapas o que mais preocupa atualmente os pesquisadores são seus depósitos de rejeitos. Estes são removidos das áreas de produção, onde geralmente são depositados próximos a cursos d'água, o que gera uma maior preocupação quando estes cursos possam a vir a atingir comunidades e localidades próximas.

Dispositivos legais gradativamente trouxeram, na maioria dos países ocidentais, um fim à disposição incontrolada de rejeitos com o cessamento de práticas inadequadas ambientalmente que ocorriam e, a partir do século XX, as indústrias investiram na construção das primeiras barragens de contenção de rejeitos (MENDES, 2018).

Mas além da criação de medidas legais e protetivas ao meio ambiente também é exigido fiscalização. Como quando adequamos resíduos industriais quanto ao risco de sua exposição a natureza está apontada na norma ABNT NBR 10.004 de 2004, classificação de resíduos sólidos, onde os resíduos são classificados como: classe I – perigosos; classe II – não-inertes; classe III – inertes. A classificação de resíduos sólidos envolve a identificação do processo ou atividade que lhes deu origem, de seus constituintes e características e a comparação destes constituintes com listagem de resíduos e substâncias cujo impacto à saúde e ao meio ambiente é conhecido.

Essa classificação baseia-se na presença de certas substâncias perigosas, relacionadas na norma, comparação com as listagens existentes na mesma, para definição da classe (SISINNO, 2003).

O impacto gerado pelas barragens de rejeito, acabam provocando o desmatamento e imobilizando grandes áreas superficiais, bem como o custo adicional gerado no processo por transporte, disposição e armazenamento destes rejeitos (REIS e LIMA, 2005). A gestão e a segurança de barragens de rejeitos já é uma preocupação constante no mundo, nos últimos anos, em virtude da ocorrência de acidentes com rupturas de consequências catastróficas, que têm resultado em elevado número de mortes, perdas econômicas substanciais e graves impactos ambientais (ANDRADE e JÚNIOR, 2013). Os estudos sobre estas áreas de barragens já vêm sendo feita há algum tempo, e alguns estão sob a coordenação da ANM.

Assim como toda exploração de recurso natural, a atividade de mineração acarreta impactos no meio ambiente seja no que diz respeito à exploração de áreas naturais ou mesmo na geração de resíduos (VIVEIROS, 2017).

Silva (2007) e Castro et al. (2011) descreveram as barragens de rejeito como empreendimentos que apresentam significativos impactos ambientais associados, tais como:

- desmatamento na fase de construção;
- poluição da água superficial e subterrânea durante a operação e após o fechamento da mina;
- geração de poeira gerada na praia de rejeito; e
- impacto visual em todas as fases da vida útil da barragem.

Ainda no que diz respeito aos impactos ambientais, as águas direcionadas para as barragens de rejeito, de um modo geral, são reutilizadas no processamento de minérios e os sólidos, entretanto, irão compor essas barragens. Segundo Nascimento (2015), por mais que o descarte seja feito em uma barragem segura, o volume de rejeito cresce vertiginosamente, tornando-se além de um problema ambiental, uma questão econômica, pois o custo envolvido para armazenamento apenas aumenta, sem que uma destinação específica seja dada, resultando em uma grande problemática pelo fato de não existir um uso, e sem aproveitamento, sua destinação é continuar armazenado. Ademais, as barragens são normalmente, obras de engenharia de grande porte, dando origem a impactos ambientais desde a sua construção, que poderão persistir até mesmo após a sua desativação (ANDRADE, 2014). Podendo ocasionar grandes danos em decorrência de seu rompimento, vazamento, infiltração no solo ou mau funcionamento.

O Instituto Brasileiro de Mineração - IBRAM (2013) afirma que as barragens de rejeito apresentam riscos significativos no que diz respeito à estabilidade e ruptura, interferência nas águas subterrâneas, restrições para uso futuro e falha no sistema de cobertura e drenagem. E vem propondo recomendações para o adequado gerenciamento dessas barragens.

Podemos evidenciar no Brasil algumas normas de regulamentação das ações com vistas à segurança e minimização de impactos ambientais em todas as fases da vida útil de uma barragem, tais como:

- Lei Federal n. 6938/81 - estabelece a Política Nacional do Meio Ambiente (PNMA) e inclui, em seu Art. 18, a Avaliação de Impactos Ambientais (AIA) como parte integrante do processo de licenciamento de atividades e empreendimentos efetiva ou potencialmente poluidores ou causadores de degradação ambiental;
- Resolução CONAMA n. 01/86 - estabelece critérios básicos e diretrizes para o uso e implementação da AIA.
- Lei Federal n. 12334/10 - estabelece a Política Nacional de Segurança de Barragens (PNSB).

Tão relevante é o tema em questão que o reaproveitamento dos rejeitos das barragens tem sido foco de discussões em empresas, órgãos ambientais e no meio acadêmico. A progressiva tendência mundial sobre sustentabilidade ambiental propicia o desenvolvimento científico. No ramo das engenharias, além da preocupação em melhorar processos produtivos, é evidente o esforço para reaproveitar resíduos e reduzir o impacto ambiental causado pela disposição destes na natureza (VIVEIROS, 2017).

3.4. Resíduos Sólidos da Mineração

A Lei nº 12.305 de 02 de agosto de 2010, que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos - PNRS, define resíduos sólidos como “Material, substância, objeto ou bem descartado resultante de atividades humanas em sociedade, a cuja destinação final se procede, se propõe proceder ou se está obrigado a proceder, nos estados sólido ou semissólido, bem como gases contidos em recipientes e líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou em corpos d’água, ou exijam para isso soluções técnica ou economicamente inviáveis em face da melhor tecnologia disponível.”

Já de acordo com a United States Environmental Protection Agency - EPA (1995), o conceito geral de resíduo sólido consiste em “resto das atividades humanas considerados pelos geradores como inúteis, dispensáveis ou descartáveis.

Conforme Cincotto (1988), a denominação resíduo é circunstancial. Refere-se a um material acumulado sem destinação. A partir do momento em que há um estudo sobre suas características sobre uma provável utilização passa a ser denominado subproduto.

A respeito da disposição final dos produtos, a Política Nacional de Resíduos Sólidos - PNRS, adota a seguinte classificação para os resíduos sólidos (Quadro 1):

Quadro 1. Classificação dos resíduos

I – Quanto à origem	Características
Resíduos domiciliares	Provenientes de atividades domésticas em residências urbanas;
Resíduos industriais	Gerado nos processos produtivos e instalação industriais
Resíduos de serviço da saúde	Gerado nos serviços de saúde, conforme regulamento ou normas do Sistema e do SNVS;
Resíduos da construção civil	Gerados nas construções, reformas, reparos e demolições de obras de construção civil;
Resíduos de serviços de transporte	Originários de portos, aeroportos, terminais alfandegários, rodoviários, ferroviários e passagem de fronteira;
Resíduos de mineração	Gerados nas atividades de pesquisa, extração ou beneficiamento de minérios.
II – Quanto à periculosidade	Características
Perigosos	Aqueles que em razão da inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade, patogenicidade, carcinogenicidade, teratogenicidade e mutagenicidade apresentam risco à saúde pública e ambiental;
Não perigosos	Aqueles que não se enquadram nas características listadas dos resíduos perigosos

Fonte: Adaptado da Política Nacional de Resíduos Sólidos. BRASIL (2010)

Como mostrado no Quadro 1, os resíduos de mineração são gerados nas atividades de pesquisa, extração ou beneficiamento de minérios.

Na atividade de mineração, existem dois tipos principais de resíduos sólidos: os estéreis e os rejeitos. Os estéreis são os materiais escavados, gerados pelas atividades de extração (ou lavra) no decapeamento da mina, não têm valor econômico e ficam geralmente dispostos em pilhas. Os rejeitos são resíduos resultantes dos processos de beneficiamento a que são submetidas às substâncias minerais. Estes processos têm a finalidade de padronizar o tamanho dos fragmentos, remover minerais associados sem valor econômico e aumentar a qualidade, pureza ou teor do produto final (SILVA; VIANA; CAVALCANTE, 2012).

Além disso, os rejeitos podem conter elevado grau de toxicidade, partículas dissolvidas e em suspensão, metais pesados e reagentes (GOMES, 2017).

Edraki et al. (2014) definem os rejeitos da mineração como grãos finos de rocha oriundos de processos de beneficiamento mineral que envolvam água, podendo conter metais dissolvidos e reagentes previamente utilizados.

Ainda segundo a PNRS, rejeitos são “resíduos sólidos que, depois de esgotadas todas as possibilidades de tratamento e recuperação por processos tecnológicos disponíveis e

economicamente viáveis, não apresentem outra possibilidade que não a disposição final ambientalmente adequada” (BRASIL, 2010).

De acordo com a NBR 13028 (ABNT, 2017), rejeito é “todo e qualquer material não aproveitável economicamente, gerado durante o processo de beneficiamento de minérios”.

3.5. Geração e Disposição de Rejeitos da Mineração

A produção dos minerais apresenta, relacionadas ao seu processo produtivo, as etapas de preparação da área, extração ou lavra, beneficiamento e comercialização do minério. A extração ou lavra consiste na retirada, normalmente a céu aberto, do mineral que contém um teor economicamente viável. Em seguida, o material extraído é direcionado para o beneficiamento. Em decorrência desta etapa grandes volumes e massas de resíduos misturados à água são gerados, material a que se dá o nome de rejeito (BRASIL, 2015).

Depois de produzido, o rejeito é disposto em pilhas, por empilhamento a seco ou em barragens, dentre outros. Entretanto, segundo a Fundação Estadual do Meio Ambiente - FEAM (2011), as barragens caracterizam a principal forma de disposição de rejeitos, armazenando em torno de 85 % dos rejeitos de mineração. Na NBR 13028 (ABNT, 2017), barragem é definida como “qualquer estrutura que forme uma parede de contenção de rejeitos, para sedimentos e/ou para formação do reservatório de água”.

Nos processos de tratamento de minérios a quantidade gerada de rejeitos é muito alta, e o destino final dos mesmos é função dos objetivos econômicos da empresa (GOMES, 2017).

Abreu (2012) relembra que tanto os estéreis quanto os rejeitos são dispostos na superfície de terrenos, em locais pré-selecionados e onde não exista minério em subsuperfície. As mineradoras, independente da lavra a céu aberto ou subterrânea, são responsáveis pela disposição dos seus resíduos.

O Conselho Nacional de Recursos Hídricos – CNRH, ao abordar a lei Nº 12.334, de 20 de setembro de 2010 define o sistema de disposição de estéril como uma estrutura projetada e implantada para acumular materiais, em caráter temporário ou definitivo, de modo planejado e

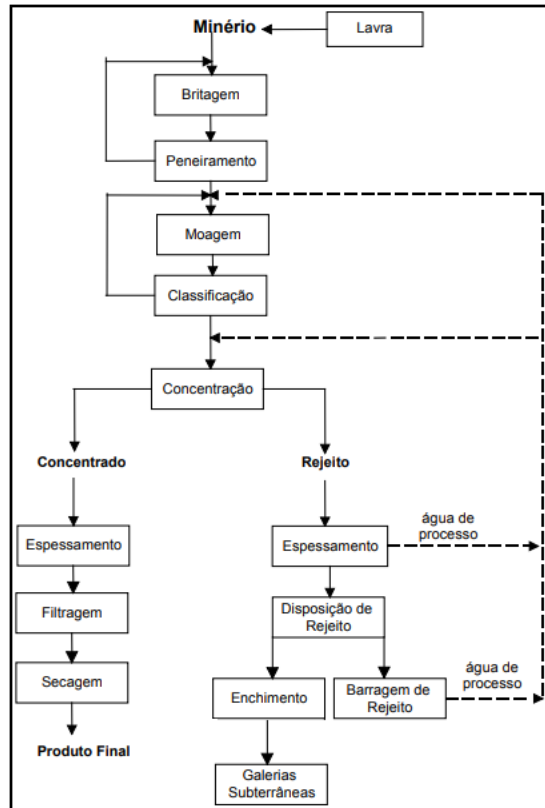
controlado em condições de estabilidade geotécnica e protegidos de ações erosivas. Define também o sistema de disposição de rejeitos como estrutura de engenharia para contenção e deposição de resíduos originados de tratamento de minérios, captação de água e correção química de efluentes (GOMES, 2017).

Assim, as barragens de rejeitos são estruturas construídas com a finalidade de reter os descartes produzidos pelo processo de beneficiamento. Representam uma fonte de poluição importante, sendo a sua construção, e fatores que vão desde a escolha da localização até o fechamento, regidos por normas ambientais específicas, além de critérios econômicos, geotécnicos, estruturais, sociais e de segurança (GOMES, 2017).

Edraki et al. (2014) salientam que os resíduos sólidos podem conter finos e lamas que afetam/prejudicam a estabilidade das instalações do seu próprio armazenamento.

Os rejeitos são gerados durante o processo de tratamento dos minérios, sendo encaminhados para as barragens para sua contenção. A Figura 1 exemplifica o processo de beneficiamento geral dos minérios, onde é possível visualizar as etapas até a produção final do rejeito e seu descarte nas barragens.

Figura 1 - Fluxograma típico do beneficiamento de minérios.



Fonte: Luz e Lins, (2010)

No Tratamento de Minérios, a maioria das operações unitárias é realizada a úmido. Antes de se ter um rejeito para ser transportado, ou mesmo adequado para a sua disposição, é necessário recuperar parte da água do mesmo. Para isso utilizam-se as operações de desaguamento (espessamento e filtragem) (SOARES; BOSCOV, 2018).

O tratamento de minérios não chega a ser uma fonte de grande contaminação ambiental, em comparação com outras atividades industriais. Porém, é inegável que o descarte dos rejeitos das usinas de beneficiamento pode eventualmente resultar num apreciável fator de poluição ou impacto ambiental, se não for disposto adequadamente. Medidas preventivas ou corretivas são geralmente necessárias, especialmente, com rejeitos de minérios metálicos e carvões (SOARES; BOSCOV, 2018).

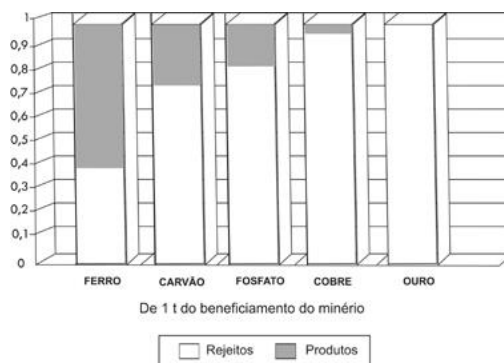
Há uma pressão crescente na mineração para que os rejeitos de beneficiamento, ao invés de depositados a céu aberto, sejam usados, por exemplo, para preenchimentos de cavas de minas (“back-fill”), visando à restauração das áreas mineradas, ou que sejam cuidadosamente dispostos. Uma tendência também existe para o estudo do aproveitamento de rejeitos de atividades minerais, como alternativa a outros materiais, a exemplo de areia artificial a partir de finos de brita, o emprego de rochas contendo potássio para uso como fertilizante, rejeitos de beneficiamento de minério de ferro para utilização em estradas em substituição à brita, entre vários outros casos (SOARES; BOSCOV, 2018).

As atividades relacionadas à produção mineral geram um volume significativo de resíduos durante os processos de lavra e beneficiamento. A disposição desses resíduos, à semelhança daqueles resultantes de atividades industriais, urbanas ou de pesquisas nucleares, é, na atualidade, um contratempo à indústria mineral (SOARES; BOSCOV, 2018).

A crescente demanda mundial por bens minerais, aliada ao desenvolvimento econômico e tecnológico, torna economicamente viável o aproveitamento de minérios de baixo teor ou mesmo aqueles de difícil beneficiamento (SOARES; BOSCOV, 2018).

Esta situação conduz a um aumento expressivo na quantidade de rejeitos produzidos, superando, em muito, aquela advinda dos próprios minérios. Na Figura 2, ilustram-se as quantidades médias de rejeitos e produtos gerados nos processos de beneficiamento (SOARES; BOSCOV, 2018).

Figura 2 - Quantidade média de rejeitos gerada nos processos de beneficiamento.



Fonte: SOARES; BOSCOV, 2018

No presente, a deposição em barragens é a tecnologia mais utilizada para disposição dos rejeitos de mineração. Outros métodos mais seguros que vêm ganhando importância são o desaguamento e a secagem dos rejeitos. Deve-se também ter como horizonte o reaproveitamento dos rejeitos como um bem mineral ou como material a ser aplicado na construção civil, agricultura ou como insumo industrial. O avanço tecnológico e a escassez de bens minerais tendem a viabilizar esta solução, desejável em termos de conservação do meio ambiente e de redução de riscos (SOARES; BOSCOV, 2018).

Uma das preocupações da Indústria Extrativa Mineral é a geração de rejeitos da mineração e seu manejo como, por exemplo, os riscos na disposição utilizando barragens.

Um levantamento feito por Aguiar (2013) constatou que aproximadamente 49 milhões de metros cúbicos de rejeito de minério de ferro foram descartados em 2010 em barragens no estado de Minas Gerais. Os resíduos sólidos são os principais responsáveis pelo impacto ambiental nas atividades mineradoras. O tratamento e o armazenamento destes descartes visam minimizar os custos e maximizar a segurança operacional. Esses dois fatores constituem um dos principais objetivos das mineradoras para cumprir as exigências ambientais, uma vez que a sua disposição dos resíduos é catalogada como um custo adicional sem retorno dentro do projeto.

Por um lado, a disposição controlada dos rejeitos parece causar um aumento do custo de produção sem trazer benefícios imediatos para a empresa mineradora. Ademais, a tecnologia aplicada ao projeto e construção de barragens não acompanha a evolução tecnológica dos projetos de mineração. Por outro lado, as consequências sociais, ambientais e econômicas desastrosas dos acidentes em barragens de rejeitos indicam a necessidade premente de elevar o patamar tecnológico da disposição. O investimento em tecnologia deve compreender: diminuição da geração de rejeitos através da melhoria das técnicas de lavra e beneficiamento; desaguamento e/ou reaproveitamento dos rejeitos; aprimoramento do projeto, operação e monitoramento das barragens; e planejamento de ações de emergência em casos de acidentes.

A construção das barragens pode se dar por meio de processos tradicionais (de terra compactada, por exemplo), pela utilização do próprio material resultante do beneficiamento ou, ainda, com o estéril (SOARES; BOSCOV, 2018).

Tais estruturas devem atender às exigências de proteção ambiental e de segurança, além de inserir-se como parte integrante do processo produtivo, atendendo, por exemplo, as necessidades de recuperação e introdução da água nos circuitos da mina e da usina de concentração (SOARES; BOSCOV, 2018).

A crescente geração de rejeitos tem conduzido a um aumento significativo das estruturas armazenadoras, fazendo com que, atualmente, as barragens de rejeitos encontrem-se entre as importantes obras da mineração. Concomitantemente ao aumento das dimensões dessas barragens, os vários acidentes ocorridos com as mesmas despertam a atenção da comunidade técnico-científica e de autoridades governamentais para a questão de segurança destas obras. A facilidade de operação e a inserção segura da obra no meio ambiente, associada à sua viabilidade econômica, são requisitos básicos de um sistema de disposição de rejeitos em barragens (SOARES; BOSCOV, 2018).

3.6. Aproveitamento de Rejeitos

Com o passar dos anos tem-se verificado o aumento das reservas minerais. E, como consequência, o aumento de empresas no setor mineral. A maior produção de resíduos das minerações é uma consequência desse aumento, e então mais barragens de rejeito são construídas. Porém, a obra de uma barragem é complexa e cara, e o reuso do rejeito produzido pela mineração faz com que menos resíduo seja lançado nas barragens, diminuindo os custos de capital e operacional das construções e também o impacto ambiental. Levando em consideração esses fatores surgiu a ideia de reaproveitar esses resíduos, e então estudos têm sido feitos na busca por um desenvolvimento sustentável na mineração (LAGE, 2018).

O aproveitamento de rejeitos acumulados bem como a redução da sua geração é imprescindível para o setor mineral. O acidente de Mariana, em 5 de novembro de 2015, ligou o alerta de várias empresas mineradoras, que começaram a tornar públicas suas ações com objetivo de reduzir o consumo de água e energia, e, conseqüentemente, a geração de rejeitos. Para isso, a busca pelo desenvolvimento sustentável da mineração passou a figurar como

importante meta dos diversos setores que atuam na área, onde a geração de tecnologias tornou-se fundamental. Esperava-se que a tragédia não se repetisse. No entanto, em 25 de janeiro de 2019, Brumadinho também sofreu um trágico acidente com o rompimento de sua barragem. Será que isso poderia ter sido evitado? (SÁ et al., 2021)

A busca por tecnologias que resultem no aproveitamento dos rejeitos de forma eficiente poderia reduzir a quantidade de rejeito dispostos nas barragens. Segundo Moraes et al. (2017b), muitas pesquisas empregando os rejeitos gerados pela mineração têm sido realizadas no Brasil e em diversos países no mundo, sendo que foram identificados, nos últimos 15 anos, mais de 500 artigos envolvendo as substâncias minerais produzidas no Brasil (SÁ et al., 2021).

Em 2017, a temática mineração era alvo de pesquisas em 41 instituições de Ciência, Tecnologia e Inovação espalhadas em 17 estados brasileiros, com destaque para o Estado de Minas Gerais, um dos principais produtores de minérios do país. O número de grupos de pesquisa estudando o tema mineração era 68, sendo que havia 25 linhas de pesquisas diretamente relacionadas ao reaproveitamento de rejeitos (MORAES et al., 2017a). As pesquisas abordam a aplicação de rejeitos em diversas áreas, como na construção civil e, particularmente, na engenharia rodoviária, em obras de pavimentação, onde os principais rejeitos estudados são provenientes dos minérios de ferro, bauxita, cobre e de tungstênio (SÁ et al., 2021).

O Pará é um dos principais estados mineradores do país e ainda, não se tem, um panorama dos estudos realizados no Estado sobre o tema aproveitamento de rejeitos nos últimos anos; logo, apresentar um estudo com essa temática torna-se de grande importância para os pesquisadores que pretendem atuar nessa área pois será possível identificar lacunas no estado da arte atual a fim de sugerir pesquisas adicionais.

4. MATERIAIS E MÉTODOS

De acordo com o Cadastro Estadual de Recursos Minerais da SEDEME (2022), o Pará é responsável atualmente pela extração de mais de 26 bens minerais, sendo que algumas substâncias minerais destacam-se pelo grande volume produzido e exportado, como os minérios de ferro, ouro, cobre e manganês. Nesse contexto e baseado no levantamento bibliográfico sobre barragens de contenção de rejeitos do Pará, foram selecionados para esse estudo seis produtos minerais: minério de ferro, cobre, manganês, ouro, alumínio (bauxita) e caulim.

Os procedimentos de pesquisa adotados nesse estudo se caracterizam como pesquisa bibliográfica e análise bibliométrica. Conforme Gil (2010), a pesquisa bibliográfica é elaborada com base em material já publicado, como livros, revistas, jornais, teses, dissertações e anais de eventos científicos.

Já a análise bibliométrica, de acordo com Costa et al. (2012), é um método quantitativo e estatístico que visa mensurar os índices de produção e propagação do conhecimento, bem como acompanhar o desenvolvimento de inúmeras áreas científicas, identificando por exemplo, os padrões de autoria e publicação.

A metodologia adotada nesse estudo consistiu de uma revisão bibliográfica sistemática de trabalhos presentes nas bases de dados Scopus, Google Acadêmico, repositórios de universidades paraenses (Universidade Federal do Pará - UFPA, Universidade Federal do Oeste do Pará - UFOPA, Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará - UNIFESSPA), e anais do Encontro Nacional de Tratamento de Minérios e Metalurgia Extrativa - ENTMME, com o intuito de obter diferentes classes de estudos realizada por meio de filtros, abrangendo o aproveitamento de rejeitos de minérios paraenses.

Foram utilizados como buscadores (palavras-chave) os termos: Aproveitamento de Rejeitos Pará, Rejeito de Caulim, Rejeito de Cobre, Rejeito de Minério de Ferro, Rejeito de Minério de Manganês, Rejeito de Ouro, Rejeito do Beneficiamento de Bauxita, bauxite ore tailing, bauxite washing residue, copper ore tailing, copper mining waste, gold ore tailing, gold mining waste, iron ore tailing, iron mining waste, kaolin ore tailing, kaolin mining waste, manganese ore tailing e manganese mining waste (sendo também utilizadas aspas para pesquisar o termo exato),

com o objetivo de serem retornados estudos focados na Reutilização dos Rejeitos oriundos da Indústria de Mineração Paraense. Seguiram-se como parâmetros de inclusão:

- a) Pertinência dos conteúdos em relação ao tema abordado neste trabalho;
- b) Trabalho completo;
- c) País de origem Brasil;
- d) Estar escrito em português ou inglês; e
- e) Publicado entre 01/01/2010 e 31/12/2020.

Foram excluídos todos os trabalhos publicados sem relação com o tema dessa pesquisa, fora do período e do país de origem selecionados, dos idiomas definidos e os trabalhos com disponibilidade mediante pagamento.

A realização da busca nos bancos de dados selecionados se deu através do acesso *on-line*, entre os meses de janeiro e março de 2022.

Para selecionar os trabalhos, utilizou-se inicialmente o título, sendo inclusos os títulos aderentes ao tema. Logo em seguida, pelo resumo, em que foram excluídos aqueles que não possuíam aderência aos temas abordados nesta revisão sistemática.

Para o diagnóstico das barragens de rejeitos de mineração foi realizada pesquisa bibliográfica nos sítios da internet da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA) e do Sistema Integrado de Gestão de Segurança de Barragens de Mineração - SIGBM da Agência Nacional de Mineração (ANM).

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1. Diagnóstico das Barragens de Rejeitos de Mineração do Brasil

De acordo com o Relatório de Segurança de Barragens 2020 da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA) existem 21.953 barragens, em geral, cadastradas por 33 órgãos fiscalizadores no Sistema Nacional de Informações sobre Segurança de Barragens (SNISB). Desse total, possuem informações sobre:

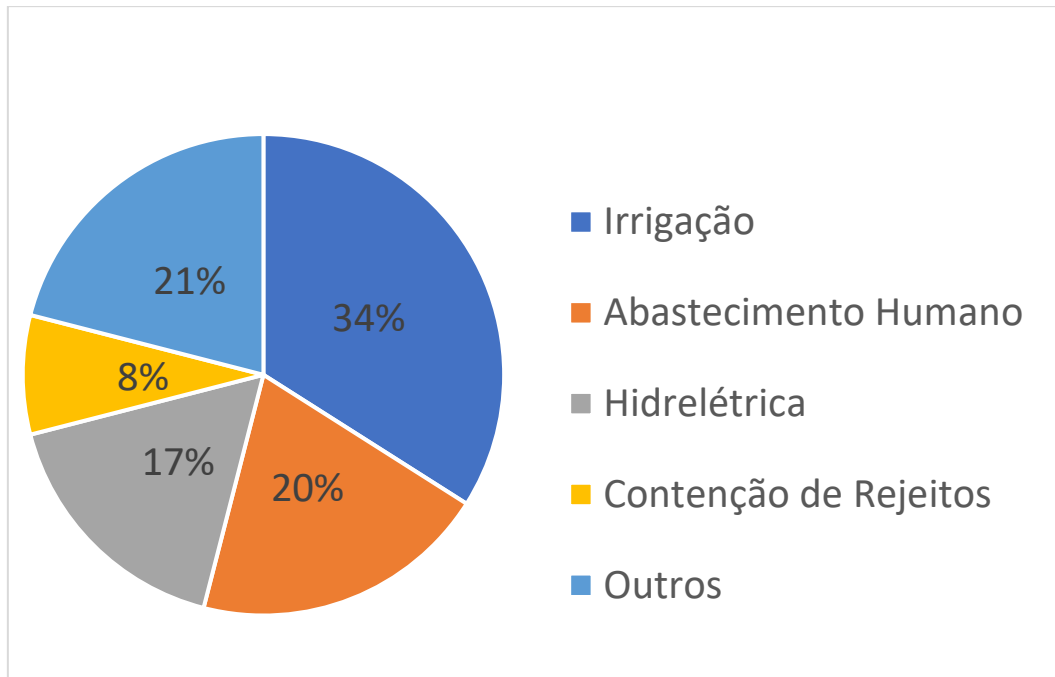
- Empreendedor - 44%;
- Capacidade - 79%;
- Altura - 47%,
- E autorização, outorga ou licenciamento - 43%;

Do total de barragens cadastradas, 5.591 estão submetidas à PNSB, 3.267 não, e o restante, que totaliza em torno de 60% das barragens cadastradas, não possuem informações suficientes para definir se a barragem é ou não submetida à Lei nº 12.334/2010.

No dia 14/10/2021, havia 902 barragens de mineração cadastradas no Sistema Integrado de Gestão de Segurança de Barragens de Mineração - SIGBM, das quais 450 enquadradas na Política Nacional de Segurança de Barragens – PNSB. Essas 902 barragens de mineração representam aproximadamente 4% do total de barragens (21.953).

Como pode ser observado na Figura 3, as barragens de contenção de rejeitos de Mineração são apenas 8% do total de barragens cadastradas SNISB submetidas à PNSB.

Figura 3 – Barragens cadastradas no SNISB conforme o uso principal em 2020.

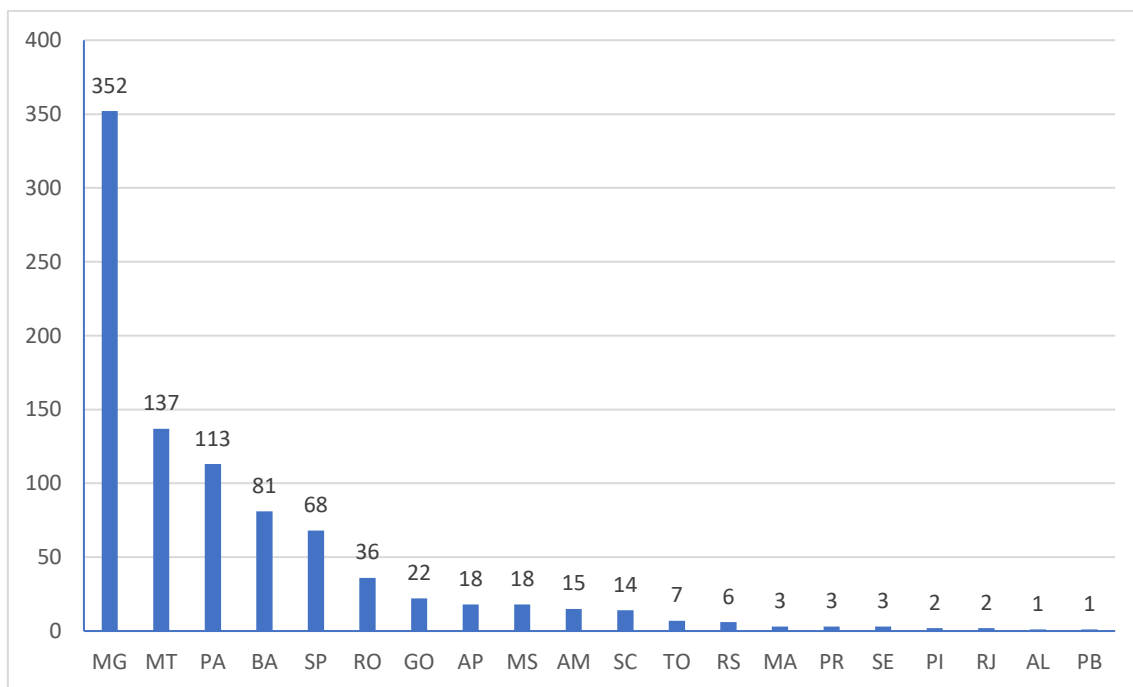


Fonte: Relatório de Segurança de Barragens 2020 da ANA.

5.2. Diagnóstico das Barragens de Rejeitos de Mineração do Pará

Segundo a ANM (2021), no Pará havia 113 barragens de mineração cadastradas no SIGBM, das quais 73 enquadradas na PNSB conforme mostrado na Figura 4.

Figura 4 – Quantitativo de barragens de contenção de rejeitos cadastradas no SIGBM por UF em 14/10/2021

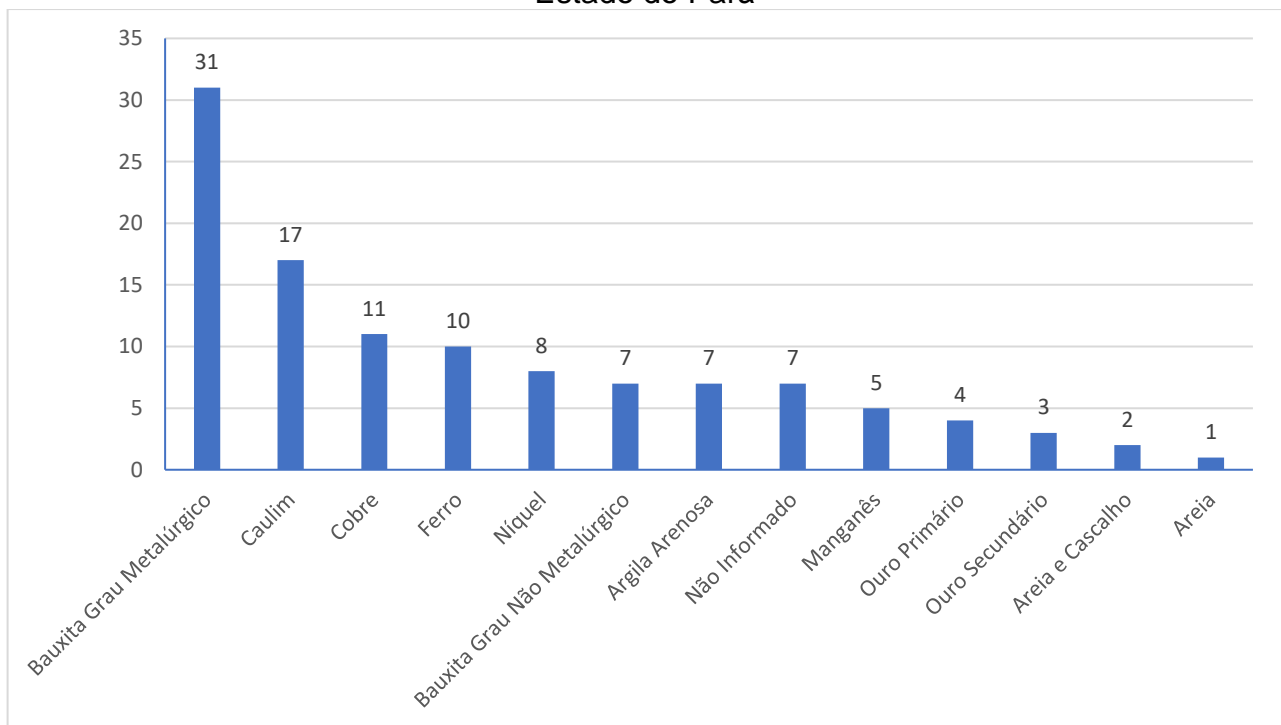


Fonte: SIGBM da ANM em 14/10/2021

De acordo com a Figura 4, o Estado do Pará encontra-se em 3º lugar em relação ao número de barragens de mineração ficando atrás dos Estados de Minas Gerais e Mato Grosso.

A Figura 5 mostra o número de barragens de rejeitos cadastradas no SIGBM por tipo de minério no Estado do Pará. É possível observar que o maior número de barragens de rejeitos é do processamento do bem mineral bauxita grau metalúrgico, entretanto os outros bens minerais processados no Pará também apresentam um número razoável de barragens de rejeitos.

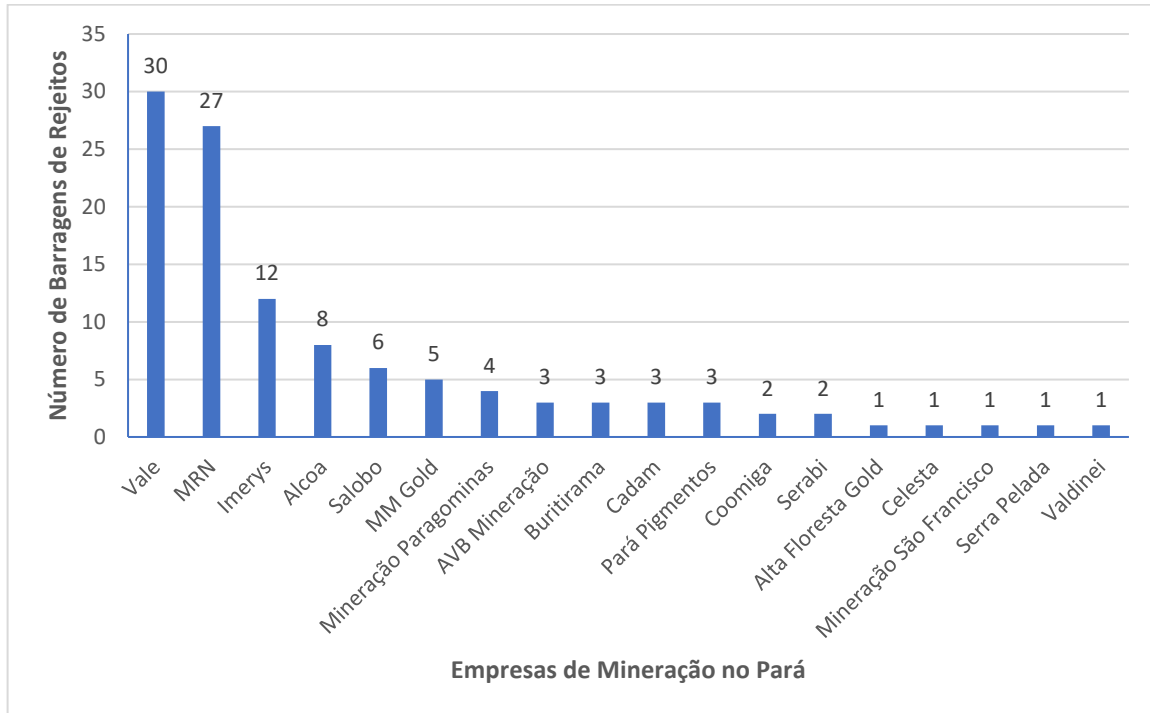
Figura 5 – Quantitativo de barragens de rejeitos cadastradas no SIGBM por tipo de minério no Estado do Pará



Fonte: SIGBM da ANM em 14/10/2021

Na Figura 6 é mostrado o número de barragens de rejeitos cadastradas por empresa no Estado do Pará. A Vale é a empresa que apresenta o maior número de barragens de rejeitos no Pará (30) sendo que a empresa Salobo pertence à Vale, totalizando 36 barragens de rejeitos. A Vale é seguida pela empresa Mineração Rio do Norte com 27 barragens de rejeitos e pela Imerys, com 12 barragens, sendo que a empresa Pará Pigmentos pertence à Imerys, totalizando 15 barragens de rejeitos.

Figura 6 – Quantitativo de barragens de rejeitos cadastradas por empresa no Estado do Pará



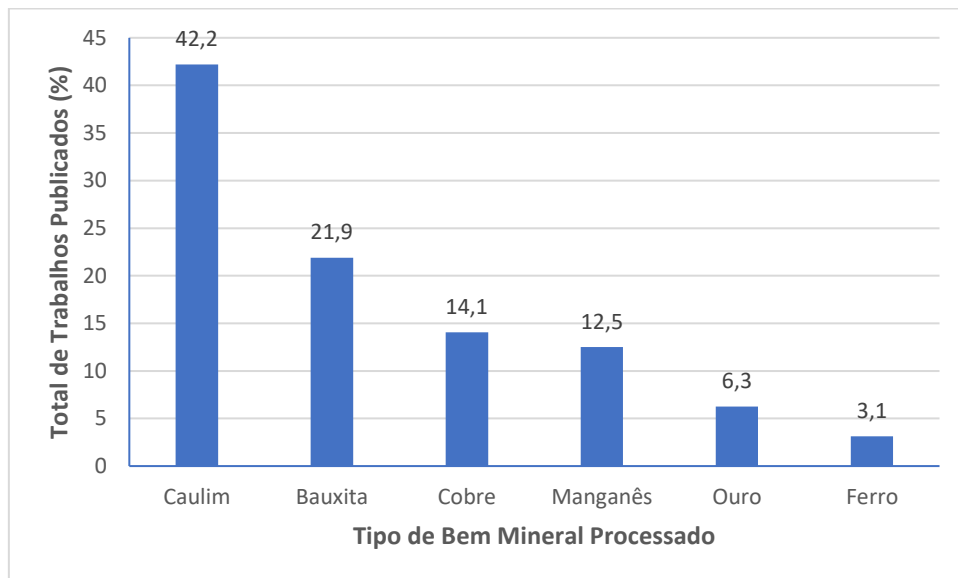
Fonte: SIGBM da ANM em 14/10/2021

5.3. Panorama do Estudos de Aproveitamento de Rejeitos de Mineração do Pará

Durante a busca nas bases de dados e seleção dos trabalhos de aproveitamento de rejeitos de Mineração do Pará publicados entre 2010 e 2020 foram encontrados 64 trabalhos pertinentes ao tema.

A Figura 7 mostra os trabalhos de aproveitamento de rejeitos de Mineração do Pará, publicados entre 2010 e 2020, por tipo de bem mineral processado.

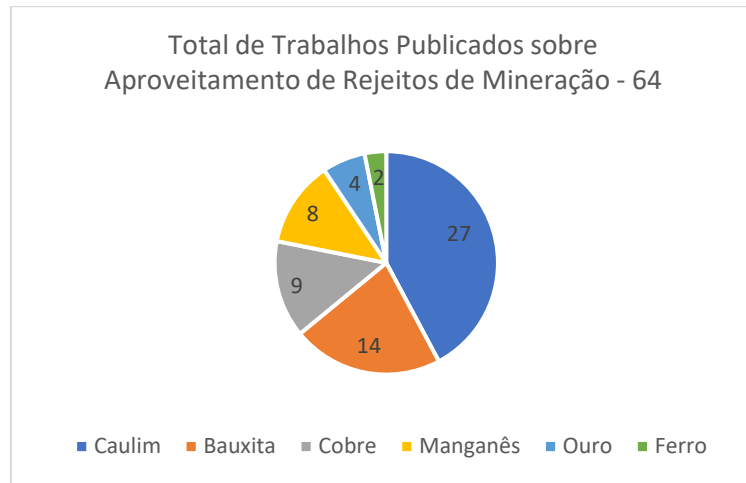
Figura 7 – Trabalhos Publicados (%) por Tipos de Rejeitos de Mineração



Fonte: Autoria do autor

Dentre os seis bens minerais mais produzidos no Estado do Pará, o Caulim é o que apresenta o maior número de trabalhos publicados de aproveitamento do rejeito gerado do seu processamento (42,2%) durante o período estudado.

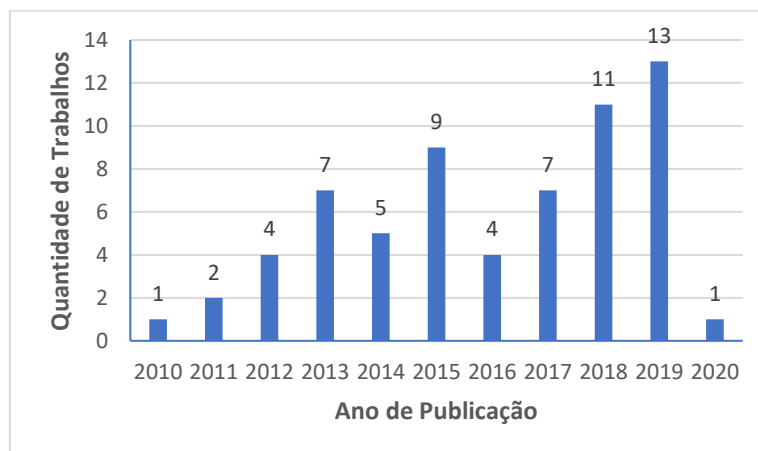
Figura 8 – Número de Trabalhos Publicados por Tipos de Rejeitos de Mineração



Fonte: Autoria do autor

Como mostrado na Figura 9, é possível observar que houve uma crescente do número de trabalhos publicados sobre o tema durante o período estudado com exceção dos anos de 2014, com 5 trabalhos, 2016, com 4 trabalhos publicados, e de 2020 com somente 1 trabalho. O maior número de trabalhos foi publicado no período 2015 – 2020 (45) com praticamente o dobro de publicações do período de 2010 – 2014 (19).

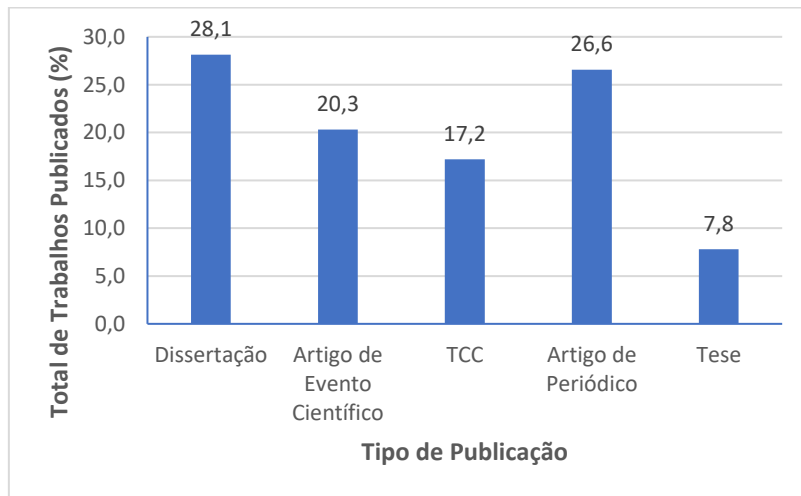
Figura 9 – Número de Trabalhos por Ano de Publicação



Fonte: Autoria do autor

Na Figura 10 é possível observar que a dissertação de mestrado foi o tipo de trabalho mais publicado sobre o tema da pesquisa com 28,1% do total de trabalhos selecionados.

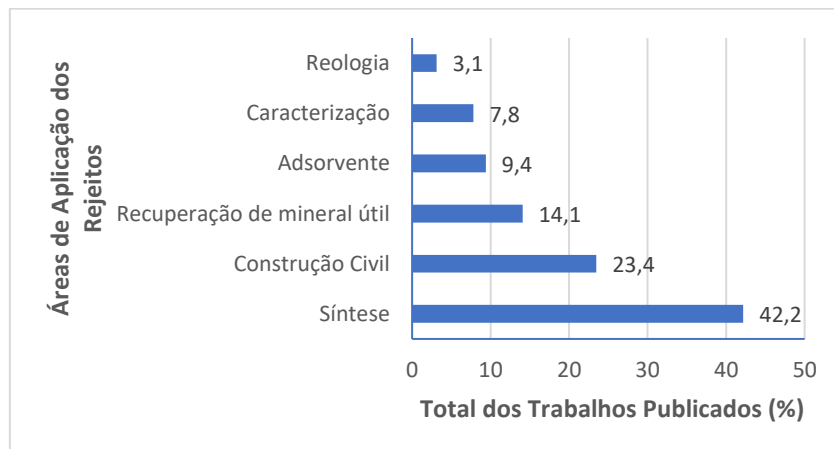
Figura 10 – Trabalhos Publicados por Tipo de Publicação



Fonte: Autoria do autor

A Figura 11 mostra que a síntese de produtos a partir dos rejeitos, especialmente a síntese de zeólitas a partir do rejeito do beneficiamento de caulim, é a principal área de aplicação dos trabalhos selecionados na pesquisa seguida da área da Construção Civil (cerâmica vermelha, agregados, argamassas, geopolímero).

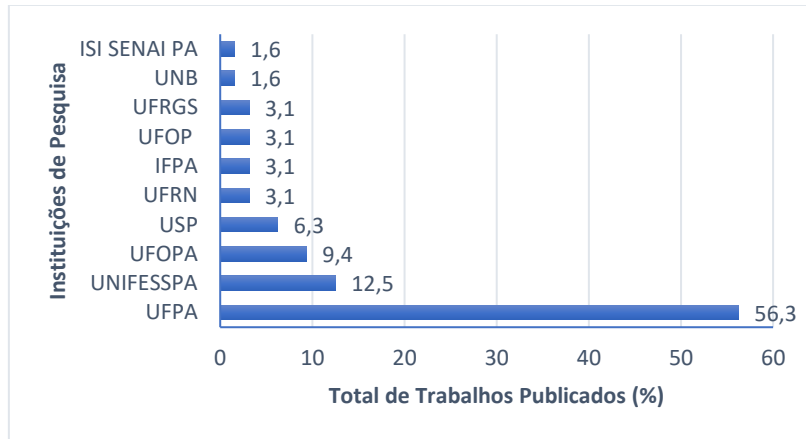
Figura 11 – Trabalhos Publicados por Áreas de Aplicação dos Rejeitos



Fonte: Autoria do autor

É possível observar na Figura 12 que a UFPA é a instituição de pesquisa que mais publicou trabalhos sobre o tema de aproveitamento de rejeitos paraenses durante o período estudado. Foi possível identificar que outras instituições de pesquisa de fora do estado do Pará também publicaram trabalhos (USP, UFRN, UFOP, UFRGS).

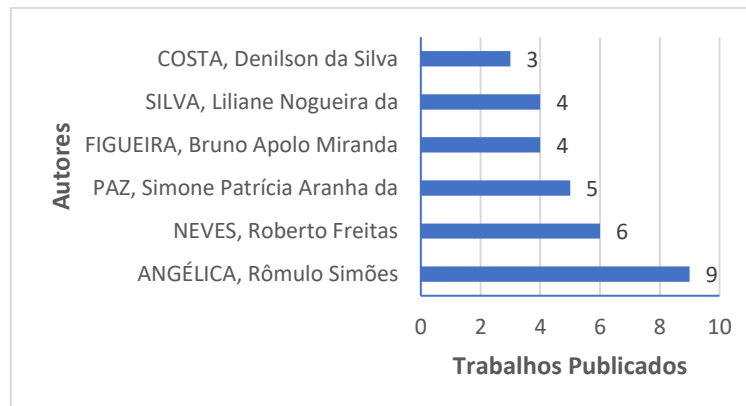
Figura 12 – Trabalhos Publicados por Instituições de Pesquisa



Fonte: Autoria do autor

Os autores com mais trabalhos publicados sobre o tema durante o período estudado foram ANGÉLICA, NEVES e PAZ, todos pesquisadores da UFPA, sendo que seus trabalhos foram sobre aproveitamento de rejeito de caulim.

Figura 13 – Autores com mais Trabalhos Publicados



Fonte: Autoria do autor

6. CONCLUSÕES

As barragens de contenção de rejeitos de mineração representam apenas 8% do total de barragens cadastradas no SNISB submetidas à PNSB e apesar disso, essas estruturas de armazenamento utilizadas num empreendimento mineiro, se não forem projetadas, construídas, operadas e monitoradas de maneira adequada, mesmo depois de fechadas e reabilitadas, podem causar sérios danos ao meio ambiente.

O Estado do Pará tornou-se protagonista da produção mineral brasileira a partir de 2019 e possuía, em 14/10/2021, 113 barragens de contenção de rejeitos de mineração cadastradas no SIGBM, das quais 73 enquadradas na PNSB.

O bem mineral bauxita grau metalúrgico foi o que apresentou o maior número de barragens de contenção de rejeitos de Mineração do Pará cadastradas no SIGBM (31) entretanto outros bens minerais importantes processados no Estado (Caulim, Ferro, Cobre, Níquel e Manganês) também apresentaram um número razoável de barragens de rejeitos.

As empresas de Mineração com maior número de barragens de rejeitos no Pará, em 2021, foram: a Vale (36), a Mineração Rio do Norte (27) e a Imerys (15).

O Caulim foi o bem mineral que apresentou o maior número de trabalhos publicados de aproveitamento do rejeito gerado do seu processamento (42,2%). Provavelmente por causa da proximidade e facilidade de logística das minas e usinas com o campus da principal instituição de pesquisa do Pará, a UFPA, localizado em Belém.

Foi possível observar que houve uma crescente do número de trabalhos publicados sobre o tema durante o período estudado com exceção dos anos de 2014, com 5 trabalhos, 2016, com 4 trabalhos publicados, e de 2020 com somente 1 trabalho. O maior número de trabalhos foi publicado no período 2015 – 2020 (45) com praticamente o dobro de publicações do período de 2010 – 2014 (19).

A síntese de produtos a partir dos rejeitos, especialmente a síntese de zeólitas a partir do rejeito do beneficiamento de caulim, foi a principal área de aplicação dos trabalhos selecionados na pesquisa seguida da área da Construção Civil (cerâmica vermelha, agregados, argamassas, geopolímero).

A dissertação de mestrado foi o tipo de trabalho mais publicado sobre o tema da pesquisa com 28,1% do total de trabalhos selecionados.

A UFPA foi a instituição de pesquisa que mais publicou trabalhos sobre o tema de aproveitamento de rejeitos paraenses durante o período estudado (56,3%). Foi possível identificar que outras instituições de pesquisa de fora do estado do Pará também publicaram trabalhos (USP, UFRN, UFOP, UFRGS).

Os autores com mais trabalhos publicados sobre o tema durante o período estudado foram ANGÉLICA, NEVES e PAZ, todos pesquisadores da UFPA, sendo que seus trabalhos foram sobre aproveitamento de rejeito de caulim.

As tendências e oportunidades de pesquisas identificadas foram para o estudo do aproveitamento dos rejeitos de Mineração de Cobre, Manganês, Bauxita, Ouro e Ferro que se encontram com poucos trabalhos publicados.

Com esse trabalho foi possível traçar um panorama dos estudos de aproveitamento de rejeitos de Mineração do Estado do Pará, entregando uma síntese estruturada do desenvolvimento científico durante o período de 2010 a 2020, para contribuir com pesquisadores que desejem trabalhar com o referido tema.

REFERÊNCIAS

ABREU, A.F. **Recuperação de Finos de Barragens no Complexo Paraopeba I**. Dissertação (Mestrado), Universidade Federal de Minas Gerais, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Metalúrgica e de Minas, Belo Horizonte, 2012. 60 p.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO (ANA). **Relatório de Segurança de Barragens 2020**. Brasília: ANA, 2021.

AGÊNCIA NACIONAL DE MINERAÇÃO. **Aproveitamento de rejeitos e estéril**. Análise de impacto regulatório. Versão 1. ANM, 2020a. Disponível em <https://www.gov.br/anm/pt-br/acesso-a-informacao/participacao-social/consultas-publicas/consulta-publica-04-2020-aproveitamento-de-esteril-e-rejeitos-1>. Acessado em 29/03/2021.

AGÊNCIA NACIONAL DE MINERAÇÃO. **Anuário Mineral Brasileiro: principais substâncias metálicas ano base 2019**. Brasília: ANM, 2020b.

AGÊNCIA NACIONAL DE MINERAÇÃO. **Sistema integrado de gestão de barragens de mineração**. Disponível em <https://app.anm.gov.br/SIGBM/Publico/GerenciarPublico> . Acessado em 14/10/2021.

AGUIAR, F. L. **Redução do Impacto Ambiental Através da Recuperação dos Ultrafinos de Minério de Ferro – Uma Revisão**. Dissertação (Mestrado), Universidade Federal de Minas Gerais, Curso de pós-graduação em Engenharia de Recursos Minerais, Belo Horizonte, 2013. 73p.

ANDRADE, L. C. R. de. **Caracterização de rejeitos de mineração de ferro, in natura e segregados, para aplicação como material de construção civil**. Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Viçosa, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Viçosa, 2014.

ANDRADE, J.E.A.; JÚNIOR, N.A.G; Cadastramento técnico das barragens da mina de manganês do azul, região de Carajás, com a utilização de imagens de satélite. In: **Anais XVI SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO**, PR, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10004: Resíduos sólidos — Classificação**. Rio de Janeiro, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13028**: Mineração — Elaboração e apresentação de projeto de barragens para disposição de rejeitos, contenção de sedimentos e reservação de água — Requisitos. Rio de Janeiro, 2017.

BARBIERI, J.C. **Gestão ambiental empresarial**: conceitos, modelos e instrumentos. 3 ed. São Paulo: Saraiva, 2011.

BARRETO, M.L. **Mineração e desenvolvimento sustentável**: desafios para o Brasil. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2001.

BRASIL. **Política Nacional de Resíduos Sólidos**. Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010. Presidência da República, Departamento da Casa Civil. Brasília, 2010. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/ato2007-2010/2010/lei/112305.htm. Acesso em: 07/02/2022

BRASIL. Departamento Nacional de Produção Mineral. **Sumário Mineral**. Brasília: DNPM, v. 35, 135 p., 2015.

CASTRO, C. G. **Estudo do aproveitamento de rejeitos do beneficiamento do Manganês pela indústria cerâmica**. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Ouro Preto. Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Materiais da rede Temática, Ouro Preto, 2011.

CASTRO, A. E. de. Investimentos socioambientais para posicionamento da marca: um estudo sobre imagem organizacional. **Revista Gestão & Tecnologia**, Pedro Leopoldo, v.12, n.3, p.258-286, set/dez 2012.

CINCOTTO, M. A. Utilização de subprodutos e resíduos na indústria da construção civil. **Tecnologia das edificações**. São Paulo: PINI, 71-74. 1988.

COMISSÃO MUNDIAL SOBRE MEIO AMBIENTE E DESENVOLVIMENTO (CMMAD). **Nosso futuro comum**. Rio de Janeiro: Fundação Getulio Vargas, 1988.

COSTA, T. et al. A bibliometria e a avaliação da produção científica: indicadores e ferramentas. **Revista Actas do Congresso Nacional de Bibliotecários, Arquivistas e Documentalistas**, São Paulo, v. 8, n. 32, p. 37-45, out./dez. 2012.

COUTO, E. P.; SILVA da, F. O. Desenvolvimento “(In)” Sustentável. **Enciclopédia Biosfera**, Centro Científico Conhecer, Goiânia, v.10, n.18; p. 41-54, 2014. Disponível em: <http://www.conhecer.org.br/enciclop/2014c/pdf/desenvolvimento.pdf>. Acesso em: 14 fev. 2022.

DAMASCENO, E. C. **Disponibilidade, suprimento e demanda de minérios para metalurgia**. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2007.

EDRAKI, M; BAUMGARTL, T; MANLAPIG, E; BRADSHAW, D; FRANKS, D.M; MORAN, C. J. Designing mine tailings for better environmental, social and economic outcomes: A review of alternative approaches. **Journal of Cleaner Production**, (2014), 84 (1), pp. 411-420.

FUNDAÇÃO ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE – FEAM. **Inventário estadual de barragens do estado de Minas Gerais**. Belo Horizonte: FEAM, 2011. 31 p. Disponível em: <http://www.feam.br/images/stories/feam/inventario_de_barragem__2011.pdf> Acesso em: 07/08/2021.

GIL, A. C. **Como Elaborar Projetos de Pesquisa**. 5ª ed. São Paulo: Atlas, 2010.

GOMES, A. C. F. **Estudo de Aproveitamento de Rejeito de Mineração**. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Minas Gerais, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Metalúrgica, de Materiais e de Minas. Belo Horizonte, 2017.

HORIZONTE MINERALS. **Projeto Vermelho**: um Projeto Avançado de Níquel-Cobalto. Disponível em: https://horizonteminerals.com/br/pt/projeto_vermelho/. Acesso em 11 fev. 2022.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS. **Rejeitos de Mineração**. IPT. 2016 Disponível em: http://www.ipt.br/noticias_interna.php?id_noticia=1043. Acesso em: 16/01/2021.

INSTITUTO BRASILEIRO DE MINERAÇÃO – IBRAM. **Guia para planejamento do fechamento de mina**. 1ª ed. 224 p. 2013. Disponível em: <<http://www.ibram.org.br> > Acesso em: 06 set. 2021.

INSTITUTO BRASILEIRO DE MINERAÇÃO - IBRAM. **Informações sobre a Economia Mineral Brasileira**: Ano Base 2019. 1.ed. Brasília: IBRAM, 2020.

INSTITUTO BRASILEIRO DE MINERAÇÃO - IBRAM. **Guia de Boas Práticas**: Gestão de Barragens e Estruturas de Disposição de Rejeitos. 1.ed. Brasília: IBRAM, 2019.

INSTITUTO BRASILEIRO DE MINERAÇÃO - IBRAM. **Gestão e Manejo de Rejeitos da Mineração**. organizador, Instituto Brasileiro de Mineração. 1.ed. - Brasília: IBRAM, 2016.

JOÃO, X. da S. J. Panorama dos Recursos Minerais Metálicos e Não Metálicos. In: JOÃO, X. da S. J.; TEIXEIRA, S. G.; FONSECA, D. D. F. **Geodiversidade do Estado do Pará** / Organização Xafi da Silva Jorge João, Sheila Gatinho Teixeira, Dianne Danielle Farias Fonseca. - Belém: CPRM, 2013. 256 p. Cap. 6, p. 89 – 102.

MENDES, K. C. **Os Rejeitos da Indústria Mineral de Mn da Amazônia Para a Produção de Materiais de Óxidos de Mn de Importância Tecnológica**. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Oeste do Pará, Pró-Reitoria de Pesquisa, Pós-Graduação e Inovação

Tecnológica, Programa de Pós-Graduação em Sociedade, Ambiente e Qualidade de Vida. Santarém, 2018

LAGE, N. M. **Aproveitamento de Rejeito de Bauxita da Mina de Juruti por Flotação**. Monografia (graduação). Universidade Federal do Ouro Preto. Escola de Minas. Departamento de Engenharia de Minas, Ouro Preto, 2018.

LUZ, A. B.; LINS, F. A. F. Introdução ao Tratamento de Minérios. In: LUZ, A. B.; FRANÇA, S. C. A.; SAMPAIO, J. A. **Tratamento de Minérios**. 5ª Ed. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2010. Cap. 1, p. 1 - 21

MORAES, S.L. de; MOTTA, F.G.; MASSOLA, C.P.; SACCOCCIO, E.M.; CABRAL JÚNIOR, M. Rejeitos de mineração: Um olhar do cenário brasileiro - Parte I: Cadeia produtiva. In: 18º **SIMPÓSIO DE MINERAÇÃO**. São Paulo, 2017a.

MORAES, S. L. de; MOTTA, F. G.; MASSOLA, C. P.; SACCOCCIO, E. M.; CABRAL JÚNIOR, M. Rejeitos de Mineração: Um Olhar do Cenário Brasileiro - Parte II: Tecnologias Para Aproveitamento e Novos Usos, p. 241-255. In: 18º **SIMPÓSIO DE MINERAÇÃO**, São Paulo, 2017b. ISSN: 2594-357X, DOI 10.5151/2594-357X-30524

MOREIRA, H. F. **O Desenvolvimento Sustentável no Contexto do Setor Mineral Brasileiro**. Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro. 2003.

MARINHO, K. L. L. **Conversão de rejeitos da indústria mineral da Amazônia em material com propriedades absorventes de poluentes orgânicos**. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Oeste do Pará, Pró-Reitoria de Pesquisa, Pós-Graduação e Inovação Tecnológica, Programa de Pós-Graduação em Sociedade, Ambiente e Qualidade de Vida. Santarém, 2020

NASCIMENTO, A. C. S. do. **Tijolo Solo Cimento com Adição de Rejeito de Manganês do Sudeste Paraense**. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Pará, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Belém, 2015.

REIS, E. L.; LIMA, R. M. F.; Concentração de finos provenientes da planta de beneficiamento do minério de manganês da mineração morro da mina/ rdm por mesa oscilatória. **Revista escola de minas**, v. 58, 225-229, 2005.

SÁ et al. Uso de rejeitos de mineração em pavimentos rodoviários: um referencial teórico. In: SALES, R. E. da S.; SALES, R. da S.; SOUSA, B. A. A. de . **Qualidade e Sustentabilidade na Construção Civil**. Edição 1. Volume 1. Editora Científica Digital, 2021. Cap. 11, p. 152 – 172.

SANTIAGO, E. de N. **Argamassas cimentícias mistas a partir de rejeitos de beneficiamento da bauxita da Amazônia**. Dissertação (Mestrado) – Instituto Federal do Pará – Campus Belém, Programa de Pós-graduação em Engenharia de Materiais, Mestrado Profissional, Belém, 2018.

SAVI, A. F.; FILHO, E. V. G.; SAVI, E. M. S. Engenharia apoiando o desenvolvimento sustentável. In: **Anais do SIMPÓSIO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO**, 13., Bauru, 2006. Bauru: SIMPEP, 2006. p. 1-7.

SECRETARIA DE DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO, MINERAÇÃO E ENERGIA DO ESTADO DO PARÁ - SEDEME. **Sinopse da Produção Mineral do Pará 2020**. Belém: SEDEME, 2020.

SECRETARIA DE DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO, MINERAÇÃO E ENERGIA DO ESTADO DO PARÁ - SEDEME. **Cadastro Estadual de Recursos Minerais**. Belém: SEDEME, 2022. Disponível em: <https://www.sedeme.pa.gov.br/portal-do-minerador>. Acesso em: 15 fev. 2022.

SECRETARIA DE ESTADO DE INDÚSTRIA, COMERCIO E MINERAÇÃO - SEICOM. **Plano de Mineração do Estado do Pará 2014 - 2030**. Belém: SEICOM, 2013

SILVA, J. P. S. Impactos ambientais causados por mineração. **Revista Espaço da Sophia**, São Paulo, n. 8, p. 37-45, nov. 2007.

SILVA, A. P. M. DA; VIANA, J. P.; CAVALCANTE, A. L. B. **Diagnóstico dos Resíduos Sólidos da Atividade de Mineração de Substâncias Não Energéticas** - Relatório de Pesquisa. Brasília: IPEA, 2012.

SILVA, A. R. B. **A Indústria Mineral no Pará**. Belém, 2012.

SILVA, K. S. et al. Substrato Alternativo a Base de Rejeito de Cobre e Matéria Orgânica na Produção de Mudas de Ipê-Branco. **Revista Educação, Ciência e Saúde**. v. 8, n. 1, p. 1-19, (jan./jun.), 2021.

SILVEIRA, M.L. et al. Produção mais Limpa no Tratamento de Minérios: Aproveitamento de Rejeitos de Mineração na Região de Poços de Caldas/MG. In: **Anais do XXV ENCONTRO NACIONAL DE TRATAMENTO DE MINÉRIOS E METALURGIA EXTRATIVA & VIII MEETING OF THE SOUTHERN HEMISPHERE ON MINERAL TECHNOLOGY**, Goiânia, 2013.

SISINNO, C.L.S. Disposição em aterros controlados de resíduos sólidos industriais não-inertes: avaliação dos componentes tóxicos e implicações para o ambiente e para a saúde humana, **Caderno de Saúde Pública**, RJ, p.19(2):369-374, 2003.

SOARES, L.; BOSCOV, M. E. G. Barragem de Rejeito. In: LUZ, A. B.; FRANÇA, S. C. A.; BRAGA, P. F. A. **Tratamento de Minérios**. 6 ed. Rio de Janeiro: CETEM/MCTIC, 2018. Cap. 19, p. 845 - 914

SOUSA, R. **Mineração**. Brasil Escola. 2020. Disponível em: <https://brasilecola.uol.com.br/geografia/mineracao.htm>. Acesso em: 09 fev. 2022.

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY - EPA. **The Epa's Environmental Justice Strategy**. 1995. Disponível em <https://www.epa.gov/environmentaljustice/epa-environmental-justice-strategy-1995>. Acesso em: 07/02/2022.

VALE. S11D é o maior investimento privado realizado no Brasil nesta década. 2018. Disponível em: <http://www.vale.com/hotsite/PT/Paginas/s11d-maior-investimento-privado-realizado-brasil-nesta-decada.aspx>. Acesso em: 11 fev. 2022.

VINAUD, L. U. P. **Barragens De Rejeito De Mineração Em Minas Gerais: Listas De Verificação De Aspectos Técnicos, Legais E Ambientais**. Monografia (graduação). Centro Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais. Unidade Araxá. Araxá, 2019

VIVEIROS, D. de C. S. de. **Rejeito do minério de manganês como material de construção civil**. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Pará, Instituto de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Belém, 2017

ZAMBON, B.P.; RICCO, A.S. **Sustentabilidade empresarial: uma oportunidade para novos negócios**. CRA/ES, 2011. Disponível em: <<http://www.craes.org.br/interna/artigosTecnicos.php>> . Acesso em: 14/02/2021.

APÊNDICE A – Trabalhos encontrados na pesquisa

Nº	Minério	Ano	Título	Autor(es)	Tipo de Publicação	Base da Dados	Aplicação	Instituição de Pesquisa
1	Caulim	2010	Síntese hidrotermal de sodalita básica a partir de um rejeito de caulim termicamente ativado	PAZ, S. P. A. da; ANGÉLICA, R. S.; NEVES, R. de F.	Artigo de Periódico	RI UFPA	Síntese	UFPA
2	Caulim	2011	Estudo cinético de formação de sodalita a partir de um rejeito de caulim do rio jari – PA	SILVA, L. N. da; PAZ, S. P. A. da; ANGÉLICA, R. S.; NEVES, R. F.	Artigo de Congresso	Google Acadêmico	Síntese	UFPA
3	Caulim	2012	Adsorção de nitrato em rejeito de caulim organofuncionalizado com uréia	TAVARES, Laís Conceição	Dissertação	RI UFPA	Adsorvente	UFPA
4	Caulim	2012	Zeólita A sintetizada a partir de rejeitos do processo de beneficiamento de caulim	SANTANA, D. L. de; SARAIVA, A. C. F.; NEVES, R. de F.; SILVA, D. L. da	Artigo de Periódico	RI UFPA	Síntese	UFPA
5	Caulim	2012	Síntese de zeólita do tipo faujasita a partir de um rejeito de caulim	HILDEBRANDO, E. A.; ANGÉLICA, R. S.; NEVES, R. de F.; DIAZ, F. R. V.	Artigo de Periódico	RI UFPA	Síntese	UFPA
6	Caulim	2012	Síntese de zeólita do tipo faujasita utilizando rejeito de caulim da Amazônia como fonte de silício e alumínio: aplicação como adsorvente.	HILDEBRANDO, Edemarino Araujo	Tese	Google Acadêmico	Síntese	USP
7	Caulim	2013	Especiação e quimissorção de Pb(II) em rejeito de caulim	PINHEIRO, M. H. T.; LEMOS, V. P.; DANTAS, K. das G. F.; VALENTIM, T. L.	Artigo de Periódico	RI UFPA	Adsorvente	UFPA
8	Caulim	2013	Adsorção de nitrato em caulinita a partir de rejeito de caulim modificado com uréia	TAVARES, L. C.; LEMOS, V. P.; PINHEIRO, M. H. T.; DANTAS FILHO, H. A.; DANTAS, K. das G. F.	Artigo de Periódico	RI UFPA	Adsorvente	UFPA
9	Caulim	2013	Síntese de zeólitas utilizando como precursor rejeito de caulim da região amazônica, hidróxido de sódio, silicato de sódio e aluminato de sódio	TORRES, P.W.T.S.; SANTOS, S. C. A.; ANGÉLICA, R.S.; NEVES, R. F.	Artigo de Congresso	Google Acadêmico	Síntese	UFPA

10	Caulim	2013	Desenvolvimento de processos de síntese de sodalita a partir de rejeitos de caulins da região Amazônica	SILVA, Liliane Nogueira da	Dissertação	RI UFPA	Síntese	UFPA
11	Caulim	2013	Síntese de pigmentos zeolíticos a partir de zeólita A derivada de rejeito de caulim da Amazônia	MENEZES, Raquel Aranha de	Dissertação	RI UFPA	Síntese	UFPA
12	Caulim	2014	Utilização de rejeito de caulim amazônico como matéria-prima na síntese de zeólita do tipo faujasita	ROCHA JUNIOR, C. A. F.; NEVES, R. F. ; ANGÉLICA, R. S.	Artigo de Congresso	Google Acadêmico	Síntese	UFPA
13	Caulim	2014	Utilização de rejeito de caulim na síntese da zeólita A	SILVA FILHO, Severino Higino da	Dissertação	Google Acadêmico	Síntese	UFRN
14	Caulim	2015	Síntese da zeólita a com elevado grau de ordem estrutural a partir de um rejeito de caulim da região do jari	SILVA FILHO, S. H. da; BIESEKI, L.; MAIA, A. A. B.; PERGHER, S. B. C.	Artigo de Periódico	Google Acadêmico	Síntese	UFRN, UFPA
15	Caulim	2015	Síntese de material adsorvente utilizando rejeito de caulim, lama vermelha e casca de arroz como fonte de sílica e alumina	SANTOS, Edileide Alves dos; MOTA, Silvio Alex Pereira da	Artigo de Evento IC	Google Acadêmico	Síntese	UNIFESSPA
16	Caulim	2016	Valorisation of a kaolin mining waste for the production of geopolymers	LONGHI, M. A.; RODRIGUEZ, E. D.; BERNAL, S. A.; PROVIS, J. L.; KIRCHHEIM, A. P.	Artigo de Periódico	SCOPUS	Construção Civil	UFRGS, U. SHEFFIELD
17	Caulim	2017	Potencialidade adsorvente da zeólita A derivada de rejeito de caulim na remoção de corantes	ARAÚJO, Leiliane Cristina Cardoso	Dissertação	RI UFPA	Adsorvente	UFPA
18	Caulim	2017	Fases sodalita formadas a partir de caulinitas amazônicas sob condições de digestão Bayer	MELO, C. C. A.; ANGÉLICA, R. S.; PAZ, S. P. A.	Artigo de Periódico	Google Acadêmico	Síntese	UFPA
19	Caulim	2018	Estudo de rotas de síntese da zeólita 13X a partir de rejeito de caulim: Aspectos morfológicos e cristalinidade.	VASCONCELOS, Arthur Abinader; FIGUEIRA, B. A. M.; CAMPOS, Willison Eduardo Oliveira; ARAÚJO, Márcio Peres de	Artigo de Congresso	Google Acadêmico	Síntese	UFOPA, UFPA
20	Caulim	2018	Estudo da capacidade adsorvente do rejeito de caulim visando a aplicação na remoção de contaminantes orgânico em meio aquoso	MATOS, Cintia da Silva	Trabalho de Conclusão de Curso	BDM UFPA	Adsorvente	UFPA

21	Caulim	2018	Síntese conjunta de zeólita A-hidróxidos duplos lamelares a partir de rejeitos da indústria mineral como adsorvedor de corantes	SILVA, Liliane Nogueira da	Tese	RI UFPA	Síntese	UFPA
22	Caulim	2018	Síntese de catalisador organofuncionalizado a partir do rejeito de caulim	BRITO, Yrvana Pereira dos Santos	Trabalho de Conclusão de Curso	BDM UFPA	Síntese	UFPA
23	Caulim	2018	Utilização de um resíduo de caulim da Amazônia na síntese da zeólita ferrierita	GONÇALVES, Angelina Lobato	Trabalho de Conclusão de Curso	BDM UFPA	Síntese	UFPA
24	Caulim	2018	Síntese da zeólita analcima por meio do processo hidrotermal e empregando o resíduo de caulim como fonte de silício e alumínio	SANTOS, Márjorye Katharine Aires dos	Trabalho de Conclusão de Curso	BDM UFPA	Síntese	UFPA
25	Caulim	2019	Síntese e caracterização de argilominerais micáceos a partir de rejeito do processamento do caulim	BRITO, Carlos Eduardo Costa	Trabalho de Conclusão de Curso	BDM UFPA	Síntese	UFPA
26	Caulim	2019	Síntese de zeólitas utilizando um resíduo caulínico do Baixo Tocantins: um estudo comparativo entre sistema de síntese estática e agitada	COSTA, Karem Tamires Alvez da	Trabalho de Conclusão de Curso	BDM UFPA	Síntese	UFPA
27	Caulim	2019	Avaliação do uso de rejeito de caulim como filer em concretos asfálticos	AGUIAR, Marcelo Figueiredo Massulo	Tese	Google Acadêmico	Construção Civil	USP
28	Bauxita	2013	Síntese de zeólitas a partir do rejeito gibbsitico-caulinitico do beneficiamento de bauxita de Paragominas-PA	NASCIMENTO, Letícia Gomes do	Trabalho de Conclusão de Curso	RI UNIFESSPA	Síntese	UNIFESSPA
29	Bauxita	2014	Influência da granulometria e de aditivos no comportamento reológico do rejeito de lavagem da bauxita	GONÇALVES, Silvane Gonçalves e	Dissertação	RI UFPA	Reologia	UFPA
30	Bauxita	2015	Efeito de aditivos no comportamento reológico do rejeito da bauxita	GONÇALVES, S. G. e; BRUM, S. M.; FELIPE, A. M. P. F.; SOUZA, J. A. da S.; FERREIRA, K. C.	Artigo de Periódico	RI UFPA	Reologia	UFPA
31	Bauxita	2016	Caracterização Tecnológica do Rejeito da Planta de Beneficiamento de Bauxita em Juruti- Pará	FERREIRA, Andson Pereira	Dissertação	RI UFOPA	Caracterização	UFOPA

32	Bauxita	2017	Estudos preliminares de rejeitos da bauxita para produção de argamassas e/ou produtos cerâmicos	SANTIAGO, E.N.; FERNANDEZ, O. J. C.; FIGUEIRA, B. A. M.; GOMES, L.	Artigo de Congresso	ENTMME	Construção Civil	IFPA
33	Bauxita	2017	Síntese e caracterização da magnetita obtida a partir de rejeito de Bauxita da mina de Juruti, Pará, Brasil	ABREU, Marcio Antonio de Alcantara	Dissertação	RI UFOPA	Síntese	UFOPA
34	Bauxita	2017	Fases sodalita formadas a partir de caulinitas amazônicas sob condições de digestão Bayer	MELO, Caio César Amorim; ANGÉLICA, Rômulo Simões; PAZ, Simone Patrícia Aranha	Artigo de Periódico	Google Acadêmico	Síntese	UFPA
35	Bauxita	2018	Argamassas cimentícias mistas a partir de rejeitos de beneficiamento da bauxita da Amazônia	SANTIAGO, EDIVALDO DE NORÕES	Dissertação	Google Acadêmico	Construção Civil	IFPA
36	Bauxita	2018	Aproveitamento do rejeito da bauxita da mina de Juruti por flotação.	LAGE, Natália Murta	Trabalho de Conclusão de Curso	Google Acadêmico	Recuperação de mineral útil	UFOP
37	Bauxita	2019	Transformação de rejeitos de lavagem de bauxita da Amazônia em argilas aniônicas	NASCIMENTO, Renata de Sousa	Dissertação	RI UFOPA	Adsorvente	UFOPA
38	Bauxita	2019	Caracterização de rejeitos de lavagem de bauxita da Amazônia para produção de cimento geopolímero ambientalmente sustentável	AZEVEDO, T. F.; NASCIMENTO, R. S.; FIGUEIRA, B. A. M.; MOREIRA, T. A. S.; FERREIRA, A. P.; FERNANDES, O. J. C.	Artigo de Congresso	Google Acadêmico	Construção Civil	UFOPA, IFPA
39	Bauxita	2019	Gibbsite-kaolinite waste from bauxite beneficiation to obtain FAU zeolite: Synthesis optimization using a factorial design of experiments and response surface methodology	MELO, Caio César Amorim; MELO, Bruna Lauane Sena; ANGÉLICA, Rômulo Simões; PAZ, Simone Patrícia Aranha	Artigo de Periódico	SCOPUS	Síntese	UFPA
40	Bauxita	2019	Synthesis of nanopyroaurite using bauxite-washing residues as low cost starting material	NASCIMENTO, R.S.; FIGUEIRA, B.A.M.; SILVA, L.N. da; CALLEJAS, P.; TELLES, G.C.; LAVRA, T.C.; MERCURY, J.M.R.	Artigo de Periódico	SCOPUS	Síntese	UFPA, UFOPA, IFMA

41	Bauxita	2020	Uso de Rejeito de Lavagem de Bauxita para a Fabricação de Ligantes Geopoliméricos	RACANENELLI, Lêda de Azevedo; OLIVEIRA, Raíza Cavalcante de; BRITO, Woshington da Silva ; SOUZA, José Antônio da Silva	Artigo de Periódico	Google Acadêmico	Construção Civil	UFPA
42	Cobre	2013	Processamento e avaliação das propriedades tecnológicas de porcelanato obtido com adição de rejeito de minério sulfetado de cobre	PINHEIRO, Lilian Carolina Leite	Trabalho de Conclusão de Curso	RI UNIFESSPA	Construção Civil	UNIFESSPA
43	Cobre	2015	Caracterização Mineralógica dos Rejeitos do Beneficiamento do Minério de Cobre da Mina do Sossego (Canaã dos Carajás/PA).	CORAL, Natasha; NASCIMENTO, Juliane; RODRIGUES, Elizabeth ; LAFON, Jean Michel	Artigo de Congresso	Google Acadêmico	Caracterização	UFPA
44	Cobre	2015	Síntese de hidróxidos duplos lamelares (HDLS) a partir do rejeito do minério de cobre da Mina do Sossego, PA	CARMONA, Karen Monteiro	Dissertação	RI UFPA	Síntese	UFPA
45	Cobre	2015	Utilização de rejeito de minério sulfetado de cobre em cerâmica estrutural	CASTRO, M. A. M.; COSTA, F. G. da; TAVARES, B. A. C.; FAGURY NETO, E.; RABELO, A. A.	Artigo de Congresso	Google Acadêmico	Construção Civil	UNIFESSPA
46	Cobre	2016	Estudo da influência do resíduo de beneficiamento de cobre sulfetado nas propriedades do concreto asfáltico	KATO, Ricardo Bentes	Tese	RI UFPA	Construção Civil	UFPA
47	Cobre	2018	Avaliação da incorporação do rejeito de minério de cobre em massas argilosas para a produção de cerâmica vermelha	CARDOSO, Altair Costa	Trabalho de Conclusão de Curso	BDM UFPA	Construção Civil	UFPA
48	Cobre	2018	Síntese conjunta de zeólita A-hidróxidos duplos lamelares a partir de rejeitos da indústria mineral como adsorvedor de corantes	SILVA, Liliane Nogueira da	Tese	RI UFPA	Síntese	UFPA
49	Cobre	2019	Utilização de rejeito de minério do cobre como agregado miúdo na produção de concreto	SOUZA, Douglas Martins	Dissertação	RI UFPA	Construção Civil	UFPA

50	Cobre	2019	Bioleaching for Copper Extraction of Marginal Ores from the Brazilian Amazon Region	NASCIMENTO, D. N. O. do; LUCHETA, A. R.; PALMIERI, M. C.; CARMO, A. L. V. do; SILVA, P. M. P.; FERREIRA, R. V. de P.; JUNCA, E.; GRILLO, F. F.; ALVES, J. O.	Artigo de Periódico	SCOPUS	Recuperação de mineral útil	ISI SENAI PA, UNESC
51	Manganês	2014	Avaliação tecnológica de cerâmicas tradicionais incorporadas com rejeito do minério de manganês	RODRIGUES, L. dos S.; SILVA, J. C.; ANGÉLICA, R. S.; RABELO, A. A.; FAGURY, R. L. R. P.; FAGURY NETO, E.	Artigo de Periódico	RI UFPA	Construção Civil	UFPA
52	Manganês	2015	Tilojo solo cimento com adição de rejeito de manganês do sudeste paraense	NASCIMENTO, Antonio Carlos Santos do	Dissertação	RI UFPA	Construção Civil	UFPA
53	Manganês	2015	Concentração de rejeito de manganês por flotação	SOUZA, Helder Silva	Dissertação	Google Acadêmico	Recuperação de mineral útil	USP
54	Manganês	2016	Concentration of manganese tailings via reverse flotation in an acid medium	SOUZA, H. S.; BRAGA, A. S.; OLIVEIRA, A. H. de; LEAL FILHO, L. de S.	Artigo de Periódico	SCOPUS	Recuperação de mineral útil	USP
55	Manganês	2017	Rejeito do minério de manganês como material de construção civil	VIVEIROS, Danielle de Cássia Santos de	Dissertação	RI UFPA	Construção Civil	UFPA
56	Manganês	2018	Os rejeitos da indústria mineral de mn da amazônia para a produção de materiais de óxidos de mn importância tecnológica	MENDES, Kamilla Cavalcante	Dissertação	RI UFOPA	Caracterização	UFOPA
57	Manganês	2019	Rejeito de manganês, proveniente da Amazônia Oriental, em substituição parcial do agregado miúdo natural em concreto	SILVA JÚNIOR, Paulo Rogério	Dissertação	RI UFPA	Construção Civil	UFPA
58	Manganês	2019	Peneiras de alta frequência para recuperação da fração +0,15 mm do rejeito da Usina de Manganês do Azul	DOMINGUES, Geovar Miranda	Dissertação	Google Acadêmico	Recuperação de mineral útil	UFRGS
59	Ouro	2015	Caracterização tecnológica do rejeito de ouro da mina do mamão	NEVES, M.F.; SILVA, W.O.; BRITO, M.M.B.; MOURA, G.M.; COSTA, D.S.	Artigo de Congresso	Google Acadêmico	Caracterização	UNIFESSPA
60	Ouro	2019	Avaliação do desempenho de reagentes surfatantes e potencial aplicação na flotação de rejeito aurífero	COSTA, D.S.; LOUZADA, J.C.G.; GONÇALVES, M.S.; COSTA, D.R.	Artigo de Congresso	Google Acadêmico	Recuperação de mineral útil	UNIFESSPA

61	Ouro	2017	Uso da flotação para o aproveitamento de um rejeito fino de minério de ouro	SOUZA, J. da S.; COSTA, D. da S.	Artigo de Evento IC	Google Acadêmico	Recuperação de mineral útil	UNIFESSPA
62	Ouro	2014	Flotação de ouro de baixo teor presente na bacia de contenção de rejeitos da Mina do Mamão	MENDES, Rinos Michel Mesquita	Trabalho de Conclusão de Curso	RI UNIFESSPA	Recuperação de mineral útil	UNIFESSPA
63	Ferro	2011	A comparative study of ultra-fine iron ore tailings from Brazil	WOLFF, A.P., Da COSTA, G.M., De CASTRO DUTRA, F.	Artigo de Periódico	SCOPUS	Caracterização	UFOP, VALE
64	Ferro	2019	Estudo da Recuperação e Aproveitamento de Finos de Minério de Fe em um Reservatório de Rejeitos	SOUZA, D. O. O. de; MONTEIRO, F. F.; OLIVEIRA, F. H. L. de; AGUIAR, M. F. P. de	Artigo de Congresso	Google Acadêmico	Recuperação de mineral útil	UNB, UFC, IFCE