



**UNIVERSIDADE DO ESTADO DO
RIO DE JANEIRO**

**INSTITUTO POLITÉCNICO
GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA
DE COMPUTAÇÃO**



Thamires Ramos dos Santos

**O papel da engenharia da computação na prevenção de acidentes
em barragens de rejeitos**

**Nova Friburgo
2025**



**UNIVERSIDADE DO ESTADO DO
RIO DE JANEIRO**

**INSTITUTO POLITÉCNICO
GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA
DE COMPUTAÇÃO**



Thamires Ramos dos Santos

**O papel da engenharia da computação na prevenção de acidentes em barragens
de rejeitos**

Trabalho de conclusão de curso apresentado como pré-requisito para obtenção do título de Engenheiro de Computação, ao Departamento de Modelagem Computacional, do Instituto Politécnico, da Universidade do Estado do Rio de Janeiro.

Orientador: Prof. Edgard Poiate Junior.

Nova Friburgo
2025

Reitora: Gulnar Azevedo e Silva
Vice-reitor: Bruno Rêgo Deusdará Rodrigues
Diretor do Instituto Politécnico: Lucas Venâncio Pires de Carvalho Lima
Coordenador de Curso: Rodrigo Lamblet Mafort

Ficha elaborada pelo autor através do
Sistema para Geração Automática de Ficha Catalográfica da Rede Sirius - UERJ

Endereço: UERJ - IPRJ
CEP 28625-570 - Nova Friburgo - RJ - Brasil.

Este trabalho nos termos da legislação que resguarda os direitos autorais é considerado de propriedade da Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ). É permitida a transcrição parcial de partes do trabalho, ou mencioná-lo, para comentários e citações, desde que sem propósitos comerciais e que seja feita a referência bibliográfica completa.

Thamires Ramos dos Santos

Thamires Ramos dos Santos

O papel da engenharia da computação na prevenção de acidentes em barragens de rejeitos

Trabalho de conclusão de curso apresentado como pré-requisito para obtenção do título de Engenheiro de Computação, ao Departamento de Modelagem Computacional, do Instituto Politécnico, da Universidade do Estado do Rio de Janeiro.

Aprovado em XX de XXXXXXXX de 2025.

Banca examinadora:

Prof. Edgard Poiate Junior.
Instituto Politécnico - UERJ

Prof. Dr. Banca 1
Instituto Politécnico - UERJ

Prof. Dr. Banca 2
Instituto Politécnico - UERJ
Nova Friburgo

2025

DEDICATÓRIA

Opcional. Aqui vai a dedicatória do trabalho.

AGRADECIMENTOS

Aqui vão os agradecimentos.

Opcional. Citação de alguma frase ou texto conhecido.

Aqui vai a autoria da frase ou texto

RESUMO

DOS SANTOS, Thamires Ramos. *O papel da engenharia da computação na prevenção de acidentes em barragens de rejeitos*. 2025. 52 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia de Computação) - Instituto Politécnico, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Nova Friburgo, 2025.

A mineração desempenha um papel essencial na economia brasileira, contribuindo para o desenvolvimento regional e nacional, além de gerar empregos e impulsionar o PIB. No entanto, a gestão inadequada dos rejeitos resultantes dessas atividades pode acarretar em graves impactos ambientais e sociais, como demonstrado pelos desastres em Mariana e Brumadinho. Diante desse cenário, torna-se urgente aprimorar os sistemas de segurança e prevenção em barragens de rejeitos. A engenharia da computação oferece soluções inovadoras para enfrentar esse desafio, por meio da implementação de tecnologias avançadas e sistemas de monitoramento sofisticados. Este trabalho investiga a aplicação de sistemas de monitoramento baseados em higrômetros de resistência para prevenção de desastres em barragens de rejeitos de mineração, problema crítico evidenciado pelos incidentes catastróficos ocorridos em Mariana e Brumadinho. A metodologia fundamenta-se na integração de dispositivos Arduino equipados com sensores higrométricos de alta precisão e instrumentação geotécnica avançada, estabelecendo uma rede de monitoramento contínuo para detecção precoce de alterações na umidade do solo que possam comprometer a estabilidade estrutural das barragens. O sistema desenvolvido incorpora uma camada de processamento de dados que combina leituras dos sensores locais com informações meteorológicas obtidas em tempo real através de APIs dos portais CEMADEN e INMET, permitindo correlacionar dados de precipitação acumulada, previsões pluviométricas e saturação do solo. Os resultados preliminares demonstram que a plataforma proposta detecta com antecedência de 72 a 96 horas alterações críticas nos padrões de umidade, possibilitando a emissão automatizada de múltiplos níveis de alertas de segurança para autoridades e população potencialmente afetada. Conclui-se que a solução tecnológica apresentada constitui uma abordagem economicamente viável e tecnicamente robusta para incrementar significativamente a segurança em barragens de rejeitos, contribuindo para operações de mineração mais seguras e sustentáveis. A pesquisa visa contribuir significativamente para a segurança das operações de mineração e para a proteção do meio ambiente e das comunidades afetadas, oferecendo uma abordagem inovadora e tecnologicamente avançada para mitigar os riscos associados às barragens de rejeitos.

Palavras-chave: Barragens de rejeitos; Arduino; Higrômetros; Monitoramento ambiental; Sistemas de alerta; Brumadinho; Acidente ambiental; Risco ambiental.

ABSTRACT

DOS SANTOS, Thamires Ramos. *The role of computer engineering in preventing tailings dam accidents* 2024.52 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia de Computação) - Instituto Politécnico, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Nova Friburgo, 2024.

Mining plays an essential role in the Brazilian economy, contributing to regional and national development, as well as generating jobs and boosting GDP. However, inadequate management of the tailings resulting from these activities can lead to serious environmental and social impacts, as demonstrated by the disasters in Mariana and Brumadinho. Given this scenario, there is an urgent need to improve safety and prevention systems for tailings dams. Computer engineering offers innovative solutions to meet this challenge, through the implementation of advanced technologies and sophisticated monitoring systems. This paper investigates the application of monitoring systems based on resistance hygrometers for disaster prevention in mining tailings dams, a critical problem highlighted by the catastrophic incidents in Mariana and Brumadinho. The methodology is based on the integration of Arduino devices equipped with high-precision hygrometric sensors and advanced geotechnical instrumentation, establishing a continuous monitoring network for the early detection of changes in soil moisture that could compromise the structural stability of dams. The system developed incorporates a data processing layer that combines readings from local sensors with meteorological information obtained in real time via APIs from the CEMADEN and INMET portals, making it possible to correlate data on accumulated precipitation, rainfall forecasts and soil saturation. Preliminary results show that the proposed platform detects critical changes in humidity patterns 72 to 96 hours in advance, making it possible to automatically issue multiple levels of safety alerts to authorities and the potentially affected population. It is concluded that the technological solution presented constitutes an economically viable and technically robust approach to significantly increase safety in tailings dams, contributing to safer and more sustainable mining operations. The research aims to make a significant contribution to the safety of mining operations and the protection of the environment and affected communities by offering an innovative and technologically advanced approach to mitigating the risks associated with tailings dams.

Keywords: Tailings dams; Arduino; Hygrometers; Environmental monitoring; Warning systems; Brumadinho; Environmental accident; Environmental risk.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Mineração em Números (2024) – Saldo comercial, impostos e faturamento	24
Figura 2 – Mineração em Números (2024) – Exportação e Importação	25
Figura 3 – Mineração em Números (2024) – Principais substâncias produzidas – Participação no faturamento do setor	25
Figura 4 – Saldo ajustado e estoque trimestral de mão de obra do setor de extração mineral (exceto petróleo e gás) – 03TRI2023	27
Figura 5 – Saldo ajustado e estoque trimestral de mão de obra do setor de extração mineral (exceto petróleo e gás) – 04TRI2023	27
Figura 6 – Saldo de mão de obra da indústria extrativa mineral (exceto petróleo e gás), por grupo CNAE 2.0 – 03TRI2023	28
Figura 7 – Variação interanual do emprego formal na indústria extrativa (exceto petróleo e gás), por grupo CNAE 2.0 – 04TRI2023	28
Figura 8 – Estoque de mão de obra da IEM (exceto petróleo e gás) por estado	29
Figura 9 – Distribuição do estoque de mão de obra da ITM – 04TRI2023	29
Figura 10 – Evolução do saldo e do estoque de trabalhadores da ITM – 04TRI2022 a 04TRI2024	30
Figura 11 – Salários de admissão na extração mineral na IEM – 04TRI2023	30
Figura 12 – Participação das principais substâncias metálicas no valor da produção mineral comercializada - 2021	31
Figura 13 – Porte e modalidade de lavra das minas - 2021	33
Figura 14 – Etapas da mineração.	35
Figura 15 – Métodos de Lavra.	38
Figura 16 – Operações de lavra.	38
Figura 17 – Produção beneficiada de minério de ferro, volume de rejeito e de estéril (milhões de t).	40
Figura 18 – Resumo comparativo dos principais métodos construtivos de barragens de rejeito.	43

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Produção dos principais minerais metálicos no Brasil, em 2021 . . .	32
Tabela 2 – Produção e reservas mundiais de minério de ferro (milhões de t), em 2020 e 2021	34

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

IPRJ	Instituto Politécnico
UERJ	Universidade do Estado do Rio de Janeiro
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ANM	Agência Nacional de Mineração
APC	Associação de Produtores de Calcário
BNDES	Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social
CAGED	Cadastro Geral de Empregados e Desempregados
CFEM	Compensação Financeira pela Exploração Mineral
CNAE	Classificação Nacional de Atividades Econômicas
CSN	Companhia Siderúrgica Nacional
CVRD	Companhia Vale do Rio Doce
EPA	Environmental Protection Agency (Agência de Proteção Ambiental)
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IBRAM	Instituto Brasileiro de Mineração
ICMM	International Council on Mining and Metals
IEM	Indústria Extrativa Mineral
IPEA	Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada
ITM	Indústria de Transformação Mineral
ME	Ministério da Economia
MME	Ministério de Minas e Energia
PIB	Produto Interno Bruto
RBM	Revista Brasil Mineral
ROM	Run of Mine ()
SEPRT	Secretaria Especial de Previdência e Trabalho

USGS	United States Geological Survey (Serviço Geológico dos Estados Unidos)
WPR	World Population Review

SUMÁRIO

	INTRODUÇÃO	14
1	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	16
1.1	Atividade de Mineração	16
1.1.1	<u>O papel da atividade mineradora na economia</u>	21
1.1.1.1	Percentual do PIB devido à mineração	21
1.1.1.2	Mineração em números	22
1.1.1.3	Geração de empregos	24
1.1.1.3.1	Indústria Extrativa Mineral (IEM)	26
1.1.1.3.2	Indústria de Transformação Mineral (ITM)	29
1.1.2	<u>Geração de resíduos (sólidos, líquidos, gasosos)</u>	31
1.1.2.1	Gestão de resíduos sólidos e métodos de disposição de rejeitos	39
1.1.2.2	Resíduos sólidos de extração – estéril	39
1.1.2.3	Resíduos sólidos de beneficiamento – rejeito	40
1.1.2.4	Métodos de disposição de rejeitos	41
1.1.3	<u>Tipos de barragens de rejeitos</u>	43
1.1.3.1	Reaproveitamento de rejeitos barragens	43
1.2	Classificação de risco das barragens de rejeitos	43
1.2.1	<u>Risco: Severidade x Probabilidade</u>	44
1.3	Legislação ambiental: população e ambiente (Brasil x Exterior)	44
1.4	Acidentes em Mariana e Brumadinho	44
1.5	Sistema de alerta existentes	44
1.5.1	<u>Higrômetro de Resistência e seu uso na prevenção de acidentes de barragens</u>	44
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	45
3	MATERIAL E MÉTODOS	46
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	47
	CONCLUSÃO E TRABALHOS FUTUROS	48
	REFERÊNCIAS	49

INTRODUÇÃO

Os setores da agropecuária e da mineração têm sido pilares fundamentais na história econômica do Brasil, contribuindo para o desenvolvimento tanto no âmbito regional quanto nacional. Em 2021, com as commodities em alta em meio à pandemia, a soma de agro e mineração superou a de manufatura no PIB brasileiro pela primeira vez em décadas e a tendência se manteve em 2022 com os efeitos da guerra da Ucrânia (BBC, 2023).

Sendo assim, com a crescente demanda por recursos minerais essenciais, como argila, calcário e ferro, a mineração não apenas fornece matérias-primas para diversas indústrias, mas também gera empregos e contribui para a economia do Brasil. Com isso, o setor de mineração volta ao foco como uma das atividades econômicas importantes do Brasil, contribuindo significativamente para o PIB nacional e para a geração de empregos (IBRAM, 2020).

No entanto, a atividade mineradora também traz consigo desafios e riscos significativos, especialmente no que diz respeito ao gerenciamento de resíduos e de rejeitos resultantes dos processos de beneficiamento do minério, devido aos seus impactos ambientais e sociais (IPEA, 2017).

A gestão de rejeitos de mineração é uma questão crítica que requer abordagens inovadoras e tecnologias avançadas para garantir a segurança e a sustentabilidade ambiental das operações (EPA, 2019). Pois a má gestão dos rejeitos pode levar a uma série de consequências adversas, incluindo mudanças ambientais, desvalorização de imóveis e até mesmo desastres como os que ocorreram em Mariana e Brumadinho (IPEA, 2017), que serviram como um chamado de alerta para a necessidade urgente de melhorar os sistemas de segurança e prevenção em barragens de rejeitos.

Nesse contexto, a engenharia da computação oferece uma variedade de soluções inovadoras que podem ser aplicadas para aumentar a segurança e reduzir os riscos associados às barragens de rejeitos. A prevenção de desastres em barragens de rejeitos requer a implementação de tecnologias modernas e sistemas de monitoramento sofisticados para identificar e mitigar os riscos potenciais (MINING; ICMM, 2021).

Objetivo

Este trabalho teve como objetivo utilizar como exemplo um higrômetro de resistência para solo, implementado por meio da plataforma Arduino, de forma a representar as diversas instrumentações geotécnicas como uma ferramenta na detecção precoce de problemas que pudessem comprometer a segurança de uma barragem de rejeito

para gerar alertas de forma a prevenir desastres. O sistema proposto foi desenvolvido utilizando a plataforma open-source Arduino, equipada com sensores higrométricos de alta precisão, proporcionando assim um monitoramento contínuo e de baixo custo das condições de umidade do solo nas estruturas da barragem. A arquitetura do sistema contempla, adicionalmente, um módulo de comunicação para transmissão automática dos dados coletados, bem como a integração com as bases de dados meteorológicos disponibilizadas pelo Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais (CEMADEN) e pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). Esta integração permite correlacionar os níveis de umidade detectados in loco com parâmetros climatológicos críticos, como precipitação acumulada e previsões pluviométricas para a região monitorada.

Ao integrar tecnologias de engenharia da computação com instrumentação geotécnica é possível desenvolver um sistema de segurança robusto e eficiente que possa ajudar a prevenir desastres semelhantes aos de Mariana e Brumadinho. O sistema implementado possibilita a emissão automatizada de alertas graduais de segurança para autoridades competentes e população potencialmente afetada, estabelecendo diferentes níveis de risco baseados na análise integrada dos dados higrométricos e meteorológicos. Esta pesquisa tem o potencial de contribuir significativamente para a segurança das operações de mineração e para a proteção do meio ambiente e das comunidades afetadas por essas atividades, oferecendo uma solução tecnologicamente acessível e metodologicamente consistente para o monitoramento preventivo em barragens de rejeitos.

Estrutura do Trabalho

No capítulo 1 foi realizada uma pesquisa bibliográfica sobre a atividade de mineração, o PIB nacional, a geração de empregos e a produção de resíduos. Ainda nesse capítulo foi abordado os tipos de barragens de rejeitos, as legislações vigentes, um breve resumo sobre os acidentes de Mariana e Brumadinho e os sistemas de alerta existentes. No capítulo 2 foi descrito o objetivo geral e os objetivos específicos relacionando as medições com a análise de dados e tomada de decisões, assim como a notificação de sistemas de alerta e as APIs. No capítulo 3 foi realizada uma análise dos materiais e métodos, fazendo uso de diagramas, componentes do Arduino e obtenção de dados externos. No capítulo 4 foi apresentado os resultados e conclusões com base nos materiais e métodos utilizados e no capítulo 5 foi apresentada a conclusão final do trabalho.

1 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Na América Latina, historicamente marcada por colônias de exploração, o extrativismo mineral teve início para atender aos interesses dos países colonizadores, continuando ao longo dos anos. No final da década de 1990, com a expansão da globalização e o aumento do consumo de metais, a indústria mineral começou a se expandir em ritmo acelerado, tanto em termos de volumes extraídos quanto na abertura de novas minas (FERNANDES; ARAUJO, 2016).

Em 2023, o Brasil estava entre um dos principais produtores de minerais do mundo, ocupando a nona posição no ranking dos 20 principais países em termos de valor na produção de minerais metálicos e carvão (WPR, 2024). Este setor possui significativa importância na economia nacional, gerando emprego e desempenhando um papel crucial nas exportações do país, com uma alta comercialização de commodities (RBM, 2024).

A atividade mineral apresenta potencial significativo para incrementar a arrecadação tributária e fomentar o crescimento econômico, além de proporcionar melhorias na qualidade de vida da população e promover o desenvolvimento regional, conforme argumentam CARVALHO et al. (2012, p. 1), o setor mineral possui relevância estratégica por sua presença em diversos segmentos econômicos, “produzindo bens primários, que irão suprir as mais variadas atividades econômicas, desde a agricultura até indústrias de tecnologia de ponta”. Os autores ressaltam ainda, que economias que possuem como base a extração dos recursos minerais têm a mineração como fator fundamental.

1.1 Atividade de Mineração

A história da mineração no Brasil está intrinsecamente ligada a outras regiões do mundo, contribuindo conjuntamente para o desenvolvimento do sistema econômico amplamente conhecido como capitalismo (DOMINGUES, 2022, p. 5).

Durante séculos, a exploração de recursos minerais no continente latino-americano constituiu uma base fundamental da economia do Antigo Sistema Colonial, tanto para Portugal quanto para a Espanha. A região mineradora de Potosí, atual Bolívia, por exemplo, destacou-se como o principal centro de extração de prata na América Latina destinada à Europa durante os séculos XVI e XVII. Essa região “forneceu metade de toda a prata que saiu da América com destino à Espanha ao longo do período colonial” (ARÁOZ, 2020, p. 122). No território controlado pelo Estado português, segundo FIGUEIRÔA (1997, p. 38), cinquenta por cento da produção mundial de ouro nos séculos XV e XVIII proveio dessa área.

O início da exploração de minérios no continente latino-americano acompanhou as políticas de desenvolvimento das nações europeias, fornecendo os recursos necessários para a ocorrência da 'Revolução Industrial'. A própria história da escravidão moderna e dos povos indígenas está interligada a esse processo. Em Potosí, por exemplo, utilizava-se a exploração da mão de obra indígena por meio do sistema conhecido como 'mita'. Já nas minas da região de Minas Gerais, a exploração era realizada com trabalho escravo oriundo das sociedades africanas (DOMINGUES, 2022, p. 5).

A mineração no Brasil deu início no século XVII, durante o período colonial, quase dois séculos após a chegada dos portugueses em território sul-americano. A demora na descoberta de jazidas minerais significativas sugere que os interesses econômicos portugueses estavam primariamente voltados para a exploração de recursos como madeira (especialmente pau-brasil), cultivos como o açúcar e o tabaco, bem como para o uso de mão de obra escrava. Estes recursos foram os principais impulsionadores da economia colonial brasileira até que a descoberta de jazidas minerais, como ouro e diamantes, nas regiões de Minas Gerais, Goiás e Mato Grosso, alterou significativamente o foco econômico da colônia, sendo o primeiro grande *boom* mineral, levando o Brasil a se tornar o principal produtor mundial de ouro durante os séculos XVIII e XIX (BARRETO et al., 2001, p. 5); com os resultados da exploração dessa região, a coroa portuguesa superou o volume explorado pela Espanha, marcando o período conhecido pela historiografia como o 'Ciclo do Ouro' (DOMINGUES, 2022, p. 6).

A mineração em Minas Gerais, assim como em muitas outras regiões da América Latina, desempenhou um papel fundamental na organização e expansão do sistema financeiro e comercial do capitalismo na Europa. Dessa forma, os recursos minerais dessa parte do continente americano foram componentes essenciais para a "expansão do socio metabolismo urbano-industrial europeu" (ARÁOZ, 2020, p. 181).

Após quase um século de exploração intensiva, o primeiro ciclo de ouro no Brasil começou a declinar devido ao esgotamento das jazidas superficiais. Segundo FIGUEIRÔA (1997, p. 38), a extração do ouro de 1750 para 1785 foi de uma média de mais de quinze (15) toneladas por ano para menos de cinco (5) toneladas. Diante dessa realidade, os esforços foram redirecionados para criação de condições favoráveis para a instalação de grandes empresas estrangeiras, principalmente inglesas, no país. Assim, durante o século XIX, teve início, embora com pouco sucesso inicial, um novo ciclo de busca por jazidas primárias de ouro, marcando uma transição na indústria mineral brasileira e estabelecendo as bases para futuras explorações e desenvolvimento no setor.

A mineração desempenha um papel fundamental no desenvolvimento do sistema capitalista, sendo um eixo central na prosperidade da tecnologia industrial. No Brasil, esse desenvolvimento adquire contornos significativos, no século XX, ganhando ímpeto

após o término da Segunda Guerra Mundial, durante o governo de Getúlio Vargas na década de 1930, caracterizado pela intervenção do Estado nos setores da economia. Segundo BARRETO et al., 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 et al., 2001, p. 6).

Nesse contexto político e econômico, desenvolvem-se as indústrias de base no Brasil, responsáveis pela transformação de matéria-prima bruta, como a fundição de ferro, alumínio e cobre, além da extração e fabricação de cimento, entre outros processos industriais (DOMINGUES, 2022, p. 7).

A partir dessas circunstâncias históricas na década de 1930, o Estado brasileiro criou códigos legislativos para intervir jurídica e economicamente nas relações entre a indústria, o Estado e o meio natural. Exemplos dessas intervenções incluem o Decreto Federal nº 24.642, de 10 de julho de 1934, que regulamenta o uso das jazidas na mineração (BRASIL, 1934b), o Decreto Federal nº 24.643, de 10 de julho de 1934, que trata da utilização das águas e continua em vigor até os dias atuais (BRASIL, 1934c), e o Código Florestal de 1934, estabelecido pelo Decreto Federal nº 23.793, de 23 de janeiro de 1934 (BRASIL, 1934a).

A demanda do Estado pela atividade mineradora, visando o desenvolvimento da industrialização no contexto mencionado, resultou na concessão de concessões legais à iniciativa privada para explorar as jazidas, além da criação de grandes empresas mineradoras estatais. Em 1941, foi criada a Companhia Siderúrgica Nacional (CSN), em Volta Redonda, que se destacou na exploração das jazidas de minério de ferro, entre outras atividades. Em 1942, o Estado estabeleceu outra grande mineradora, a Companhia Vale do Rio Doce (CVRD), ambas constituídas como empresas estatais, sendo fornecedoras de aço e desempenhando um papel fundamental no desenvolvimento da indústria brasileira (DOMINGUES, 2022, p. 8).

No Brasil, o segundo ciclo significativo na exploração mineral do Brasil, notadamente a partir da década de 1950, e alcançando sua efetiva consolidação no final dos

anos 1960. De acordo com FONSECA (2012, p. 51-56), esse período foi marcado pela defesa da industrialização, pelo intervencionismo pró-crescimento e pelo nacionalismo; durante essa época, houve um notável desenvolvimento e expansão do setor mineral brasileiro, resultando na construção de grande parte da infraestrutura mineral atual (BARRETO et al., 2001, p. 5).

Entre os anos 1946 e 1964, a Terceira República brasileira teve início com uma política liberal, seguida por um breve período nacionalista durante o retorno do presidente Getúlio Vargas (1951-1954), quando foram instituídos o monopólio estatal do petróleo e a criação da empresa Petrobras (VILLAS-BÔAS, 1995).

De acordo com DOMINGUES (2022, p. 8), este desenvolvimento da atividade mineradora, impulsionado pelo Estado, seguiu-se durante o governo de Juscelino Kubitschek (1956-1961), que propôs metas para realizar um crescimento industrial acelerado no país. O 'Plano de Metas' foi um programa que visava industrializar e modernizar o Brasil, estabelecendo objetivos específicos para diversos setores da economia, sendo lembrado pela expressão 'Cinquenta anos em cinco'. Para atingir as metas estabelecidas, o governo implementou políticas de incentivo à iniciativa privada, promovendo um ambiente favorável aos negócios para os empresários.

Após o governo de Juscelino Kubitschek, o Brasil enfrentou três anos de intensa instabilidade política, marcados pela renúncia de um presidente eleito e pela deposição de outro, culminando na ascensão dos militares e na instauração da Ditadura. Esse período marcou o fim de um ciclo.

Naquele tempo, o setor de mineração já possuía uma escala média, primariamente focada em atender ao mercado interno, o que mudaria substancialmente e rapidamente durante o período da Ditadura. Além da estrutura produtiva de ferro e aço, estabelecida para suprir a alta demanda interna necessária para a infraestrutura, destacavam-se os significativos volumes produzidos pelo setor de não metálicos. Estes incluíam materiais de uso direto e local, como areia, brita e argila, essenciais para a construção de residências, cidades e grandes obras. A extração desses materiais era realizada por milhares de pequenas e médias empresas utilizando tecnologias muitas vezes antiquadas.

Em segundo plano, encontravam-se os não metálicos conhecidos como Rochas e Minerais Industriais, como caulim, talco e magnesita, empregados em diversos setores da indústria de transformação. Além disso, havia exportações significativas de ouro e pedras preciosas (VILLAS-BÔAS, 1995).

Durante o período da ditadura militar (1964-1985), os setores de exploração da natureza, como a mineração, foram intensamente incentivados pelo governo. O novo regime, que se estendeu por 21 anos, adotou uma política nacionalista e desenvolvimentista, caracterizada por uma estreita colaboração com o capital estrangeiro. Vários grandes empreendimentos multinacionais foram rapidamente estabelecidos no país.

Uma década depois, o capital estrangeiro já era responsável por 44% de toda a produção de minerais metálicos extraídos no Brasil (VILLAS-BÔAS, 1995). Esse período é historicamente denominado “Milagre Econômico”, em que o Brasil alcançou taxas elevadas de crescimento econômico, superiores às de outros países latino-americanos. Contudo, sob a ideologia central da Ditadura, havia a premissa de que o crescimento econômico deveria ocorrer inicialmente antes de qualquer redistribuição de renda. No entanto, esta segunda fase nunca se concretizou, resultando em uma parcela significativa da população brasileira vivendo abaixo da linha da pobreza (VILLAS-BÔAS, 1995).

Na década de 1970, a política de crescimento acelerado, baseada na ideia de recursos inesgotáveis, resultou em significativos investimentos no setor energético brasileiro. Isso incluiu a construção das hidrelétricas de Itaipu e Tucuruí para energia hidrelétrica, além das usinas nucleares de Angra dos Reis para energia nuclear. Paralelamente, o setor mineral brasileiro tornou-se cada vez mais globalizado e orientado para atender à demanda externa. Nesse período, a Companhia Vale do Rio Doce (CVRD) consolidou-se como um dos principais produtores e exportadores mundiais de minério de ferro. Destacaram-se também os metais não ferrosos como alumínio, cobre, zinco, entre outros (VILLAS-BÔAS, 1995) apud (FERNANDES; ARAUJO, 2016).

A partir de 1968, a mineração no Brasil registrou taxas anuais de crescimento superior a 10%. Além disso, foram desenvolvidos diversos projetos com participação de capital estrangeiro, especialmente na Amazônia, onde foram estabelecidos grandes empreendimentos de mineração, como o minério de ferro em Carajás (descoberto em 1967), a bauxita no Vale do Trombetas no Pará, a cassiterita em Pitinga no Amazonas, e o manganês na Serra do Navio no Amapá (LINS et al., 2000) apud (FERNANDES; ARAUJO, 2016).

No início do século atual, para Maristela Svampa, os governos progressistas na América Latina, apostaram na superação econômica por meio da exportação de commodities. Segundo a autora, esses governos historicamente adotaram a exportação de recursos naturais como modelo econômico para superar o atraso econômico. Nesse contexto, esses governos vivenciaram o “Boom das commodities”, um período de elevação nos preços dos recursos naturais (SVAMPA, 2019) apud (DOMINGUES, 2022, p. 144).

Atualmente, o Brasil mantém-se como um dos principais produtores e exportadores de minérios do mundo: cerca de 80% de tudo o que produz é exportado, gerando expressivo montante de divisas. Juntamente com o agronegócio, a mineração constitui-se um dos setores estratégicos para o equilíbrio da balança comercial brasileira. Apesar da diversificação crescente, o minério de ferro ainda representa aproximadamente 60% das exportações do setor mineral brasileiro (ANM, 2023b).

Hoje, segundo o IBRAM (2024), a indústria mineral do Brasil se destaca por:

- Em 2024, o setor mineral registrou alta de 9,1% no faturamento em relação a 2023, totalizando R\$ 270,8 bilhões (excluindo-se petróleo e gás);
- As exportações minerais brasileiras alcançaram US\$ 43,43 bilhões, um aumento de 0,9%;
- As importações minerais caíram 23,1% em US\$ (totalizando US\$ 8,5 bilhões) e 1,6% em toneladas (totalização 41,2 milhões de toneladas);
- O saldo comercial mineral, de US\$ 34,9 bilhões equivale a 47% do saldo comercial brasileiro, que foi de US\$ 74,5 bilhões;
- São mais de 221 mil empregos diretos no setor, desse total, foram geradas 8.703 novas vagas, no período de Janeiro e Novembro de 2024;
- As principais substâncias produzidas, com participação no faturamento do setor, são: Minério de ferro (59,35%), Minério de ouro (8,81%), minério de cobre (7,49%), bauxita (2,11%), água mineral (2,81%), granito (2,81%), calcário dolomítico (3,36%), areia (1,36%), fosfato (1,41%), minério de níquel (0,83%), minério de manganês (0,18%), e minério de nióbio (0,44%), de acordo com os dados do IBRAM, 2024.
- Os principais Estados produtores em 2024, de acordo com o IBRAM (2024), em bilhões R\$, e a participação dos mesmos no faturamento, respectivamente são: MG (R\$ 108,3; 40%), PA (R\$ 97,6; 36,1%), SP (R\$ 10,3; 3,8%), BA (R\$ 10,1; 3,7%), GO (R\$ 9,6; 3,6%), MT (R\$ 7,5; 2,8%), e outros (R\$ 27,4; 10,1%).

1.1.1 O papel da atividade mineradora na economia

1.1.1.1 Percentual do PIB devido à mineração

A relevância de um setor produtivo na economia de um país é geralmente medida por sua contribuição ao produto interno bruto (PIB) (LEÃO; RABELO, 2023). Entre 2000 e 2019, a participação da cadeia produtiva da economia mineral variou entre 2,5% e 4% do PIB brasileiro, com oscilações entre R\$ 150 bilhões e R\$ 340 bilhões, em valores ajustados para 2021. Essas variações foram influenciadas por duas crises econômicas nacionais (2009 e 2015/2016) e pelas flutuações internacionais dos preços das commodities minerais (IPEA, 2023); estes dados são frutos do estudo “A extensão da cadeia produtiva da economia mineral no PIB brasileiro”, do Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA) e do Ministério de Minas e Energia (MME), lançado em Dezembro/2023, em que destaca que a metodologia utilizada para medir a cadeia produtiva da mineração foi aprimorada, permitindo uma avaliação mais precisa do impacto econômico do setor (LEÃO; RABELO, 2023).

Em 2021, o faturamento do setor de mineração no Brasil alcançou R\$ 339 bilhões, um aumento de 62% em relação a 2020. Esse valor representa aproximadamente 3,1% do PIB brasileiro, com a indústria extrativa mineral contribuindo com 1,2% e siderurgia com 1,9% do PIB (APC, 2024).

O PIB do Brasil em 2023 foi de R\$ 10,9 trilhões, representando um crescimento de 2,9% em relação ao ano anterior. Esse crescimento foi impulsionado por diversos setores da economia, com destaque para as indústrias extrativas, que cresceram 8,7%, principalmente devido ao aumento na extração de petróleo, gás natural e minério de ferro, refletindo a importância da mineração no desempenho econômico do Brasil (IBGE, 2024).

Em 2024, PIB fecha com crescimento de 3,4%, totalizando R\$ 11,7 trilhões frente a 2023; maior taxa anual do PIB desde 2021. O resultado do Valor Adicionado frente ao ano anterior refletiu o desempenho das três atividades: Agropecuária (-3,2%), Indústria (3,3%) e Serviços (3,7%). Em relação ao 4º tri de 2023, PIB cresce 3,6%, entre as atividades, a Indústria avançou 2,5% no trimestre; as Indústrias de Transformação registraram crescimento (5,3%), por outro lado, as Indústrias Extrativas (-3,6%) obtiveram queda, puxadas pela retração na extração tanto de petróleo e gás quanto de minério de ferro (IBGE, 2025).

Em dados gerais, a mineração, incluindo a siderurgia, representa aproximadamente 3% do PIB brasileiro. Mais especificamente, a mineração isoladamente contribui com cerca de 1,2% e a siderurgia com 1,9%, totalizando 3,1%. Historicamente, a mineração tem contribuído com cerca de 2% a 4% do PIB brasileiro, essa participação pode variar de ano para ano, dependendo de fatores como a demanda global por minerais, os preços das commodities e os níveis de produção (APC, 2024).

1.1.1.2 Mineração em números

Segundo dados da Mineração em Números (IBRAM, 2023) apud (FONSECA, 2024), o setor apresentou os resultados abaixo, e que se encontram representados nas Figuras 1, 2 e 3:

- O faturamento da indústria da mineração brasileira se manteve estável em 2023, em relação ao ano anterior, passando de R\$ 250 bilhões para R\$ 248,2 bilhões, uma redução de 0,7%;
- Minas Gerais aparece com a maior participação no faturamento: 41,7% em 2023 – passando de R\$ 100,5 bilhões em 2022 para R\$ 103,6 bilhões, (crescimento de 3%). O Pará apresentou redução de 7,6%, passando de R\$ 92,4 bilhões para R\$ 85,4 bilhões;
- Entre as principais substâncias na participação do faturamento, destacam-se: minério de ferro (59,6%) e ouro (8,5%). Cobre (6,5%), calcário (3,8%), gra-

nito (2,6%), bauxita (2,3%) e nióbio (0,5%) completam as substâncias de maior relevância;

- As exportações minerais totais, tiveram alta de 3,1% em relação a 2022, alcançando quase US\$ 43 bilhões, enquanto as importações minerais tiveram queda de 34,2% (US\$ 11 bilhões);
- O saldo comercial do setor, portanto, se situou em US\$ 31,95 bilhões, 28,3% a mais do que em 2022 – isso significa que o saldo mineral corresponde a 32% do saldo total da balança comercial de 2023, que foi de US\$ 98,84 bilhões;
- O minério de ferro respondeu por 71% dos minérios exportados em 2023, passando de 344,1 milhões de toneladas em 2022 para 378,5 milhões de toneladas em 2023, um aumento de 10%. As exportações do minério de ferro somaram US\$ 30,5 bilhões em 2023, registrando um aumento de 5,7% frente aos US\$ 28,9 bilhões de 2022;
- A coleta de impostos e encargos seguiu a tendência do volume de vendas em 2023. Houve uma diminuição de 0,7%, com o montante passando de R\$ 86,2 bilhões em 2022 para R\$ 85,6 bilhões. A receita proveniente da Compensação Financeira pela Exploração Mineral (CFEM), que é o royalty do setor mineral, manteve-se praticamente constante, reduzindo de R\$ 7 bilhões para R\$ 6,9 bilhões de um ano para o outro;
- Em termos de emprego, com 9 mil vagas a mais em 2023, o setor mineral manteve mais de 210 mil postos de trabalho diretos, conforme levantamento realizado em novembro de 2023 pelo Novo Caged, órgão vinculado ao Ministério do Trabalho e Emprego;
- Destaca-se, ainda, o aumento nos aportes financeiros planejados pelas empresas mineradoras no país. Inicialmente projetados em US\$ 50 bilhões para o período de 2023 a 2027, os investimentos agora estão estimados em até US\$ 64,5 bilhões para o período de 2024 a 2028.
- A sustentabilidade operacional está em foco nos investimentos. Até 2028, a indústria da mineração planeja aumentar em 62,7% os recursos destinados a iniciativas socioambientais. Esses investimentos constituem a segunda maior proporção dos recursos setoriais previstos até 2028, correspondendo a 16,6% do total, equivalente a US\$ 10,7 bilhões, comparados aos US\$ 6,6 bilhões projetados para o período de 2023 a 2027.

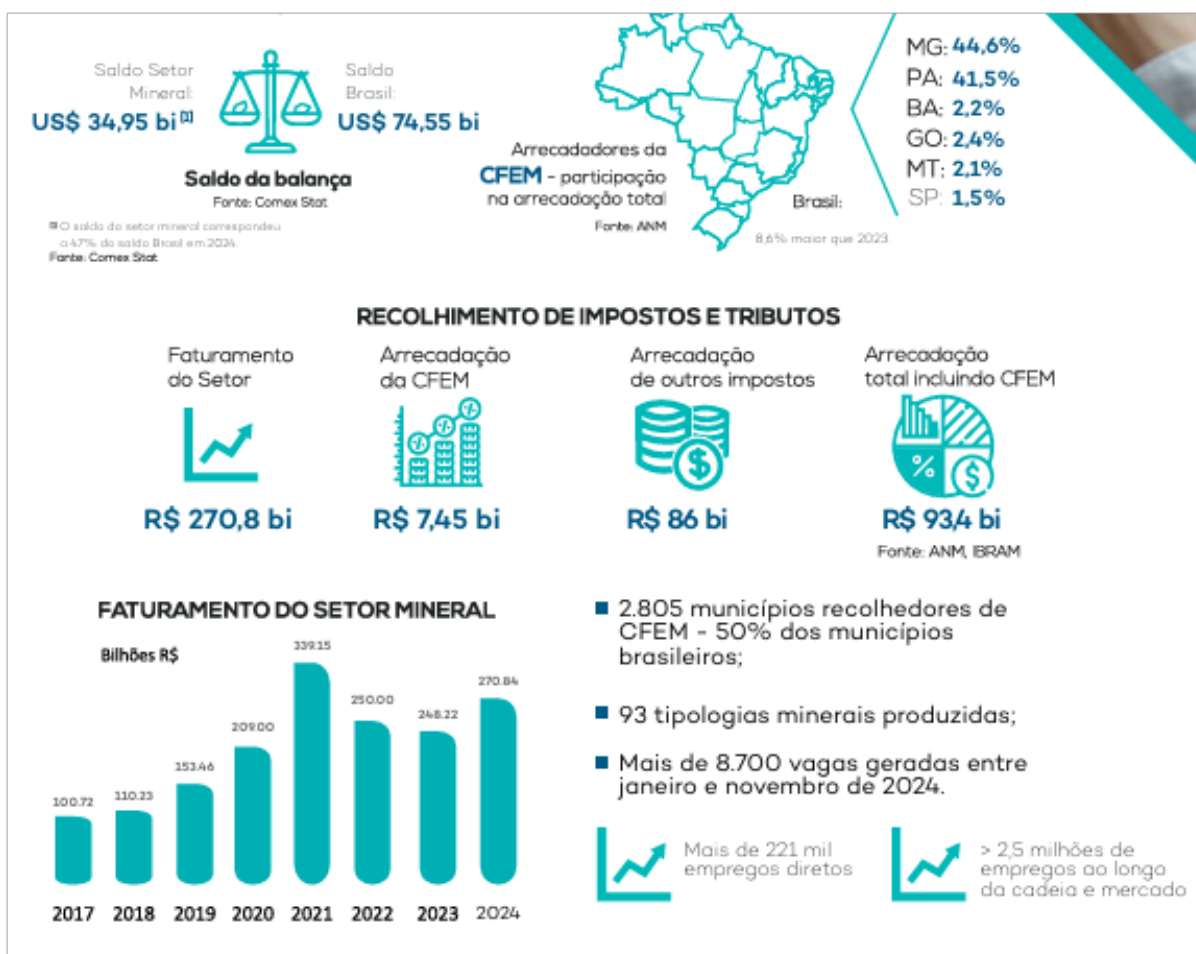


Figura 1 – Mineração em Números (2024) – Saldo comercial, impostos e faturamento

Fonte: Mineração em Números (IBRAM, 2024)

1.1.1.3 Geração de empregos

Conforme a ANM (2023b), para a análise do mercado de trabalho do Setor Mineral, são selecionados os grupos de atividades relevantes conforme a Classificação Nacional de Atividades Econômicas (CNAE) 2.0.

No estudo de ROCHA (2020), que visa avaliar o impacto macroeconômico da mineração no Brasil, é realizada uma distinção entre a Indústria Extrativa Mineral (IEM) e a Indústria de Transformação Mineral (ITM). Na Indústria Extrativa Mineral (IEM), refere-se à extração de minerais, incluem-se: extração de carvão mineral, extração de minério de ferro, extração de minerais metálicos não ferrosos, extração de pedra, areia e argila, extração de outros minerais não metálicos, e atividades de apoio à extração de minerais, exceto petróleo e gás natural. Na Indústria de Transformação Mineral (ITM), as atividades selecionadas são: fabricação de produtos cerâmicos, fabricação de artefatos de concreto, cimento, fibrocimento, gesso e materiais semelhantes, aparelhamento de pedras e fabricação de outros produtos de minerais não metálicos, siderurgia, fabricação de artigos de joalheria, bijuteria e semelhantes, produção de tubos de aço,

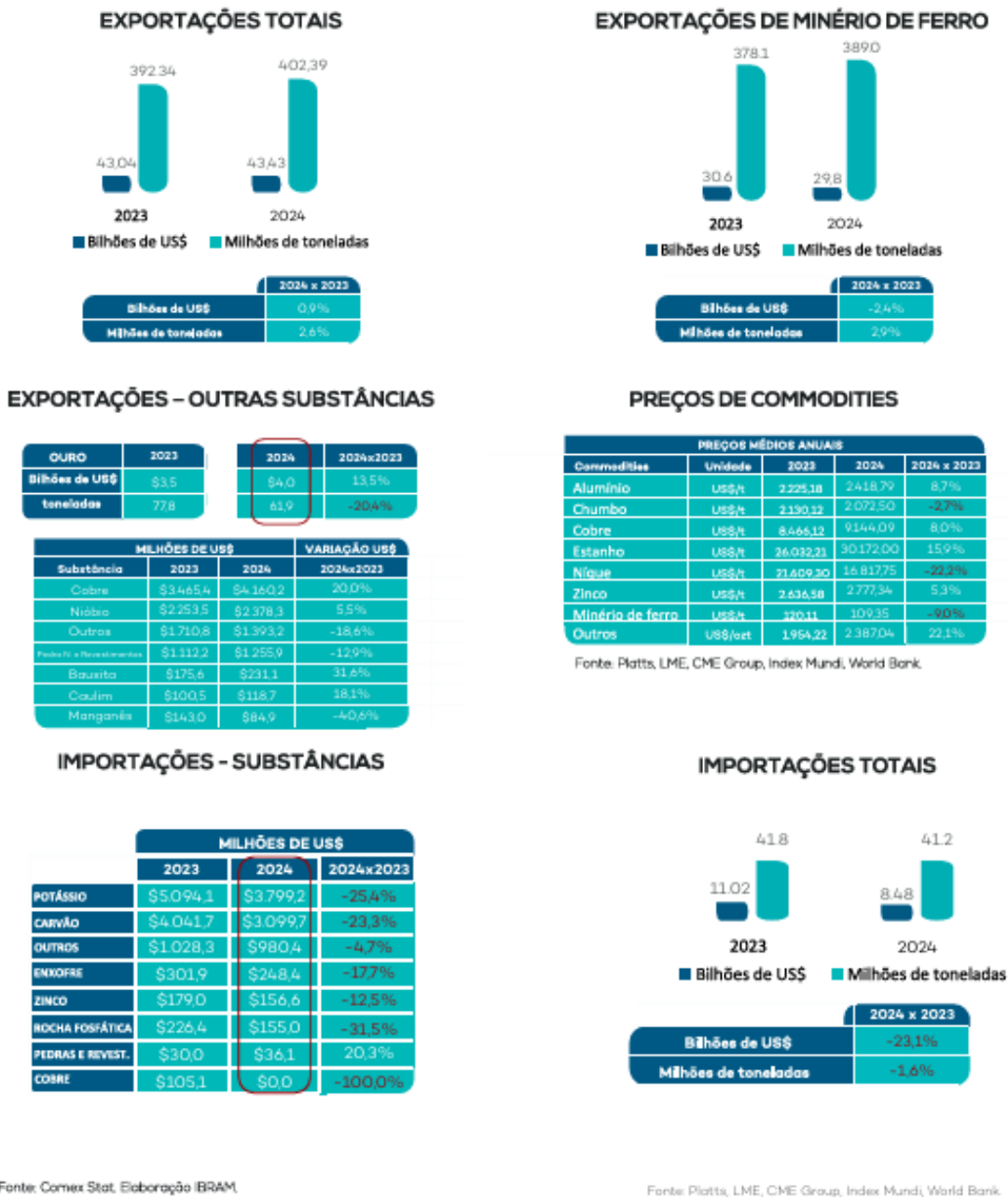


Figura 2 – Mineração em Números (2024) – Exportação e Importação

Fonte: Mineração em Números (IBRAM, 2024)



Figura 3 – Mineração em Números (2024) – Principais substâncias produzidas – Participação no faturamento do setor

Fonte: Mineração em Números (IBRAM, 2024)

exceto tubos sem costura, produção de ferro gusa e de ferroligas, fabricação de cimento,

fabricação de produtos cerâmicos, e forjaria, estamparia, metalurgia do pó e serviços de tratamento de metais (ANM, 2023b).

De acordo com ANM (2023a), os detalhes sobre o Novo CAGED, e o CNAE 2.3, têm-se o seguinte, respectivamente:

Até 2019, utilizou-se os dados do Cadastro Geral de Empregados e Desempregados (CAGED), do Ministério da Economia (ME), formado por trabalhadores celetistas. A partir de 2020, os dados passaram a ser extraídos do Novo CAGED, que alterou a metodologia de coleta, conforme Nota Técnica de 27/05/2020 do SEPRT/ME, ampliando a base avaliada para todos os trabalhadores formais: empregados sob a CLT; temporários; avulsos; agentes públicos; trabalhadores cedidos; dirigentes sindicais; contribuintes individuais; e bolsistas.

Para a discriminação e totalização de dados de emprego específicos do setor mineral dentro do Novo CAGED, o Informe seleciona os grupos de atividades da Classificação Nacional das Atividades Econômicas (CNAE 2.3) a seguir: 50 - extração de carvão mineral; 71 - extração de minério de ferro; 72 - extração de minerais metálicos não ferrosos; 81 - extração de pedra/areia/argila; 89 - extração de outros minerais não metálicos e 99 - atividades de apoio à extração de minerais, exceto petróleo e gás natural.

1.1.1.3.1 Indústria Extrativa Mineral (IEM)

Segundo dados da ANM (2023b), o saldo de emprego formal na Indústria Extrativa Mineral (IEM), calculado pela diferença entre admissões e demissões e fornecido pelo Novo CAGED (Cadastro Geral de Empregados e Desempregados no eSocial, fornecido pelo Ministério da Economia), registrou uma variação de 1.869 postos no terceiro trimestre de 2023; isso representa um aumento de 3,6% em relação ao mesmo trimestre do ano anterior (03TRI2022), como pode ser observado na Figura 4. Já no quarto trimestre, registrou variação de -119 vagas com carteira assinada; se comparado ao mesmo período do ano anterior, observa-se um aumento de 3,9%; o setor mineral emprega diretamente 208.176 pessoas (Figura 5).

Os resultados das contratações no Índice de Evolução do Mercado (IEM) demonstraram um saldo positivo durante o terceiro trimestre de 2023 para a maioria dos grupos classificados pelo Código Nacional de Atividades Econômicas (CNAE) 2.0, com exceção da atividade de Extração de Minerais Metálicos Não-Ferrosos (Figura 6). A performance desfavorável neste grupo foi atribuída à interrupção das operações de extração de ouro pela AngloGold Ashanti, resultando no fechamento de 754 postos de trabalho em Santa Bárbara (MG). Além disso, contribuiu para esse resultado a

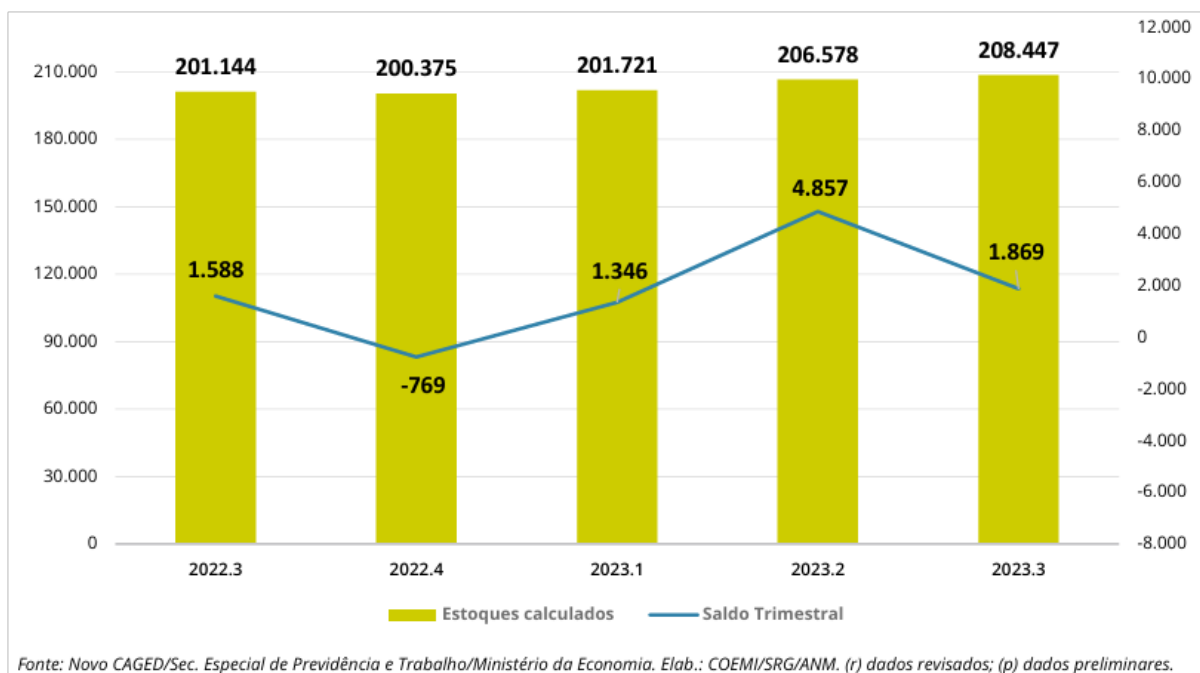


Figura 4 – Saldo ajustado e estoque trimestral de mão de obra do setor de extração mineral (exceto petróleo e gás) – 03TRI2023

Fonte: ANM (2023b)

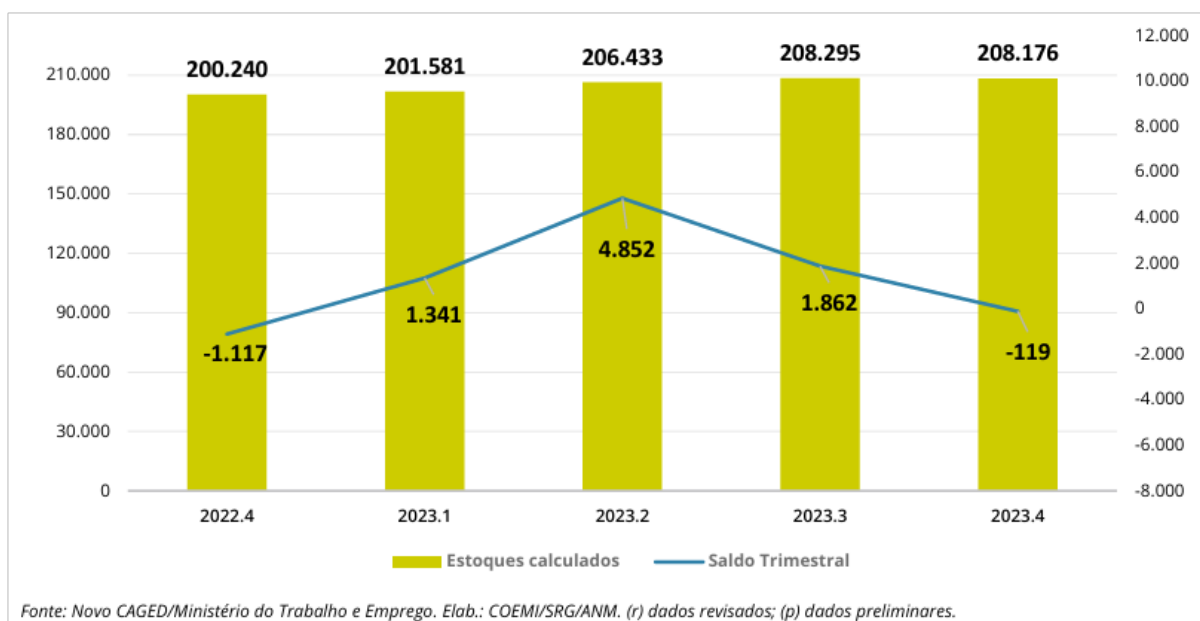


Figura 5 – Saldo ajustado e estoque trimestral de mão de obra do setor de extração mineral (exceto petróleo e gás) – 04TRI2023

Fonte: ANM (2023c)

falência da Buritirama Mineração, que atua na extração de manganês, ocasionando o encerramento de 408 postos de trabalho apenas em Marabá (PA) (ANM, 2023b).

As flutuações anuais no número de trabalhadores contratados formalmente mostraram-se mais significativas no setor de Extração de Minério de Ferro (Figura 7). Por outro lado, os resultados mais desfavoráveis foram observados no segmento das

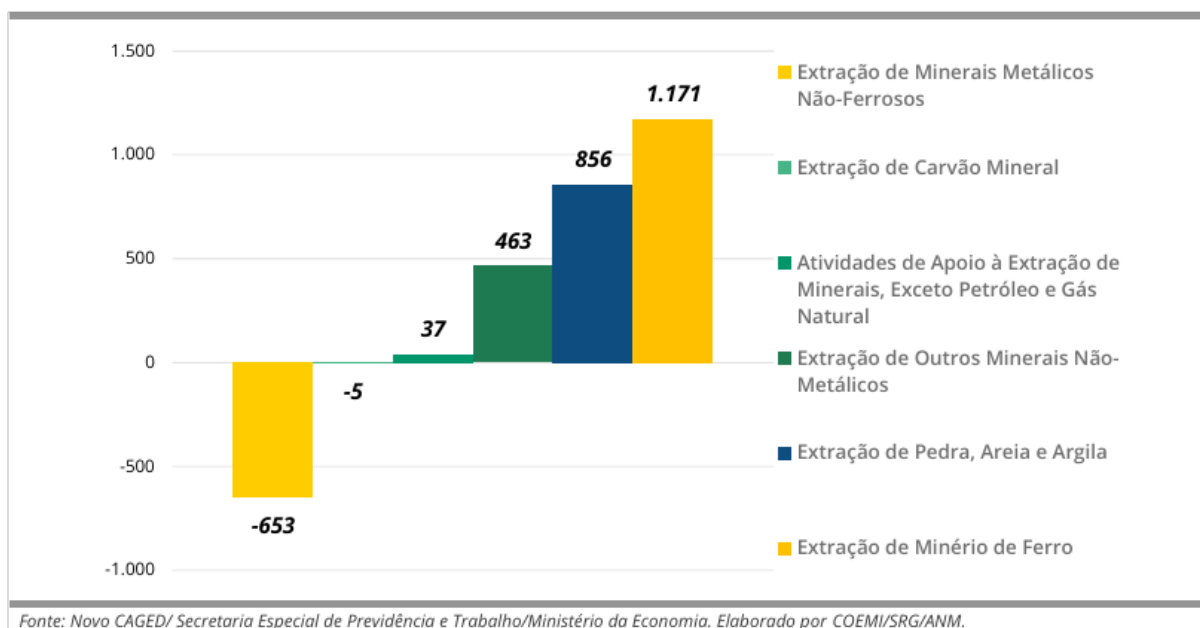


Figura 6 – Saldo de mão de obra da indústria extrativa mineral (exceto petróleo e gás), por grupo CNAE 2.0 – 03TRI2023

Fonte: ANM (2023b)

Atividades de Apoio à Extração de Minerais, com uma queda de 38,6% (ANM, 2023c).

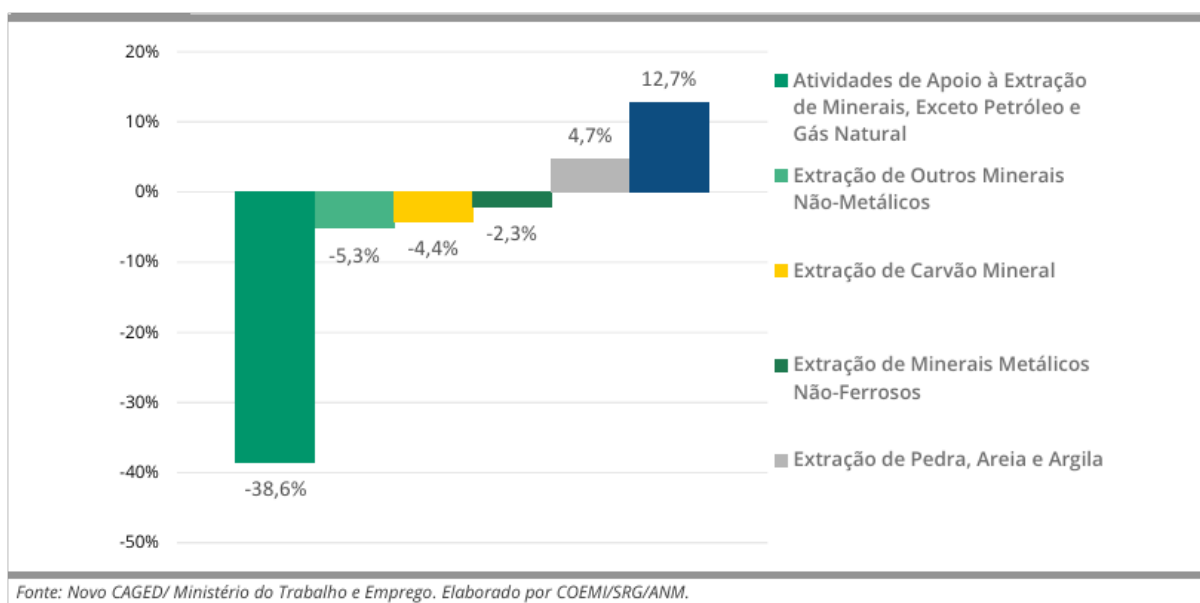


Figura 7 – Variação interanual do emprego formal na indústria extrativa (exceto petróleo e gás), por grupo CNAE 2.0 – 04TRI2023

Fonte: ANM (2023c)

A maior parte da distribuição da força de trabalho da IEM está concentrada nos estados de Minas Gerais (35%), Pará (13%), Bahia (7%) e São Paulo (7%), (Figura 8) (ANM, 2023b).

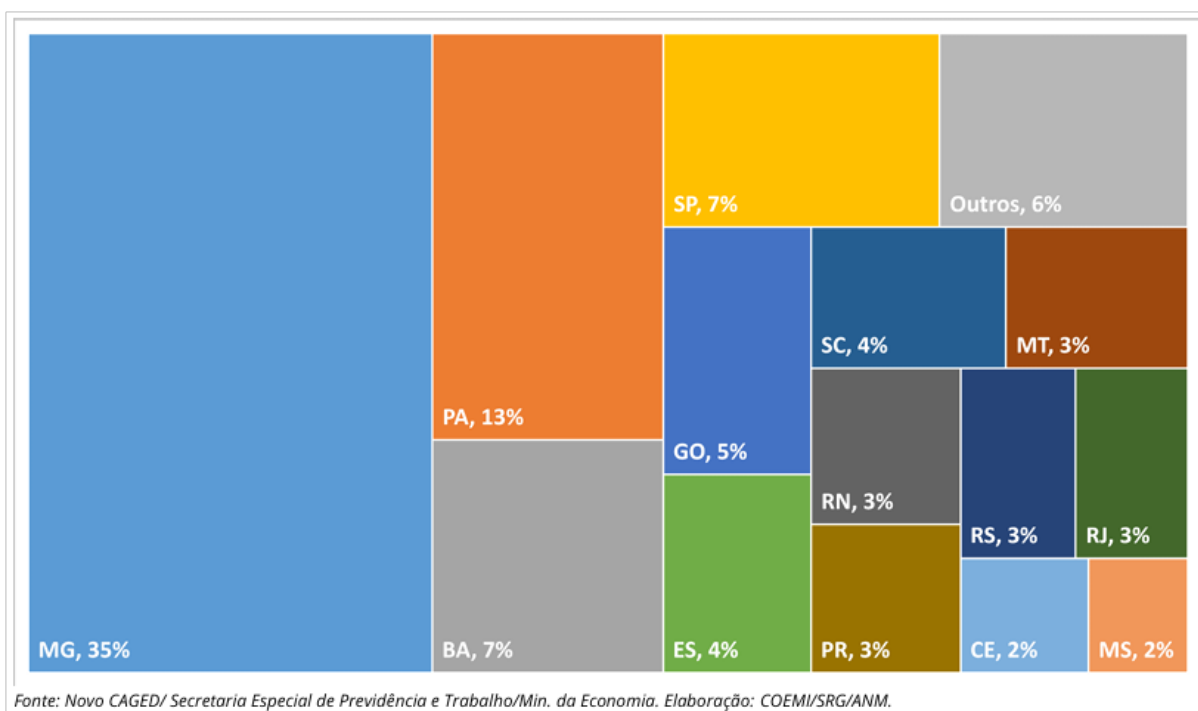


Figura 8 – Estoque de mão de obra da IEM (exceto petróleo e gás) por estado

Fonte: ANM (2023b)

1.1.1.3.2 Indústria de Transformação Mineral (ITM)

Pelos dados da ANM (2023c), na Indústria de Transformação Mineral (ITM), os quatro principais setores empregadores são: Fabricação de Produtos Cerâmicos (18%); Fabricação de Artefatos de Concreto, Cimento, Fibrocimento, Gesso e Materiais Semelhantes (17%); Aparelhamento de pedras e fabricação de outros produtos de minerais não metálicos (12%); Siderurgia (12%); e Fundição (8%) (Figura 9).

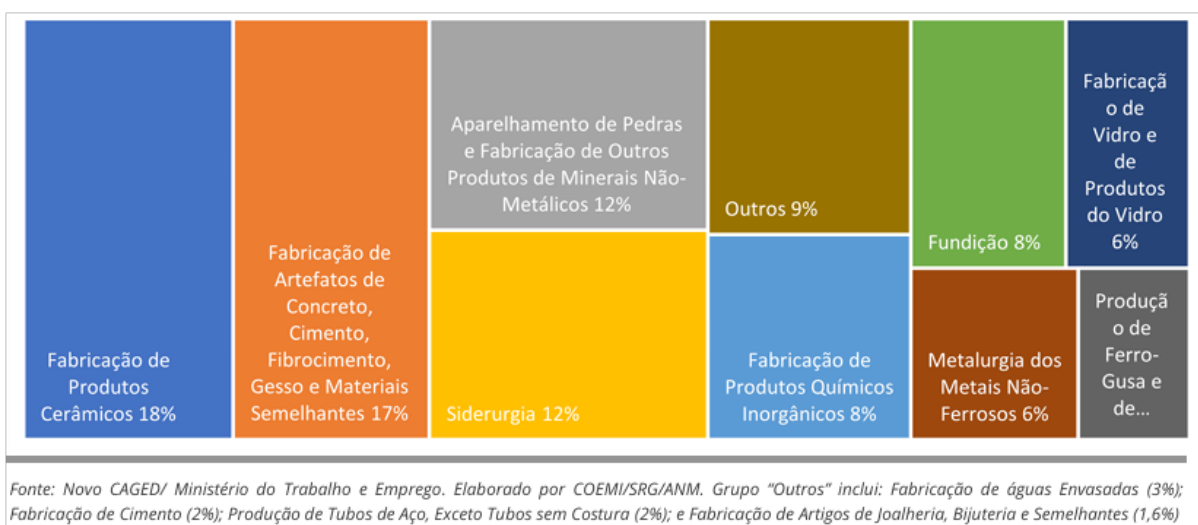


Figura 9 – Distribuição do estoque de mão de obra da ITM – 04TRI2023

Fonte: ANM (2023c)

No quarto trimestre de 2023, os níveis de emprego na ITM atingiram 718.631 postos, representando uma leve redução de 0,3% em comparação com o quarto trimestre de 2022 (Figura 10). Na Figura 11, a mediana dos salários de admissão no setor de Indústria Extrativa Mineral foi de R\$ 1.988,67.

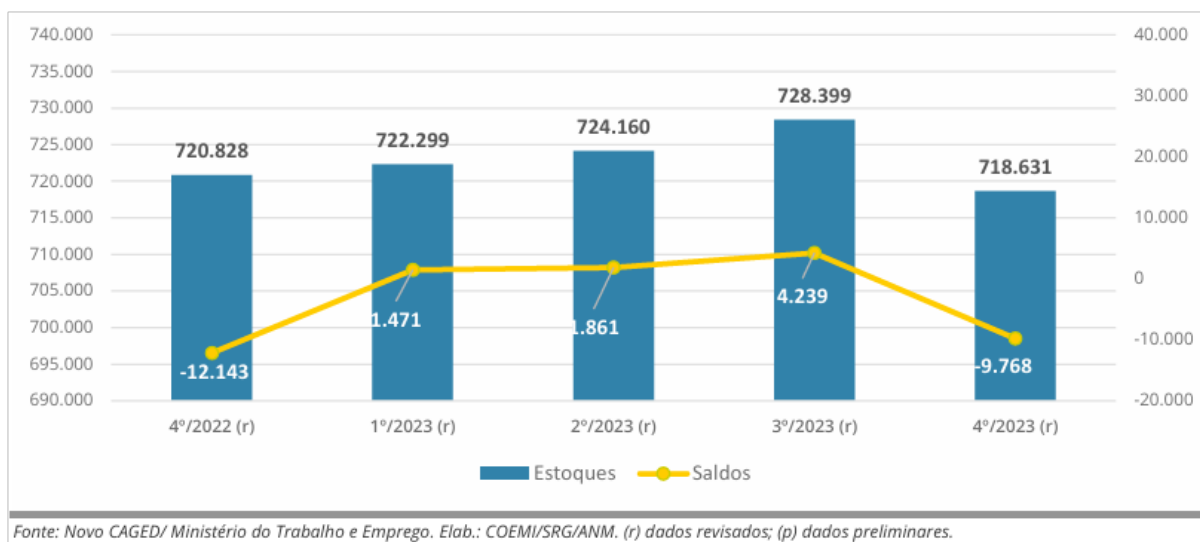


Figura 10 – Evolução do saldo e do estoque de trabalhadores da ITM – 04TRI2022 a 04TRI2024

Fonte: ANM (2023c)

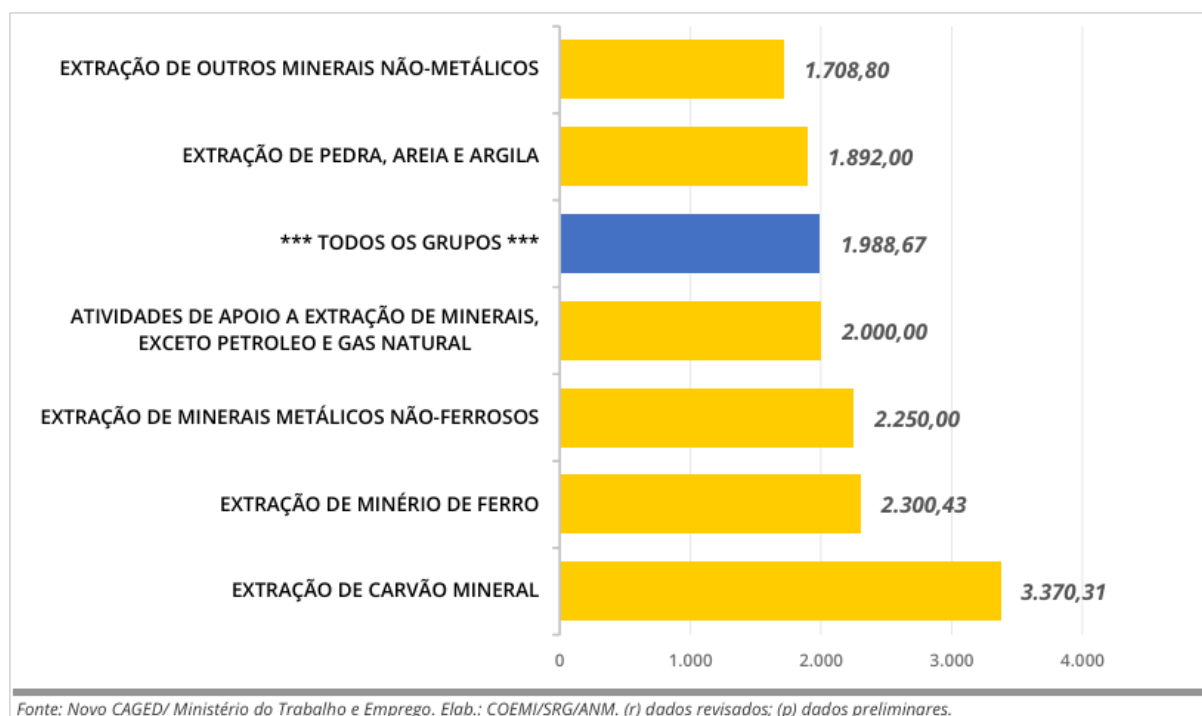


Figura 11 – Salários de admissão na extração mineral na IEM – 04TRI2023

Fonte: ANM (2023c)

1.1.2 Geração de resíduos (sólidos, líquidos, gasosos)

Nessa sessão apresenta-se uma visão da geração de resíduos minerais.

Os bens minerais são divididos em duas grandes categorias: os minerais não metálicos e os metálicos. De acordo com os dados do Anuário Mineral Brasileiro (ANM, 2022), os minerais metálicos responderam por 89% do valor da produção mineral brasileira em 2021, como pode ser observado na Figura 12. Dentre as substâncias, onze evidenciam-se por corresponderem a 99,7% do valor da produção da referida classe, quais sejam: alumínio, cobre, cromo, estanho, ferro, manganês, nióbio, níquel, ouro, vanádio e zinco. O mineral de ferro concentra 80,1% desse volume. O valor da produção dessas onze substâncias totalizou 312,9 bilhões de reais, com destaque para a expressiva participação do ferro nesse montante, cuja produção é concentrada, principalmente, nos estados do Pará e Minas Gerais.

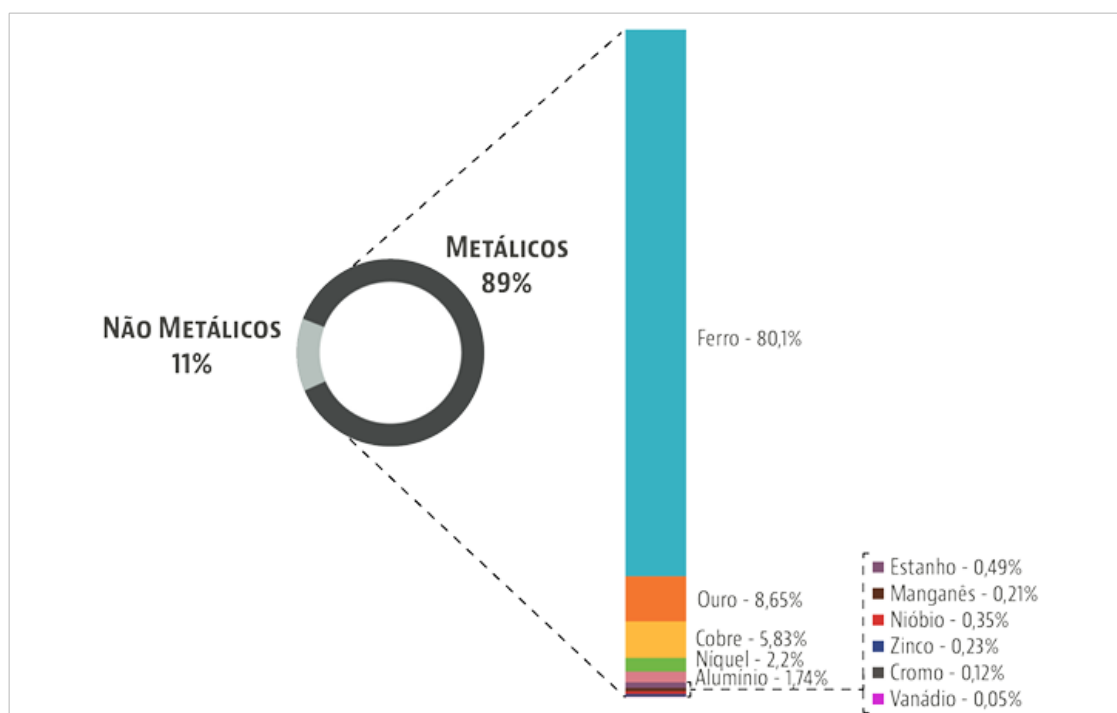


Figura 12 – Participação das principais substâncias metálicas no valor da produção mineral comercializada - 2021

Fonte: ANM (2022)

Os bens minerais não metálicos, que compuseram 11% do valor da produção mineral em 2021, podem ser categorizados, em 7 categorias, da seguinte forma (CARVALHO et al., 2018):

1. Rochas e Minerais Industriais: Inclui materiais como grafita, magnesita, crisotila, calcário, areia industrial, barita, bentonita e fluorita, utilizados principalmente em aplicações industriais;

2. Rochas Ornamentais e de Revestimento: Engloba granitos, mármore, ardósias e quartzitos, valorizados por suas propriedades estéticas e de revestimento;
3. Materiais para Construção Civil: Compreende areia, brita e argila, essenciais na construção de infraestruturas civis;
4. Agrominerais: Inclui rochas fosfáticas e calcário agrícola, utilizados na agricultura para melhorar a qualidade do solo;
5. Minerais Energéticos: Como o carvão mineral, utilizado como fonte de energia;
6. Pedras Preciosas e Semipreciosas: Inclui gemas como diamantes, rubis, esmeraldas, entre outros; e
7. Água Mineral: Água proveniente de fontes naturais com propriedades físicas e químicas distintas, utilizada para consumo humano.

Os minerais metálicos são classificados em três categorias principais (CARVALHO et al., 2018):

1. metais ferrosos, que incluem elementos como ferro, nióbio, manganês e cromo;
2. metais não ferrosos, abrangendo alumínio, cobalto, cobre, chumbo, estanho, metais do grupo da platina, tálio, tântalo, terras-raras, titânio, vanádio, molibdênio e zinco; e
3. metais preciosos, como ouro e prata.

A produção dos principais minerais metálicos no Brasil está apresentada na Tabela 1.

Tabela 1 – Produção dos principais minerais metálicos no Brasil, em 2021

Substância mineral	Quantidade bruta (ROM) (t)	Quantidade beneficiada (t)	Valor total (R\$)
Ferro	567.770.006	430.550.725	250.698.910.257
Ouro	77.711.602	62.215 (kg)	18.334.390.096
Cobre	99.573.449	1.152.696	18.249.632.321
Níquel	12.448.552	342.268	6.896.739.348
Alumínio (bauxita)	46.319.730	33.364.875	5.436.681.849
Estanho (cassiterita)	24.147.707	27.234.898 (kg)	1.544.151.737
Nióbio	23.032.412	209.300	1.098.461.500
Manganês	1.775.218	1.426.058	625.957.307

Fonte: ANM (2022)

O mineral metálico de maior volume de produção é o minério de ferro. Entre os minerais não metálicos, os agregados para construção civil, como brita, cascalho, areia e calcário são consumidos quase em seu estado bruto, já a produção de minério de

ferro requer processos de concentração. Esses processos fazem com que o minério de ferro gere o maior volume de rejeitos minerais no país (CARVALHO et al., 2018).

O minério de ferro é responsável pela maioria das grandes minas no Brasil, com 46 das 76 grandes minas mapeadas em 2021, conforme indicado na Figura 13.

Substância	Grandes			Médias			Pequenas			Subtotal			Total
	CA	M	S	CA	M	S	CA	M	S	CA	M	S	
Brasil	68		8	66		16	61	1	5	195	1	29	227
Alumínio (Bauxita)	4			8			19			31			31
Cobre	4		1	2		2	1			7		3	10
Cromo			1	1			1			2		1	3
Estanho	5			8			4			17			17
Ferro	46			26			10			82			82
Manganês				4		1	12			16		1	17
Nióbio	3									3			3
Níquel	3						1			4			4
Ouro*	4		4	16		13	13	1	5	33	1	22	56
Vanádio	1									1			1
Zinco			2	1						1		2	3

Figura 13 – Porte e modalidade de lavra das minas - 2021

Fonte: ANM (2022)

Nota: Grande: produção bruta (ROM) anual maior que 1.000.000 t; Média: maior que 100.000 t até 1.000.000 t; Pequena: maior que 10.000 t até 100.000 t; CA: mina a céu aberto; M: mina mista (subterrânea e céu aberto); S: mina subterrânea.

Com um número elevado de jazidas e alta produção de minerais metálicos no Brasil, o minério de ferro representa o principal componente mineral da balança de exportação do país, totalizando US\$ FOB 44,6 bilhões em 2021. Mais de 90% da utilização desse recurso é direcionada à fabricação de aço (CARVALHO et al., 2014). No contexto da produção global de minério de ferro, o Brasil ocupa a posição de segundo maior fornecedor do mundo, sendo superado apenas pela Austrália. Os dados da produção de 2020 e 2021, assim como informações sobre reservas lavráveis e teor de ferro dos principais produtores globais, estão detalhados na Tabela 2 da U.S. Geological Survey (USGS, 2022).

Segundo (USGS, 2024), produção de minério de ferro, em milhões de t, nos anos 2022 e 2023, foram de respectivamente, 435.000 e 440.000.

A tendência é que a mineração continue crescendo tanto em termos de produção quanto de importância econômica. Consequentemente, os impactos socioambientais também aumentam. Entre os principais riscos para as populações e regiões afetadas estão o tamanho das operações minerais, o volume de carga movimentada e a quantidade de resíduos gerados. Esses riscos são exacerbados por acidentes e pela ineficiência nos mecanismos de deposição e monitoramento dos rejeitos, especialmente no caso do minério de ferro, em que o Brasil se destaca mundialmente em produção (CARVALHO et al., 2018).

Tabela 2 – Produção e reservas mundiais de minério de ferro (milhões de t), em 2020 e 2021

	Produção mineral (milhões de t)				Reservas (milhões de t)		
	Minério		Conteúdo de ferro		Minério bruto	Conteúdo de ferro	Fe (%)
	2020	2021	2020	2021			
Austrália	912,000	900,000	565,000	560,000	51,000	25,000	33
Brasil	388,000	380,000	247,000	240,000	34,000	15,000	44
China	360,000	360,000	225,000	220,000	20,000	6,900	35
Índia	204,000	240,000	127,000	150,000	5,500	3,400	62
Rússia	100,000	100,000	69,500	71,000	25,000	14,000	56
Ucrânia	78,800	81,000	49,300	51,000	6,500	2,300	35
Canadá	60,100	68,000	36,100	41,000	6,000	2,300	38
Cazaquistão	62,900	64,000	12,700	13,000	2,500	900	36
África do Sul	55,600	61,000	35,400	39,000	1,000	670	67
Irã	49,500	50,000	32,500	33,000	2,700	1,500	55
EUA	38,100	46,000	24,100	29,000	3,000	1,000	33
Suécia	35,800	40,000	25,400	28,000	1,300	600	46
Chile	15,600	19,000	9,890	12,000	N/A	N/A	N/A
Turquia	15,400	16,000	8,570	8,900	130	38	29
México	14,900	17,000	9,380	11,000	N/A	N/A	N/A
Peru	13,300	16,000	8,890	11,000	2,600	1,500	58
Outros países	69,500	90,000	40,000	58,000	18,000	9,500	53
Total mundo	2,470,000	2,600,000	1,520,000	1,600,000	180,000	85,000	47

Fonte: USGS (2022)

A atividade de mineração compreende um conjunto de processos técnicos e operacionais, conforme estabelecido pelo Decreto nº 9.406/2018, Art. 5º, que incluem pesquisa geológica, desenvolvimento da mina, lavra, beneficiamento dos minérios, transporte, comercialização, gestão (aproveitamento) de resíduos, o armazenamento de estéréis e rejeitos e o fechamento da mina (BRASIL, 2018).

O setor de mineração pode ser compreendido nas seguintes etapas, como também pode ser observado na Figura 14. As três primeiras etapas visam ao mapeamento e ao processamento dos recursos minerais. Os recursos minerais são depósitos de minério cujas propriedades permitem a extração de maneira técnica e economicamente viável para a produção de bens minerais. A etapa final da mineração envolve a recuperação ambiental das áreas afetadas. (CARVALHO et al., 2018, p.340-341):

1. Prospecção: Fase inicial que envolve a busca e identificação preliminar de depósitos minerais em uma determinada área geográfica;
2. Pesquisa Mineral: Consiste na realização de estudos detalhados e análises geológicas para confirmar a presença e a viabilidade econômica dos depósitos minerais identificados durante a prospecção;
3. Lavra: Processo de extração dos minerais do solo, que pode incluir métodos de mineração a céu aberto ou subterrânea, além do beneficiamento dos minérios extraídos; e

4. Descomissionamento de Mina: Etapa final que envolve o fechamento e reabilitação da mina, garantindo que a área seja estabilizada e restaurada de acordo com normas ambientais e de segurança, visando minimizar impactos ambientais a longo prazo.

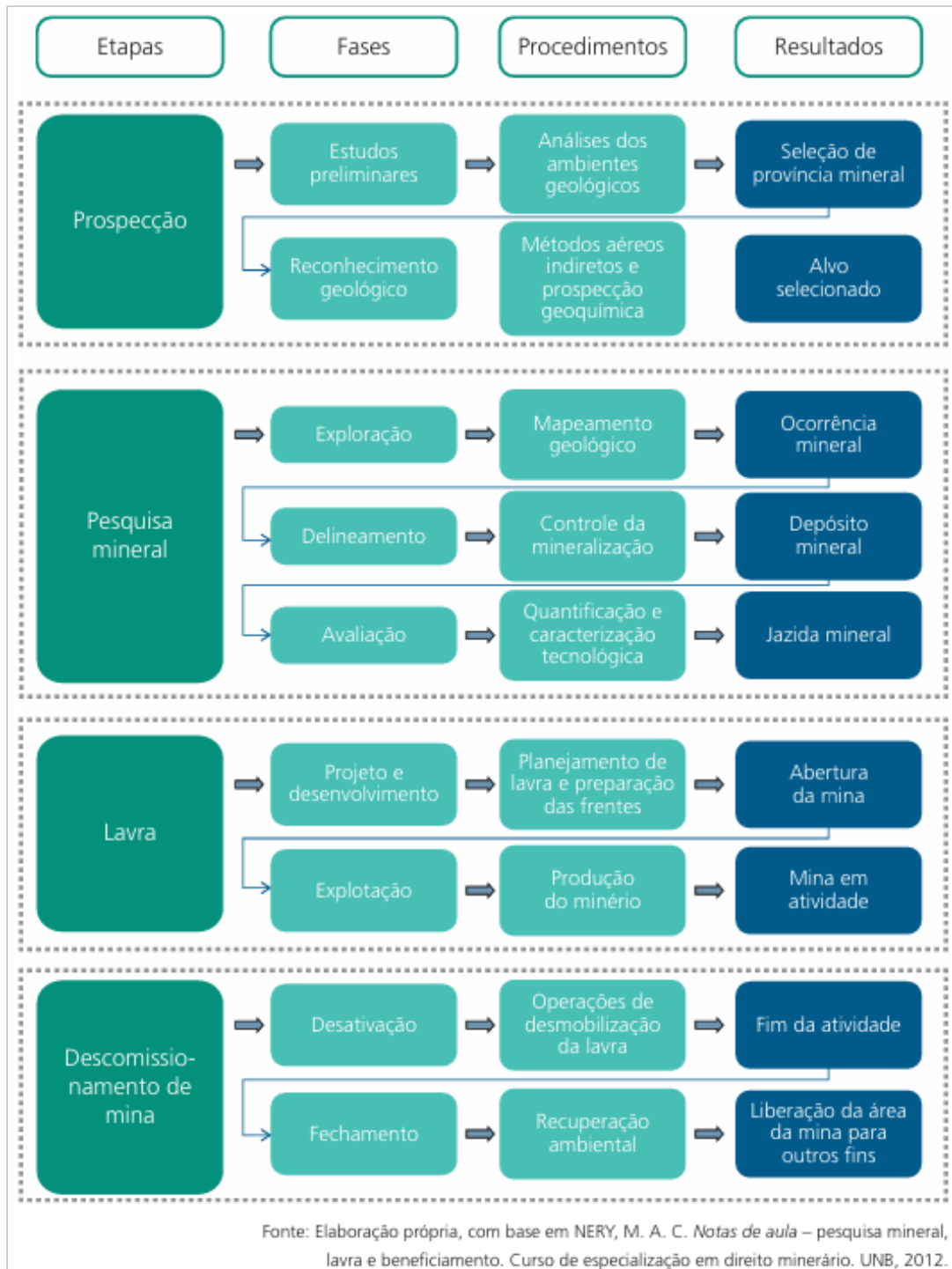


Figura 14 – Etapas da mineração.

Fonte: CARVALHO et al. (2018)

As etapas e os procedimentos de mineração englobam um conjunto de pro-

cessos essenciais para a obtenção de um produto mineral bruto, um concentrado ou aglomerado. O beneficiamento mineral, que constitui a fase final da lavra e inclui a aglomeração, envolve exclusivamente alterações físicas no minério.

A seguir, são descritos os processos e as atividades associadas a cada etapa, com ênfase particular nas fases de lavra e descomissionamento de mina, devido ao seu significativo impacto nos ambientes mineiros (CARVALHO et al., 2018, p.342).

A fase de prospecção, segundo (CARVALHO et al., 2018, p.342), “subdividida em estudos preliminares e no reconhecimento geológico, engloba procedimentos como análises dos ambientes geológicos, métodos aéreos indiretos e prospecção geoquímica. Os resultados obtidos nessa etapa são a seleção de província mineral e do alvo a pesquisar”.

A pesquisa geológica divide em exploração, delineamento e avaliação, utilizando técnicas como mapeamento geológico, análise da mineralização, quantificação e caracterização tecnológica. Durante este estágio, são detalhadas a presença do mineral, a extensão do depósito e a natureza da jazida, avaliando-se a viabilidade de sua exploração econômica (CARVALHO et al., 2018).

No Brasil, o Decreto-lei nº 227, de 28 de fevereiro de 1967 (Código de Mineração), em seu Capítulo III, Artigo 36, determina que, a lavra é o conjunto coordenado de operações destinadas ao aproveitamento industrial da jazida, compreendendo desde a extração dos minerais até seu beneficiamento. Durante esta fase, destacam-se atividades como projeto e desenvolvimento da mina, preparação das frentes de lavra, abertura da mina, extração do minério e beneficiamento, sendo a etapa mais intensiva na geração de resíduos (sólidos, líquidos e gasosos) (BRASIL, 1967).

Por envolver atividades com alto impacto ambiental, o início da etapa de lavra depende, em geral, de estudo de impacto ambiental (EIA), e seu respectivo relatório de impacto ambiental (Rima), e da licença ambiental dos órgãos competentes (CARVALHO et al., 2018, p.342).

Ainda segundo (CARVALHO et al., 2018, p.343), a seleção do método de lavra é um fator crucial que viabiliza a operação de extração do material mineral. As propriedades físicas do depósito, tais como profundidade, extensão e inclinação do corpo mineralizado, impõem restrições à aplicação de determinados métodos de lavra.

Além desses fatores, outras questões devem ser avaliadas, incluindo as técnicas de drenagem e bombeamento das águas superficiais e subterrâneas, a permeabilidade, a deformabilidade e a resistência da rocha (CARVALHO et al., 2018, p.343).

De acordo com (JR, 2019), esse processo é classificado em dois grandes grupos: lavra subterrânea e superficial (a céu aberto). Esta classificação baseia-se nas distintas técnicas de extração do minério, denominadas métodos de lavra, utilizadas em cada grupo.

O método de lavra a céu aberto refere-se à extração de materiais por meio

de escavações realizadas diretamente na superfície terrestre. Em geral, a espessura do estéril — material sem valor econômico que recobre o minério — é relativamente pequena, ou a estrutura geológica do depósito torna inviável ou economicamente desfavorável a abertura de túneis. O acesso ao minério nessas minas é realizado através do processo de decapeamento, que envolve a remoção e o transporte da camada superficial do solo. Subsequentemente, procede-se à remoção do solo alterado. Os principais minerais extraídos por métodos de lavra a céu aberto incluem talco, quartzo, argilas, esmeralda, diamante, brita, ouro, areia e cascalho.

Já o método de lavra subterrânea ocorre no interior do terreno, sendo adequada para rochas e minerais situados em depósitos mais profundos. Nesses casos, a relação estéril-minério é alta, tornando economicamente inviável a exploração a céu aberto. Além disso, há situações em que a legislação exige a lavra subterrânea.

O acesso ao minério em minas subterrâneas é geralmente feito através de poços verticais perfurados a partir da superfície, conhecidos como shafts. Esses shafts permitem o trânsito de pessoas, equipamentos, suprimentos e o próprio minério. A partir dos shafts, são escavadas galerias horizontais, chamadas de drifts, para a extração do minério.

Além dos shafts e drifts, existem rampas, que são galerias de baixa inclinação e curvilíneas destinadas ao tráfego de veículos. Os slopes são galerias de baixa inclinação usadas para o transporte de correias transportadoras. As chaminés, aberturas verticais, são utilizadas para a passagem de material, ventilação e servem como rotas de fuga, embora normalmente não alcancem a superfície.

A Figura 15 apresenta uma descrição detalhada dos métodos de lavra (FREIRE et al., 2020).

Quando comparadas entre si, as operações de lavra a céu aberto apresentam diversas vantagens, incluindo menor custo de produção, facilidade de supervisão, melhores condições de trabalho, uso mais racional e eficiente de explosivos, menores riscos, maior nível de produção e utilização de equipamentos de grande porte. No entanto, as desvantagens desse método incluem a necessidade de maior movimentação de materiais, a imobilização de grandes áreas, a exposição dos trabalhadores às intempéries e a limitação da profundidade de extração (FREIRE et al., 2020).

No Brasil, a maior parte das operações de mineração no Brasil é realizada em minas a céu aberto (CARVALHO et al., 2018, p.343).

(CARVALHO et al., 2018) destacam que a etapa de lavra é a fase de maior intensidade na geração de efluentes (sólidos, líquidos e gasosos). Esta etapa abrange as seguintes atividades: projeto e desenvolvimento da mina, preparação das frentes de lavra, abertura da mina, extração do minério e beneficiamento. As operações de lavra são ilustradas na Figura 16.

A remoção de material superficial é realizada durante a abertura e desenvolvi-

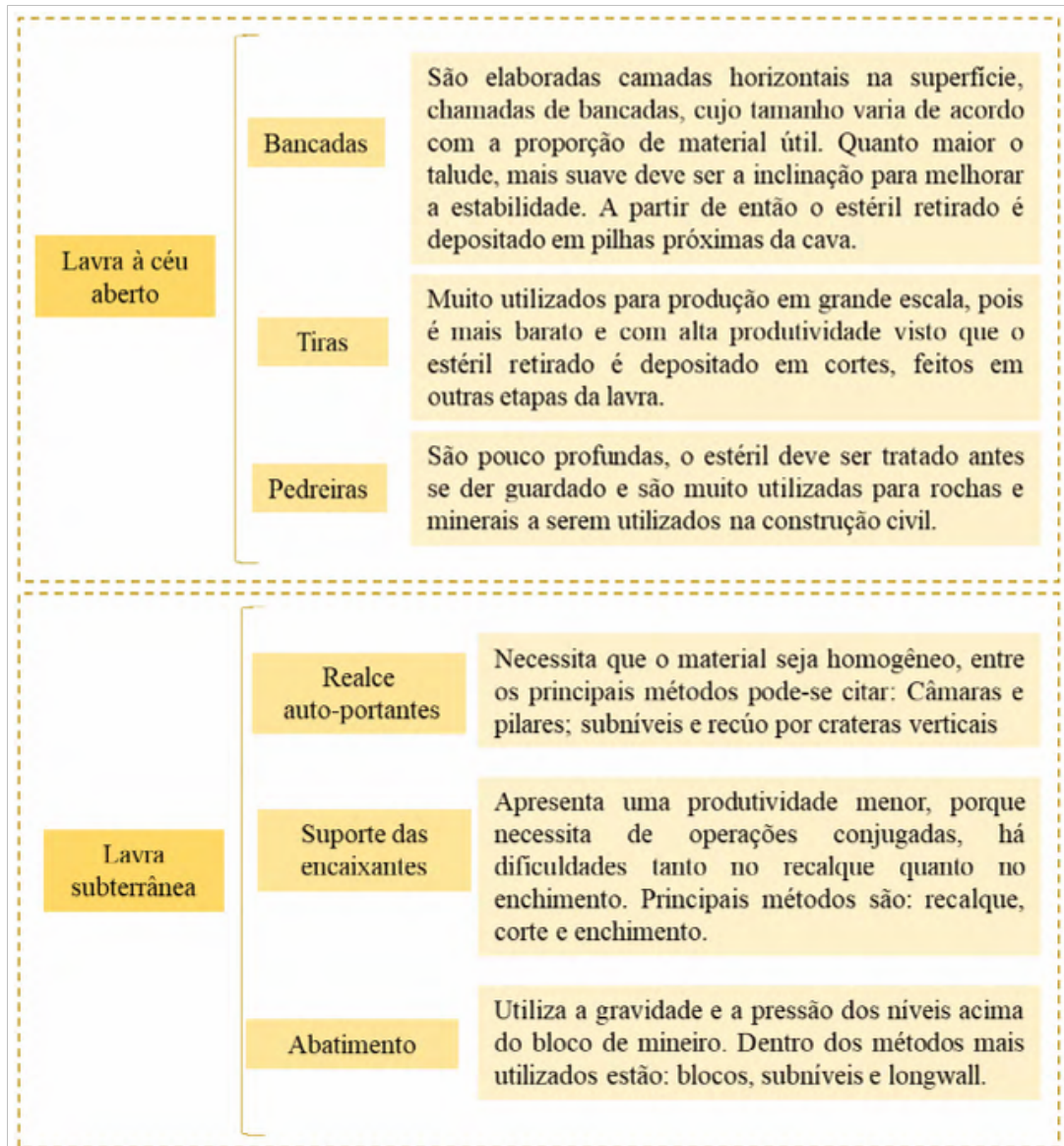


Figura 15 – Métodos de Lavra.

Fonte: JR (2019) apud FREIRE et al. (2020)



Figura 16 – Operações de lavra.

Fonte: CARVALHO et al. (2018), p. 344 apud FREIRE et al. (2020)

mento da mina, processo conhecido como decapeamento, visando expor a rocha de

interesse, denominada estéril. Na fase de perfuração, utilizam-se máquinas hidráulicas que executam furos com diâmetro, comprimento e distâncias previamente calculados. Desvios na perfuração podem resultar em problemas e danos estruturais durante a fase de desmonte. O desmonte pode ser realizado de maneira mecânica ou através da combinação de perfuração e detonação. O minério fragmentado, com valor econômico, conhecido como run of mine, é transportado para a unidade de beneficiamento. Nesta unidade, são realizados processos que têm como objetivo promover a separação física do run of mine da ganga, ou seja, da parte sem interesse econômico ou rejeitada, para obter um concentrado com maior teor de concentração mineral (CARVALHO et al., 2018, p.345-346). Nessa fase, ocorre a produção de uma quantidade significativa de resíduos, que quando misturados à água, são denominados rejeitos (??, apud)freire2020rejeitos.

Finalmente, a fase derradeira da atividade de mineração compreende o encerramento da operação da mina, envolvendo o descomissionamento que abrange procedimentos essenciais para sua inativação: desmobilização, encerramento e reabilitação ambiental, visando a devolução do local para outros usos pela comunidade. É crucial manter o monitoramento dos efeitos residuais, mesmo após a restauração completa da área (CARVALHO et al., 2018).

1.1.2.1 Gestão de resíduos sólidos e métodos de disposição de rejeitos

Na atividade mineradora, os principais fatores de riscos e impactos ambientais derivam da presença de: (i) materiais sólidos removidos durante a extração, conforme já mencionado, na fase 1 da lavra, no decapeamento, geralmente permanecendo na área de mineração, os resíduos sólidos de extração, conhecidos como estéril; e (ii) resíduos do tratamento/beneficiamento, denominados rejeitos. A gestão desses materiais envolve o planejamento e a disposição adequada dos resíduos gerados, incluindo sua recuperação ou reutilização, além da monitorização das estruturas de armazenamento e dos materiais depositados (CARVALHO et al., 2018, p.357).

A Figura 17 quantifica a quantidade de material estéril e rejeitos proveniente da extração de minério de ferro no Brasil, utilizando informações dos relatórios anuais de operação submetidos ao Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM) e projeções de produção futura (CARVALHO et al., 2018, p.358).

1.1.2.2 Resíduos sólidos de extração – estéril

Materiais estéreis são substâncias inertes resultantes do decapeamento superficial durante a mineração, geralmente mantidas na própria mina em pilhas ou utilizadas para o preenchimento de cavas exauridas. O volume de estéril gerado é influenciado pelas características geológicas da região de mineração e é determinado pela razão de estéril, que representa a relação entre a quantidade de estéril a ser removida e a quantidade de minério bruto lavrado (CARVALHO et al., 2018, p.359); essa produção

Ano	Produção beneficiada Brasil	Produção MG	Produção PA	Rejeito MG	Rejeito PA	Rejeito unidades federativas	Rejeito Brasil	Estéril Brasil
2010	298	207	86	82,8	6,9	2,5	92,2	255,0
2011	372	260	101	104,0	8,1	5,5	117,6	321,5
2012	398	275	110	110,0	8,8	6,5	125,3	343,0
2013	401	277	107	110,8	8,6	8,5	127,9	347,5
2014	386	265	105	106,0	8,4	8,0	122,4	333,5
2015*	420	275	128	110,0	10,2	8,5	128,7	356,0
2016*	430	283	140	127,4	11,2	3,5	142,1	360,0
2017*	470	280	180	126,0	14,4	5,0	145,4	380,0
2018*	520	280	230	126,0	18,4	5,0	149,4	405,0
2019*	530	290	230	130,5	18,4	5,0	153,9	415,0
2020*	540	300	230	150,0	18,4	5,0	173,4	425,0
2021*	540	300	230	150,0	18,4	5,0	173,4	425,0
2022*	550	310	230	155,0	18,4	5,0	178,4	435,0
2023*	550	310	230	155,0	18,4	5,0	178,4	435,0
2024*	560	320	230	160,0	18,4	5,0	183,4	445,0
2025*	560	320	230	160,0	18,4	5,0	183,4	445,0
2026*	560	320	230	160,0	18,4	5,0	183,4	445,0
2027*	570	330	230	165,0	18,4	5,0	188,4	455,0
2028*	570	330	230	165,0	18,4	5,0	188,4	455,0
2029*	580	340	230	170,0	18,4	5,0	193,4	465,0
2030*	580	340	230	170,0	18,4	5,0	193,4	465,0
Soma	8.110,0	4.653,0	3.310,0	2.269,9	264,8	73,5	2.608,2	6.455,0
2016-2030								

Fonte: SANTOS, A. A.; HEIDER, M. *Aproveitamento dos resíduos da mineração de ferro*.
In: III CONGRESSO INTERNACIONAL DE DIREITO MINERÁRIO. Brasília, 10 maio 2017. *Anais eletrônicos* (acesso restrito).

Figura 17 – Produção beneficiada de minério de ferro, volume de rejeito e de estéril (milhões de t).

Fonte: CARVALHO et al. (2018)

bruta de minério, frequentemente referida como Run-of-Mine (ROM), representa a quantidade total de minério extraído diretamente da mina em um determinado ano, sem passar por qualquer processo de beneficiamento ou tratamento (ANM, 2022).

1.1.2.3 Resíduos sólidos de beneficiamento – rejeito

O rejeito é a fração descartada do minério bruto durante o processo de beneficiamento para a obtenção do concentrado, utilizando métodos mecânicos e/ou químicos. Este material é considerado não economicamente viável para aproveitamento sob as condições atuais no momento de sua geração.

As características dos rejeitos variam conforme o tipo de mineral e seu tratamento na planta de beneficiamento. Os rejeitos podem ser finos, compostos por siltes. Silte refere-se a partículas de minerais ou rochas menores que areia finas e maiores que argila, com diâmetro entre 4 µm e 64 µm, de acordo com a escala de Wentworth amplamente utilizada em geologia. Segundo a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), NBR 6502, que trata de rochas e solos, define-se silte como solo com baixa ou nenhuma plasticidade e que exibe baixa resistência quando seco ao ar. As propriedades dominantes de um solo específico são devidas à fração de silte. Estes rejeitos finos podem ser depositados na forma de lama (polpa). Alternativamente, os rejeitos podem ser formados por materiais arenosos, com granulometria mais grossa, conhecidos como rejeitos granulares.

Os rejeitos granulares apresentam elevada permeabilidade, resistência significativa ao cisalhamento e eficiente capacidade de sedimentação, propriedades que favorecem sua estabilização em depósitos. Em contraste, os rejeitos de granulometria fina, conhecidos como lamas, apresentam desafios consideráveis no processo de sedimentação.

Durante o processo de deposição de resíduos, o intervalo de tempo entre a aplicação de camadas sucessivas é ajustado para permitir a secagem adequada da camada anterior, promovendo assim um aumento na resistência do material depositado. Uma velocidade de deposição excessivamente alta pode comprometer essa secagem, resultando em ressecamento parcial e potencialmente facilitando a liquefação do resíduo. Isso pode reduzir a resistência ao cisalhamento e aumentar a suscetibilidade a rupturas no depósito (CARVALHO et al., 2018, p.360-361).

1.1.2.4 Métodos de disposição de rejeitos

A escolha do método de disposição de rejeitos é determinada pela natureza do processo de mineração, pelas condições geológicas e topográficas locais, pelas propriedades mecânicas dos materiais, pelo potencial de impacto ambiental dos contaminantes presentes nos rejeitos, e pelas condições climáticas da região (IBRAM, 2016).

Há três formas de disposição de rejeito: os métodos a céu aberto, subterrâneos ou subaquáticos. A disposição a céu aberto é frequentemente realizada através de pilhas controladas ou estruturas de contenção em bacias ou vales. A disposição subterrânea ocorre por meio de câmaras abertas após a extração do minério, onde os rejeitos são bombeados para preenchê-las. A disposição subaquática, pouco utilizada devido aos impactos negativos significativos nos ecossistemas, pode resultar em impactos irreversíveis (LOZANO, 2006).

Normalmente, os rejeitos são depositados em minas subterrâneas, cavas esgotadas de mineração, pilhas através do método de empilhamento a seco (dry stacking),

deposição em forma de pasta, e barragens de contenção de rejeitos (IBRAM, 2016).

A disposição de resíduos em reservatórios formados por estruturas de contenção como diques ou barragens é o método predominante. As barragens constituem-se como mais utilizados para a disposição de rejeitos por meio do aterro hidráulico, em virtude da possibilidade de conter um grande volume de material com custos menores (THOMÉ; LAGO, 2017). Essas estruturas podem ser compostas por solo natural ou construídas utilizando os próprios resíduos, sendo categorizadas, respectivamente, como barragens de contenção alteadas com resíduos e barragens convencionais de solo natural. Muitos resíduos são transportados para a área de disposição com uma alta umidade, variando de 10% a 25% de sólidos (IBRAM, 2016).

De acordo com a NBR 13028/2017, as barragens são definidas como:

Barragens, barramentos, diques, reservatórios, cavas exauridas com barramentos construídos, associados às atividades desenvolvidas com base em direito mineral, utilizados para fins de contenção, acumulação ou decantação de rejeito de mineração ou descarga de sedimentos provenientes de atividades em mineração, com ou sem captação de água associada, compreendendo a estrutura do barramento e suas estruturas associadas. (ABNT, 2017, 3.4)

Ao contrário das represas convencionais, destinadas à retenção de água, as barragens de rejeitos são estruturas projetadas para armazenar materiais resultantes de processos de beneficiamento mineral, os quais possuem composições iônicas distintas. Essas composições são potencialmente prejudiciais tanto para a saúde humana quanto para o meio ambiente, além de poderem afetar negativamente a integridade da estrutura ao interagirem com os materiais utilizados na construção do aterro, provocando alterações em sua permeabilidade (CARDOZO et al., 2017).

Além disso, o barramento não é construído de forma contínua, como é típico em projetos convencionais; o aumento da altura do dique inicial ocorre progressivamente conforme o avanço da mineração, utilizando materiais provenientes de áreas de empréstimo ou do próprio rejeito. Os métodos predominantes para o aumento construtivo da altura são: montante, jusante ou ao longo da linha de centro, os quais serão descritos em detalhes no próximo segmento (IBRAM, 2016, p.12).

A seleção entre métodos de execução é determinada por uma variedade de variáveis técnicas e econômicas, incluindo o tipo de processo industrial, características geotécnicas, volume de produção de rejeitos, demandas de reservação e controle de água percolada, sismicidade, topografia, hidrologia, hidrogeologia e custos associados. As barragens alteadas pelo método de montante emergem como preferenciais entre as empresas mineradoras devido à sua facilitação de execução e maior viabilidade econômica (IBRAM, 2016, p.17).

1.1.3 Tipos de barragens de rejeitos

Barragens de rejeitos são reservatórios feitos com o objetivo de reter água e resíduos sólidos resultantes da extração de minérios para que evite danos ambientais. (OBTER O TEXTO FINAL - RENATA)

	Montante	Jusante	Linha de Centro
Tipo de Rejeito	Baixa densidade para que ocorra segregação	Qualquer tipo	Areias de lamas de baixa plasticidade
Descarga de rejeitos	Periférica	Independente	Periférica
Armazenamento de água	Não recomendável para grandes volumes	Bom	Aceitável
Resistência a abalos sísmicos	Baixa	Boa	Aceitável
Alteamentos	Ideal menos 10m/ano	Nenhuma restrição	Pouca restrição
Vantagens	Menor custo, utilizado onde há restrição de área	Maior segurança	Flexibilidade construtiva
Desvantagens	Baixa segurança suscetibilidade a liquefação e piping	Grande quantidade de material requerido proteção do talude a jusante apenas na configuração final	Necessidade de eficiente sistema de drenagem

Figura 18 – Resumo comparativo dos principais métodos construtivos de barragens de rejeito.

Fonte: FREIRE et al. (2020), p. 110.

1.1.3.1 Reaproveitamento de rejeitos barragens

Barragens de rejeitos são reservatórios feitos com o objetivo de reter água e resíduos sólidos resultantes da extração de minérios para que evite danos ambientais. (OBTER O TEXTO FINAL - RENATA)

1.2 Classificação de risco das barragens de rejeitos

A mineração no Brasil deu início no século XVII, durante o período colonial, (OBTER O TEXTO FINAL - RENATA)

1.2.1 Risco: Severidade x Probabilidade

Nessa sessão apresenta-se uma visão mineral do Brasil, o papel fundamental na economia, com impactos significati. (OBTER O TEXTO FINAL - RENATA)

1.3 **Legislação ambiental: população e ambiente (Brasil x Exterior)**

No Brasil, a legislação que aborda as barragens de rejeitos, principalmente as utilizadas na mineração, é bastante detalhada e abrangente. (OBTER O TEXTO FINAL - RENATA)

1.4 **Acidentes em Mariana e Brumadinho**

Barragens de rejeitos são reservatórios feitos com o objetivo de reter água e resíduos sólidos resultantes da extração de minérios para que evite danos ambientais. (OBTER O TEXTO FINAL - RENATA)

1.5 **Sistema de alerta existentes**

AQUIIIIII

1.5.1 Higrômetro de Resistência e seu uso na prevenção de acidentes de barragens

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Breve descrição do que será apresentado no capítulo.

< Apresentar os conceitos estudados para desenvolver o trabalho >

3 MATERIAL E MÉTODOS

< O desenvolvimento é a parte nuclear do trabalho, por vezes denominada corpo do trabalho. Nessa parte, discute-se o problema apresentado na introdução, bem como aspectos da metodologia utilizada para a realização do estudo. De acordo com as características do problema, das técnicas utilizadas e do estilo do autor, pode-se dividir o desenvolvimento em partes ou capítulos, e cada capítulo em subtítulos ou itens, sem que se perca a unidade do trabalho. >

Este capítulo aborda as etapas do desenvolvimento do projeto, os materiais utilizados e a metodologia.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

CONCLUSÃO E TRABALHOS FUTUROS

Aqui vai a conclusão do trabalho, recapitulando o que foi desenvolvido e os benefícios promovidos pelo que foi desenvolvido no trabalho.

Em seguida, falar sobre possíveis trabalhos futuros ou continuações do trabalho.

A conclusão proporciona um resumo sintético, mas completo, da argumentação, das provas consignadas no desenvolvimento do trabalho, como decorrência natural do que já foi demonstrado. Essa parte deve reunir as características do que chamamos de síntese interpretativa dos argumentos ou dos elementos contidos no desenvolvimento do trabalho.

Mais detalhes sobre as regras de construção de uma tese, ver o documento: roteiro_uerj_web.pdf

REFERÊNCIAS

ABNT, A. B. de N. T. *NBR 13028: Mineração - Elaboração e apresentação de projeto de barragens para disposição de rejeitos, contenção de sedimentos e reservação de água*. Rio de Janeiro, 2017. Disponível em: <https://blogdopedlowski.com/wp-content/uploads/2019/03/nbr13028-2018.pdf>. Acesso em: 27 abr. 2025.

ANM, A. N. de M. *Anuário Mineral Brasileiro 2022: prévia*. Brasília, 2022. Disponível em: <https://www.gov.br/anm/pt-br/assuntos/economia-mineral/publicacoes/anuario-mineral/anuario-mineral-brasileiro/PreviaAMB2022.pdf>. Acesso em: 15 jun. 2024.

ANM, A. N. de M. *Anuário Mineral Brasileiro: Principais Substâncias Metálicas*. Brasília, 2023. Disponível em: https://www.gov.br/anm/pt-br/assuntos/economia-mineral/publicacoes/anuario-mineral/anuario-mineral-brasileiro/amb_2023.pdf. Acesso em: 27 abr. 2025.

ANM, A. N. de M. *Informe Mineral - 3º Trimestre de 2023*. [S.l.], 2023. 1–16 p. Disponível em: https://www.gov.br/anm/pt-br/assuntos/economia-mineral/publicacoes/informe-mineral/publicacoes-nacionais/informe_03tri2023.pdf. Acesso em: 14 jun. 2024.

ANM, A. N. de M. *Informe Mineral - 4º Trimestre de 2023*. [S.l.], 2023. 1–18 p. Disponível em: <https://www.gov.br/anm/pt-br/assuntos/economia-mineral/publicacoes/informe-mineral/publicacoes-nacionais/informe04tri2023.pdf>. Acesso em: 14 jun. 2024.

APC, A. C. *Indústria de mineração no Brasil*. 2024. Disponível em: <https://apc.com.br/industria/industria-de-mineracao-no-brasil/>. Acesso em: 27 abr. 2025.

ARÁOZ, M. H. *Mineração, genealogia do desastre: O extrativismo na América como origem da modernidade*. São Paulo: Elefante, 2020.

BARRETO, M. L. et al. *Mineração e desenvolvimento sustentável: desafios para o Brasil*. 1. ed. São Paulo: Editora Maria Laura Barreto, 2001. 215 p. Disponível em: https://livroaberto.ibict.br/bitstream/123456789/922/1/mineracao_desenvolvimento_sustentavel.pdf. Acesso em: 27 abr. 2025.

BBC, B. N. B. *Como agro e mineração superaram a manufatura no PIB brasileiro pela primeira vez em décadas*. 2023. Disponível em: <https://www.bbc.com/portuguese/articles/cxr0vlvqdgqo>. Acesso em: 20 abr. 2025.

BRASIL. *Decreto Federal nº 23.793, de 23 de janeiro de 1934. Approva o código florestal que com este baixa*. Rio de Janeiro: Diário Oficial da União, 1934. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto/1930-1949/D23793.htm.

BRASIL. *Decreto Federal nº 24.642, de 10 de julho de 1934. Decreta o Código de Minas*. Rio de Janeiro: Diário Oficial da União, 1934. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto/1930-1949/d24642.htm.

BRASIL. *Decreto Federal nº 24.643, de 10 de julho de 1934. Decreta o Código de Águas*. Rio de Janeiro: Diário Oficial da União, 1934. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto/D24643compilado.htm.

BRASIL. *Decreto-lei nº 227, de 28 de fevereiro de 1967. Código de Mineração*. Brasília, DF: Diário Oficial da União, 1967. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto-lei/del0227.htm. Acesso em: 27 abr. 2025.

BRASIL. *Decreto nº 9.406, de 12 de junho de 2018. Regulamenta o Decreto-Lei nº 227, de 28 de fevereiro de 1967, a Lei nº 6.567, de 24 de setembro de 1978, a Lei nº 7.805, de 18 de julho de 1989, e a Lei nº 13.575, de 26 de dezembro de 2017*. Brasília: Diário Oficial da União, 2018. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2015-2018/2018/Decreto/D9406.htm.

CARDOZO, F. A. C.; PIMENTA, M. M.; ZINGANO, A. C. Métodos construtivos de barragens de rejeitos de mineração – uma revisão. *HOLOS*, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte, v. 8, p. 77–85, 2017. Disponível em: <https://www2.ifrn.edu.br/ojs/index.php/HOLOS/article/view/5367>. Acesso em: 7 maio 2025.

CARVALHO, C. G. et al. A dependência da arrecadação do município de ouro preto do setor mineral. *Revista Escola de Minas*, SciELO Brasil, v. 65, n. 3, 2012. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rem/a/JY6LcTRRJy9mhK3k5Ysgqvc/>. Acesso em: 27 abr. 2025.

CARVALHO, P. L. et al. Minério de ferro. *BNDES Setorial*, BNDES, n. 39, p. 197–234, 2014. Disponível em: https://web.bndes.gov.br/bib/jspui/bitstream/1408/4802/1/BS%2039%20min%20de%20ferro_P.pdf. Acesso em: 07 mai. 2025.

CARVALHO, P. S. L. d. et al. Sustentabilidade socioambiental da mineração. *BNDES Setorial*, n. 47, p. 333–390, 2018. Disponível em: https://web.bndes.gov.br/bib/jspui/bitstream/1408/15361/1/BS47__Mineracao__FECHADO.pdf. Acesso em: 27 abr. 2025.

DOMINGUES, G. F. História da mineração no território brasileiro: uma análise dos tratados políticos que legislam a atividade mineradora (1934-1967). *Revista Ensaios de História*, v. 23, n. 1, 2022. Disponível em: <https://periodicos.franca.unesp.br/index.php/ensaiosdehistoria/article/view/3881/3261>. Acesso em: 27 abr. 2025.

EPA, E. P. A. *Management of Mining Waste: Technical Guidelines*. Washington, DC, 2019.

FERNANDES, F. R. C.; ARAUJO, E. R. *Mineração no Brasil: crescimento econômico e conflitos ambientais*. CETEM/MCTI, 2016. Disponível em: http://mineralis.cetem.gov.br/bitstream/cetem/1909/1/conflitos_ambientais_cap.2%20p65.pdf. Acesso em: 27 abr. 2025.

FIGUEIRÔA, S. *As ciências geológicas no Brasil: Uma história social e institucional, 1875-1934*. São Paulo: HUCITEC, 1997.

FONSECA, E. Os resultados da mineração no ano de 2023 conforme dados do ibram. *Synergia Editora*, fev 2024. Disponível em: <https://synergiaeditora.com.br/os-resultados-da-mineracao-no-ano-de-2023-conforme-dados-do-ibram/>. Acesso em: 2 jul. 2024.

FONSECA, P. C. D. Do progresso ao desenvolvimento no brasil. In: BASTOS, P. P. Z.; FONSECA, P. C. D. (Ed.). *A era Vargas: Desenvolvimento, economia e sociedade*. São Paulo: Editora Unesp, 2012. p. 51–68. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/ecos/a/5NrXd8XXCZhtFshHQnzDNqp/>. Acesso em: 27 abr. 2025.

FREIRE, G. M. C. d. A.; VIEIRA, L. d. M.; MARTINS, M. U. E. (Ed.). *Rejeitos de minério no Brasil: uma análise interdisciplinar*. São Paulo: Pimenta Cultural, 2020. Disponível em: https://www.pimentacultural.com/wp-content/uploads/2024/05/eBook_Rejeitos-minerio-Brasil.pdf. Acesso em: 07 mai. 2025.

IBGE, I. B. de Geografia e E. *PIB cresce 2,9% em 2023 e fecha o ano em R\$ 10,9 trilhões*. [S.l.], 2024. Disponível em: <https://agenciadenoticias.ibge.gov.br/agencia-sala-de-imprensa/2013-agencia-de-noticias/releases/39303-pib-cresce-2-9-em-2023-e-fecha-o-ano-em-r-10-9-trilhoes>. Acesso em: 1 jul. 2024.

IBGE, I. B. de Geografia e E. *PIB cresce 3,4% em 2024 e fecha o ano em R\$ 11,7 trilhões*. [S.l.], 2025. Disponível em: <https://agenciadenoticias.ibge.gov.br/agencia-sala-de-imprensa/2013-agencia-de-noticias/releases/42774-pib-cresce-3-4-em-2024-e-fecha-o-ano-em-r-11-7-trilhoes>. Acesso em: 27 abr. 2025.

IBRAM, I. B. de M. *Gestão e Manejo de Rejeitos da Mineração*. 1. ed. Brasília: IBRAM, 2016. Disponível em: <https://ibram.org.br/wp-content/uploads/2021/02/Gestao-e-Manejo-de-Rejeitos-da-Mineracao-2016.pdf>. Acesso em: 07 mai. 2025.

IBRAM, I. B. de M. *Relatório Anual de Atividades: Mineração Brasileira*. 2020. Disponível em: <https://ibram.org.br/publicacoes/>. Acesso em: 20 abr. 2025.

IBRAM, I. B. de M. *Coletiva de Imprensa: Resultados 1S23*. Brasília, 2023. Disponível em: https://ibram.org.br/wp-content/uploads/2023/07/20230718_Coletiva-de-Imprensa-Resultados-1S23_rev02.pdf. Acesso em: 1 jul. 2024.

IBRAM, I. B. de M. *Dados do setor mineral em 2024*. Brasília, 2024. Disponível em: https://ibram.org.br/wp-content/uploads/2025/02/DADOS_Setor-Mineral_2024_5FEV2025.pdf. Acesso em: 27 abr. 2025.

IPEA. *Ipea e MME lançam estudo sobre a extensão da cadeia produtiva da mineração no PIB brasileiro*. 2023. Comunicação. Disponível em: <https://www.ipea.gov.br/portal/categorias/45-todas-as-noticias/noticias/14835-ipea-e-mme-lancam-estudo-sobre-a-extensao-da-cadeia-produtiva-da-mineracao-no-pib-b>. Acesso em: 12 jul. 2024.

IPEA, I. de P. E. A. *Boletim Regional, Urbano e Ambiental (BRU)*. [S.l.], 2017. Acesso em: 08 mai. 2025. Disponível em: <https://repositorio.ipea.gov.br/handle/11058/7916>.

JR, C. M. M. J. M. *Lavra: o que é, métodos, regulamentação*. 2019. Site institucional. Disponível em: <https://www.minasjr.com.br/lavra-o-que-e-metodos-regulamentacao/>. Acesso em: 19 de junho de 2024.

LEÃO, R.; RABELO, R. *A Extensão da Cadeia Produtiva da Economia Mineral no PIB Brasileiro - Sumário Executivo*. Rio de Janeiro, 2023. Disponível em: https://repositorio.ipea.gov.br/bitstream/11058/12702/1/TD_2950_web.pdf. Acesso em: 27 abr. 2025.

LINS, F. A. d. F.; LOUREIRO, F. E. d. V. L.; ALBUQUERQUE, G. d. A. S. C. *Brasil 500 anos. A construção do Brasil e da América Latina pela Mineração*. Rio de Janeiro: CETEM/MCTI, 2000.

LOZANO, F. A. E. *Seleção de locais para barragens de rejeitos usando o método de análise hierárquica*. Dissertação (Dissertação (Mestrado)) — Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006. Disponível em: <http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3145/tde-14122006-123702/>. Acesso em: 07 maio 2025.

MINING, I. C. on; ICMM, M. *Global Industry Standard on Tailings Management*. [S.l.], 2021. Acesso em: 20 abr. 2025. Disponível em: <https://www.icmm.com/en-gb/our-work/environmental-resilience/tailings>.

RBM, R. B. M. *Mineração - Metalurgia - Siderurgia*. São Paulo: [s.n.], 2024. Revista Brasil Mineral. Disponível em: <https://www.brasilmineral.com.br/revista/436/Revista%20Brasil%20Mineral%20-%20436.pdf>. Acesso em: 27 abr. 2025.

ROCHA, C. M. *Impacto macroeconômico da mineração no Brasil*. Dissertação (Dissertação (Mestrado)) — Escola de Economia de São Paulo, Mestrado Profissional em Economia, Faculdade Getúlio Vargas, São Paulo, 2020. Disponível em: <https://repositorio.fgv.br/server/api/core/bitstreams/6f0a8039-7f82-4387-9a4d-d26086334600/content>. Acesso em: 27 abr. 2025.

SVAMPA, M. *As fronteiras do neoextrativismo na América Latina: Conflitos socioambientais, giro ecoterritorial e novas dependências*. São Paulo: Elefante, 2019.

USGS, U. G. S. *Iron Ore. Mineral Commodity Summaries 2022*. [S.l.], 2022. Disponível em: <https://pubs.usgs.gov/periodicals/mcs2022/mcs2022-iron-ore.pdf>. Acesso em: 14 jun. 2024.

USGS, U. G. S. *Iron Ore. Mineral Commodity Summaries 2024*. [S.l.], 2024. Disponível em: <https://pubs.usgs.gov/periodicals/mcs2024/mcs2024-iron-ore.pdf>. Acesso em: 14 jun. 2024.

VILLAS-BÔAS, A. L. *Mineração e Desenvolvimento Econômico: A questão nacional nas estratégias de desenvolvimento do setor mineral (1930-1964)*. Rio de Janeiro: CETEM/MCTI, 1995. Disponível em: <http://mineralis.cetem.gov.br/handle/cetem/278>. Acesso em: 27 abr. 2025.

WPR, W. P. R. *Mineral Production by Country 2024*. 2024. Disponível em: <https://worldpopulationreview.com/country-rankings/mineral-production-by-country>. Acesso em: 16 jun. 2024.