



UFOP

UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO
ESCOLA DE MINAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA AMBIENTAL



Anna Syria Aranha Paiva

**Avaliação das pesquisas sobre recuperação de áreas degradadas
pela mineração de ferro no Brasil utilizando espécies vegetais:
uma revisão sistemática**

Ouro Preto

2026

Anna Syria Aranha Paiva

**Avaliação das pesquisas sobre recuperação de áreas degradadas
pela mineração de ferro no Brasil utilizando espécies vegetais:
uma revisão sistemática**

Projeto Final de Curso apresentado como parte dos requisitos para obtenção do Grau de Engenharia Ambiental na Universidade Federal de Ouro Preto.

Área de concentração: Recuperação de Áreas Degradadas

Orientador: Prof. Dr. José Fernando Miranda

Ouro Preto

2026

SISBIN - SISTEMA DE BIBLIOTECAS E INFORMAÇÃO

P149a Paiva, Anna Syria Aranha.

Avaliação das pesquisas sobre recuperação de áreas degradadas pela mineração de ferro no Brasil utilizando espécies vegetais [manuscrito]: uma revisão sistemática. / Anna Syria Aranha Paiva. - 2026.
64 f.: il.: color., gráf., tab..

Orientador: Prof. Dr. José Fernando Miranda.
Monografia (Bacharelado). Universidade Federal de Ouro Preto. Escola de Minas. Graduação em Engenharia Ambiental .

1. Ferro - Minas e mineração. 2. Recuperação e Remediação Ambiental. 3. Revegetação. 4. Barragens de rejeitos. I. Miranda, José Fernando. II. Universidade Federal de Ouro Preto. III. Título.

CDU 502

Bibliotecário(a) Responsável: Soraya Fernanda Ferreira e Souza - CRB6/2322



FOLHA DE APROVAÇÃO

Anna Syria Aranha Paiva

Avaliação das pesquisas sobre recuperação de áreas degradadas pela mineração de ferro no Brasil utilizando espécies vegetais: uma revisão sistemática

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia Ambiental da Universidade Federal de Ouro Preto como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Ambiental

Aprovada em 05 de março de 2026.

Membros da banca

Dr. José Fernando Miranda - Orientador - Universidade Federal de Ouro Preto
Dr.^a Livia Echternacht Andrade - Universidade Federal de Ouro Preto
Dr. Hernani Mota de Lima - Universidade Federal de Ouro Preto

José Fernando Miranda, orientador do trabalho, aprovou a versão final e autorizou seu depósito na Biblioteca Digital de Trabalhos de Conclusão de Curso da UFOP em 30 de março de 2026



Documento assinado eletronicamente por **Jose Fernando Miranda, PROFESSOR DE MAGISTERIO SUPERIOR**, em 16/04/2026, às 09:21, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site http://sei.ufop.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **1082847** e o código CRC **35E0FE9E**.

A todos aqueles que de alguma forma são atingidos pela mineração.

AGRADECIMENTOS

Agradeço aos meus pais, Cristiana e Célio, pelo amor incondicional e por serem sempre o meu porto seguro.

À Thais, minha companheira de vida, por todas as experiências vividas juntas.

Ao Luís Fernando, meu dindo, pelo carinho que transcende fronteiras.

Aos meus avós, tios e primos pelos bons momentos vividos em família.

Aos meus amigos, em especial à Vitoria, Saulo, Bruno e Felipe, por não me deixar esquecer que a vida presta.

Ao Programa de Educação Tutorial (PET), ao grupo de pesquisa APICRIM e ao Centro Acadêmico de Engenharia Ambiental, por todas as oportunidades de me apaixonar pela vida acadêmica.

A todos os professores que participaram da minha formação, em especial Aníbal Santiago, Sandra de Moura, Lívia Pinto, Lia Porto, Guilherme Gomes, Alberto Fonseca e Hubert Roeser, por me apresentarem uma profissão tão especial.

Ao meu orientador José Miranda que acreditou no potencial deste trabalho e me apoiou no seu desenvolvimento.

À Débora Rodrigues e Giani Aragão pelos ensinamentos compartilhados durante o período de estágio.

À Fundação Gorceix e a Fundação de Apoio da Universidade Federal de Minas Gerais (FUNDEP) pelo incentivo aos meus estudos e concessão de bolsas.

Respeitando a cantoria
Evocando essa ciência
Construir nossa existência
Pro futuro ocupar
- Luana Flores e Edgar.

RESUMO

A mineração é uma atividade econômica com elevado potencial de causar impactos ambientais. Quando desenvolvida a céu aberto, como ocorre na mineração de ferro no Brasil, esses impactos incluem a supressão da vegetação e a construção de estruturas de apoio às atividades minerárias. Ademais, a gestão inadequada dessas estruturas pode resultar em danos ambientais significativos, como aqueles associados aos rompimentos de barragens de rejeitos. A Constituição Federal de 1988 estabelece, em seu capítulo VI, artigo 225, inciso 2º, que aquele que explora recursos minerais é obrigado a recuperar o meio ambiente degradado. Nesse contexto, a escolha de espécies vegetais adequadas constitui uma etapa fundamental para o sucesso de projetos de recuperação ambiental. Assim, este trabalho teve como objetivo realizar uma revisão sistemática de artigos publicados no Brasil nos últimos 20 anos sobre a recuperação de áreas degradadas pela mineração de ferro. Utilizando o método PRISMA, avaliou-se o estado da arte do tema, as espécies vegetais utilizadas e as características que conferem vantagens para sua aplicação na recuperação ambiental. Observou-se um aumento no número de estudos publicados nos últimos anos, especialmente associado a pesquisas voltadas à recuperação de áreas impactadas por rompimentos de barragens. Do total de espécies utilizadas, 75% foram classificadas como nativas do Brasil e 25% como exóticas. Características como crescimento rápido e tolerância a altas concentrações de metais, estresse hídrico e baixa fertilidade do solo destacaram-se como vantajosas para a seleção de espécies em projetos de recuperação ambiental. Ressalta-se, ainda, a necessidade de estudos de longo prazo em campo para melhor compreensão da dinâmica de recuperação desses ambientes.

Palavras-chave: mineração de ferro; recuperação de áreas degradadas; técnicas de revegetação; barragem de rejeito; campos ferruginosos.

ABSTRACT

Mining is an economic activity with a high potential for environmental impacts. When conducted as open-pit operations, as is the case of iron ore mining in Brazil, these impacts include vegetation suppression and the construction of support infrastructures required for mining development. In addition, inadequate management of these structures may result in significant environmental damage, such as those associated with tailings dam failures. The Brazilian Federal Constitution of 1988 establishes, in Chapter VI, Article 225, Paragraph 2, that those who exploit mineral resources are legally required to restore degraded environments. The selection of appropriate plant species is therefore a key factor for the success of environmental recovery projects. In this context, this study aims to conduct a systematic review of articles published in Brazil over the last 20 years addressing the recovery of areas degraded by iron ore mining. Using the PRISMA methodology, the state of the art of the topic was evaluated, with emphasis on the plant species employed and the traits that confer advantages for their use in degraded area recovery. The results indicate an increase in the number of studies published in recent years, particularly associated with research focused on the recovery of areas impacted by tailings dam failures. Of the plant species reported, 75% were classified as native and 25% as exotic. Traits such as rapid growth and tolerance to high metal concentrations, water stress, and low soil fertility were identified as advantageous for species selection in environmental recovery projects. Long-term field studies are still required to better understand the recovery dynamics of these degraded areas.

Keywords: iron mining; degraded land recovery; revegetation technics; tailing dam; ferruginous grasslands.

LISTA DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura 1: Métodos de alteamento de barragens de rejeito de mineração | 8 |
| Figura 2: Localização dos geossistemas ferruginosos do Brasil. | 12 |
| Figura 3: Fluxograma PRISMA | 19 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|---------------------------------------|----|
| Tabela 1: Grupos de descritores | 15 |
|---------------------------------------|----|

LISTA DE GRÁFICOS

| | |
|---|----|
| Gráfico 1: Número de publicações por ano..... | 20 |
| Gráfico 2: Número de estudos por área de desenvolvimento experimental..... | 21 |
| Gráfico 3: Os 10 principais autores que publicaram sobre o tema..... | 21 |
| Gráfico 4: Principais revistas científicas que publicaram sobre o tema..... | 22 |
| Gráfico 5: Principais instituições que participaram das publicações sobre o tema..... | 23 |
| Gráfico 6: Espécies mais citadas nas publicações sobre o tema. | 24 |
| Gráfico 7: Origem das espécies mais citadas nas publicações sobre o tema. | 26 |

SUMÁRIO

| | | |
|-------|---|----|
| 1 | Introdução | 1 |
| 2 | Objetivo Geral..... | 3 |
| 2.1 | Objetivos Específicos | 3 |
| 3 | Revisão Bibliográfica | 4 |
| 3.1 | Mineração de ferro no Brasil | 4 |
| 3.1.1 | Contexto histórico | 4 |
| 3.1.2 | Contexto econômico..... | 5 |
| 3.1.3 | Contexto territorial | 6 |
| 3.1.4 | Contexto técnico..... | 7 |
| 3.2 | Impactos socioambientais..... | 8 |
| 3.2.1 | Conceitos e legislação | 8 |
| 3.2.2 | Campos ferruginosos e a mineração de ferro | 10 |
| 3.2.3 | Desastres ambientais na mineração de ferro | 11 |
| 3.3 | Recuperação de áreas degradadas..... | 12 |
| 3.3.1 | Conceitos e legislação | 12 |
| 3.3.2 | Técnicas de recuperação de áreas degradadas..... | 13 |
| 4 | Métodos | 15 |
| 4.1 | Estado da Arte | 16 |
| 4.2 | Espécie de plantas citadas..... | 16 |
| 4.3 | Plantas com potencial para utilização em processos de recuperação das áreas degradadas pela mineração | 17 |
| 5 | Resultados e discussão..... | 18 |
| 5.1 | Estado da arte..... | 19 |

| | | |
|-------|---|----|
| 5.2 | Espécies de plantas citadas | 23 |
| 5.2.1 | Origem das espécies de plantas citadas..... | 25 |
| 5.3 | Plantas com potencial para utilização em processos de recuperação das áreas degradadas pela mineração | 26 |
| 6 | Conclusão..... | 28 |
| | Referências Bibliográficas..... | 29 |
| | Apêndices | 39 |

1 INTRODUÇÃO

A mineração é uma atividade essencial para a manutenção do estilo de vida da sociedade atual e desenvolvimento de novas tecnologias. Esse setor da indústria desempenha papel importante na economia brasileira desde o ciclo do ouro, na época colonial (Pinto, 1979). Atualmente, o minério de ferro é a principal espécie mineral extraída no país, sendo os estados de Minas Gerais, Pará e Mato Grosso do Sul os maiores produtores (ANM, 2025). A exploração desse tipo de minério ocorre em minas a céu aberto, passando por diversos processos de beneficiamento, gerando uma quantidade de rejeitos significativas, que são geralmente armazenados em barragens ou pilhas (Wills e Finch, 2015).

Entretanto essa é uma atividade econômica que tem grande potencial de causar impactos ambientais. A magnitude desses impactos está relacionada à geologia local, às etapas do processo de exploração mineral, aos parâmetros geotécnicos das estruturas do empreendimento e à vulnerabilidade do componente socioambiental do local de instalação (Castilla-Gómez e Herrera-Herbert, 2014). A degradação ambiental causada pelo processo mineral ocorre desde o início das atividades de pesquisa mineral até após o fim das operações, devido a presença de estruturas remanescentes (Bomfim, 2017).

Ciente disso, a legislação brasileira busca respaldar legalmente o desenvolvimento dessa atividade. A Constituição Brasileira de 1988 traz em seu capítulo VI, art. 225, inciso 2º que “aquele que explorar recursos minerais fica obrigado a recuperar o meio ambiente degradado”. O decreto nº 97.632 de 1989, art. 3º, ainda completa que “a recuperação deverá ter por objetivo o retorno do sítio degradado a uma forma de utilização [...] visando a obtenção de uma estabilidade do meio ambiente.”.

A recuperação de áreas degradadas envolve a aplicação de uma gama de técnicas com o objetivo de recompor a topografia e de revegetar a área que foi descaracterizada por algum tipo de intervenção humana (Martins, 2021). Nesse processo, a etapa de escolha das espécies a serem usadas na revegetação é essencial para o sucesso da recuperação ambiental. Espécies nativas tendem a apresentar vantagens para sua utilização, principalmente pela adaptação as condições bióticas e abióticas. Além disso, a inserção de espécies exóticas pode culminar em outros problemas ambientais (BPBES, 2024).

A fim de compreender os aspectos dos projetos de recuperação de áreas degradadas pela mineração de ferro em território nacional, foi proposta uma revisão sistemática da literatura,

utilizando o método PRISMA. Nessa revisão foram consideradas artigos científicos publicadas nos últimos 20 anos sobre o tema em todo o território nacional e indexados nas bases de dados Web of Science, Scopus e ScieELO. Avaliou-se o estado da arte do tema e as espécies de plantas utilizadas nas pesquisas descritas nos artigos. Além disso, também se destacou as características que desempenham vantagens para utilização dessas espécies na recuperação de áreas degradadas.

2 OBJETIVO GERAL

O objetivo do trabalho é analisar as técnicas vegetacionais utilizadas para a recuperação de áreas degradadas pela mineração de ferro no Brasil nos últimos vinte anos.

2.1 Objetivos Específicos

Para atingir o objetivo geral, foram estabelecidos os seguintes objetivos específicos:

- Descrever o estado da arte do tema;
- Levantar as principais técnicas vegetacionais utilizadas no país, juntamente com as principais espécies de plantas utilizadas nos estudos analisados;
- Avaliar principais escolhas e recomendações das plantas com potencial para utilização em processos de recuperação das áreas degradadas pela mineração de ferro no Brasil.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Mineração de ferro no Brasil

3.1.1 Contexto histórico

A mineração é uma atividade econômica que tem como objetivo a pesquisa, exploração, extração e beneficiamento de recursos minerais de interesse econômico presentes no solo e no subsolo (Hartman e Mutmansky, 2002). No Brasil, essa atividade econômica foi estruturante na formação do país e tem sua influência presente até os dias de hoje.

No Brasil colônia, a produção mineral ganhou relevância no cenário nacional quando jazidas de ouro e diamante foram descobertas nos territórios que hoje são conhecidos como Minas Gerais, Goiás, Bahia e Mato Grosso (Figueirôa, 1994). Essas descobertas foram determinantes para a interiorização da população, já que naquele tempo, essa se concentrava majoritariamente no litoral. A produção de ouro foi expressiva, mas logo caiu em decadência ao sair de 15 toneladas por ano de ouro em 1750 para apenas 5 em 1785 (Pinto, 1979).

Pequenas forjas funcionavam na colônia para suprir as necessidades locais e de ferramentas nas minas de ouro. Foi com a chegada da família real em 1808 que o incentivo a indústria do ferro ganhou mais força (Júnior, 2011). A Fábrica Patriótica foi a pioneira na produção de ferro fundido em escala industrial. Fundada em 1812, na cidade de Ouro Preto, Minas Gerais, tinha como objetivo retomar o potencial minerário e econômico da província das Minas após a decadência do ciclo do ouro (Pinho e Neiva, 2012). A criação da Escola de Minas em 1876, na mesma cidade, possibilitou a formação dos primeiros profissionais que atuariam no desenvolvimento e inovação tecnológica da indústria do ferro no Brasil (Dias *et al.*, 1992).

Em meados do século XX, a siderurgia brasileira ganhou um novo capítulo com a criação da Companhia Siderúrgica Nacional (CSN), em 1941, e a Companhia Vale do Rio Doce (CVRD), em 1942. Essa nova onda foi impulsionada principalmente pela segunda revolução industrial, iniciada no século XIX, e pelas guerras mundiais que ocorreram ao longo da primeira metade do século XX (Barros, 2014).

No início das operações da CVRD, explorava-se corpos de minérios com alto teor de ferro através de técnicas simples de extração e beneficiamento (Vale, 2012). A partir da década de 1950, com a mecanização da produção, aumentou-se a extração, o que acelerou o esgotamento das jazidas com maior teor de ferro. Nesse contexto, inicia-se a exploração de corpos de minério de baixo teor e surgem os primeiros projetos para usinas de beneficiamento mais robustas

visando a concentração do ferro (Vale, 2016). A utilização de água no processo de concentração, começou a gerar rejeitos lamacentos em grande escala. Isso impulsionou, a partir de 1970, a ideia das barragens como solução tecnológica para alocação dos rejeitos evitando o descarte direto no meio ambiente (Rodrigues e Sanders Filho, 2025).

Atualmente, a mineração de ferro segue ocupando espaços importantes na economia brasileira. Entretanto, nos últimos anos desastres ambientais alteraram as tecnologias utilizadas e a cobrança da sociedade por maior sustentabilidade.

3.1.2 Contexto econômico

A importância de um setor produtivo na economia de um país pode ser avaliada através da sua participação no Produto Interno Bruto (PIB). Essa métrica diz respeito ao valor total de todos os bens produzidos em um território num determinado período de tempo (Mankiw, 2021). No caso do Brasil, a cadeia produtiva da economia mineral teve sua contribuição variando entre 2,5% e 4% do PIB brasileiro nas últimas décadas (Leão e Rabelo, 2023).

O Anuário Mineral (ANM, 2025), no ano base de 2024, registrou 274 minas de minerais metálicos mais grafita no país que, juntas, produziram um valor de 220,5 bilhões de reais. Desse total, 71% está relacionado a produção de ferro. As principais empresas produtoras desse tipo de metal em solo brasileiro são a Vale S.A., a Anglo American Minério de Ferro Brasil S.A. e a Samarco Mineração S.A.. No 3º trimestre de 2025, registraram-se 227.567 empregos diretos na indústria extrativa mineral, evidenciando sua importância para a economia nacional (IBRAM, 2025).

Já no Sumário Mineral de 2025 (ANM, 2025), o Brasil contribuiu com cerca de 17,9% da produção mundial de ferro e se destacou como o 2º maior produtor, ficando atrás apenas da Austrália e sendo seguido pela China e Índia. No primeiro trimestre de 2024, as exportações da Indústria de Extração Mineral correspondeu a 9,3% do total do Brasil, sendo que as exportações de ferro representaram 83,2% desse valor (ANM, 2025). Esses dados consolidam a importância da mineração de ferro para a economia brasileira colocando o país como um grande ator mundial (DNPM, 2009).

3.1.3 Contexto territorial

As principais províncias minerais de ferro no Brasil estão localizadas nos estados de Minas Gerais, Pará e Mato Grosso do Sul. Em 2024, as reservas brasileiras provadas e prováveis de minério de ferro totalizaram 58,2 bilhões de toneladas, com teor médio de 40,5% de ferro. No mesmo ano, foram produzidas 447,2 milhões de toneladas de minério beneficiado, sendo que Minas Gerais contribuiu com 57% do total desse valor, o estado do Pará com 39,7% e Mato Grosso do Sul com 2,8% (ANM, 2025).

No Brasil, os principais depósitos de minério de ferro são compostos por formações Ferríferas Bandadas (BIF, do inglês *Banded Iron Formation*). Essas, são rochas sedimentares químicas bandadas contendo 15% ou mais de ferro de origem sedimentar (James, 1954). As bandas da rocha são formadas por lâminas escuras ricas em óxidos de ferro intercaladas com lâminas mais claras compostas por sílica microcristalina (Pedrosa-Soares, Voll e Cunha, 2018).

Em Minas Gerais, as principais mineralizações de ferro se encontram na região do Quadrilátero Ferrífero, hospedadas na Formação Cauê. Localizado na parte central do estado, ao sul da capital Belo Horizonte, o Quadrilátero Ferrífero tem uma área de aproximadamente 12.785 km² e recebe esse nome por ser delimitado por quatro serras perpendiculares entre si, formando um quadrilátero destorcido (Castro, Endo e Gandini, 2020). As reservas encontradas nessa região apresentam relevância nacional e mundial, contribuindo para que Minas Gerais seja o maior produtor de minério de ferro do país (ANM, 2025).

Já no estado do Pará, os principais depósitos de ferro estão localizados na Província Mineral de Carajás, a sudeste do estado. Com depósitos de diversos tipos de metais, é considerada a maior província mineral do país e uma das mais importantes do mundo. Destacam-se expressivos depósitos de minério de ferro distribuídos ao longo da dobra de carajás. Esses, apresentam os maiores teores de ferro do mundo (> 65% Fe) em reservas de 20 bilhões de toneladas (Calaes e Queiroz, 2024).

Outra mineralização importante no Brasil está localizada ao sul da cidade de Corumbá-MS, na borda sudeste do Pantanal (Urbanetz *et al.*, 2012). A Morraria do Urucum é uma formação ferrífera hospedada nas formações Puga e Santa Cruz, que apresentam teores maiores que 52% de óxidos de ferro, sendo uma das mais importantes mineralizações do país (Carmo e Kamino, 2015).

3.1.4 Contexto técnico

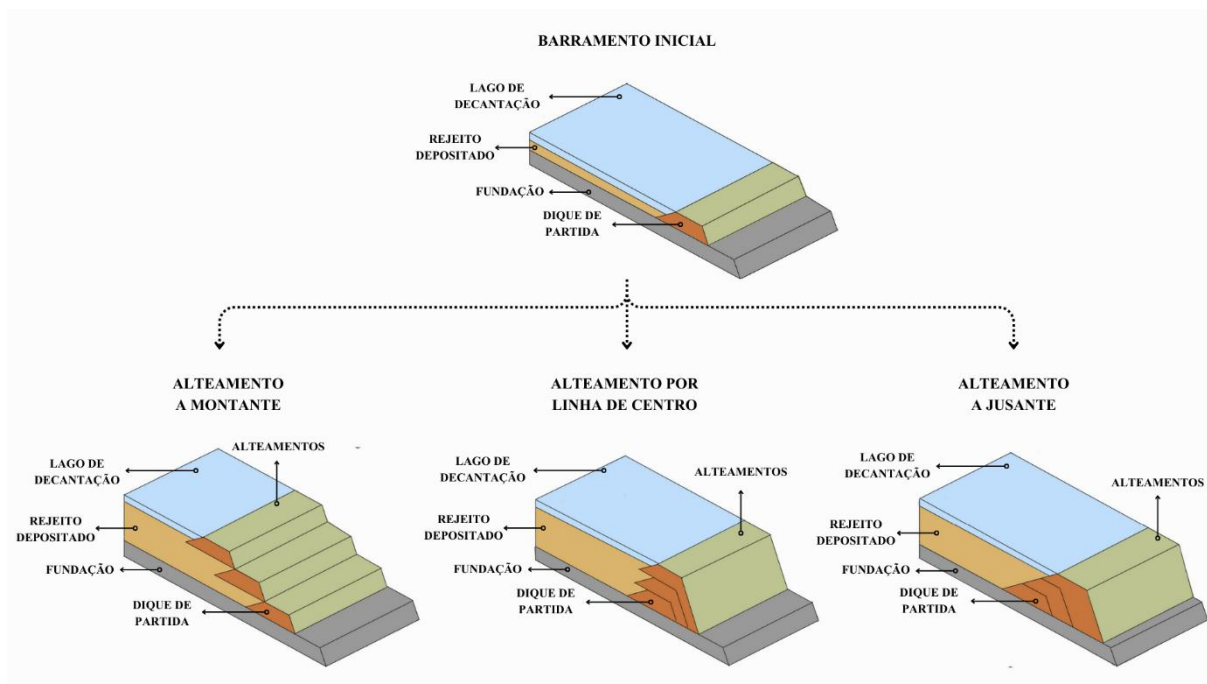
No Brasil, as minas de extração de ferro se desenvolvem a céu aberto, geralmente, pelo método de bancadas. Essa escolha predomina devido as características da jazida que apresentam dimensões verticais e horizontais grandes. Entretanto, esse método culmina em áreas significativas de supressão vegetal sobre o local a ser lavrado e a necessidade de construção de pilhas de estéril (Souza e Pinto, 1957).

Após a lavra, o minério é enviado para o beneficiamento. Nessa etapa o objetivo é modificar a granulometria, forma e concentração relativa dos minerais presentes no minério, sem causar alterações químicas nas suas propriedades (Chaves, 1999). As principais técnicas de beneficiamento utilizadas para minério de ferro no Brasil se baseiam, principalmente, em métodos gravíticos, magnéticos e de flotação (Santiago, 2017).

O material residual do processo de beneficiamento, denominado rejeito, tem como característica a granulometria fina com composição a depender da rocha de origem do minério e dos reagentes utilizados no processamento mineral (Kossof *et al.*, 2014). Comumente, esses materiais são estocados em barragens de rejeito em que a construção acompanha o ritmo da lavra, sendo feitos alteamentos conforme os rejeitos são gerados (Duarte e Espósito, 2010)

Essas estruturas podem ser construídas por três métodos distintos (Figura 1). O método a montante consiste na construção dos alteamentos sobre o rejeito já depositado, em direção a montante do dique de partida. Esse é o método com menor custo de instalação e maior risco para rompimentos. Já o método a jusante, os alteamentos são construídos sobre o dique de partida em direção a jusante do mesmo, sendo considerado o método mais seguro. O terceiro método, denominado de linha de centro, consiste na construção dos alteamentos exatamente sobre o dique de partida (Cardozo, Pimenta e Zingano, 2016).

Figura 1: Métodos de alteamento de barragens de rejeito de mineração



Fonte: adaptado de Paraíba (2019).

Com a mudança na legislação em 2020, devido a dois grandes rompimentos de barragens nos anos anteriores, o método a montante foi proibido no Brasil (Brasil, 2020). Assim, outras alternativas de disposição de rejeitos a céu aberto foram sendo incorporada pelas empresas como o aterro drenado e empilhamento de rejeitos desaguidos, mais caros, porém com melhor controle estrutural que as barragens (Santiago, 2022)

3.2 Impactos socioambientais

3.2.1 Conceitos e legislação

Pode-se entender ambiente como o conjunto das esferas da Terra e os componentes dos meios físicos, bióticos e antrópicos que a compõem. É nele que se encontram os recursos essenciais a sobrevivência e ao desenvolvimento socioeconômico (Sanchez, 2013). Uma das formas de extração desses recursos do ambiente é através da mineração, evidenciando sua importância para a sociedade humana. Devido a sua relação intrínseca com o ambiente, a mineração tem grande potencial de causar impactos ambientais na região em que executa suas atividades (Pedrosa-Soares, Voll e Cunha, 2018).

Impacto ambiental é toda e qualquer alteração da qualidade ambiental que resulta da modificação de processos naturais ou sociais provocada por ação humana (Sanchez, 2013). Na

legislação brasileira esse conceito é abordado na resolução n° 1 do Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA), publicada em 1986, em seu artigo 1º, que define impacto ambiental como:

“qualquer alteração das propriedades físicas, químicas e biológicas do meio ambiente causada por qualquer forma de matéria ou energia resultante das atividades humanas que direta ou indiretamente afetam a saúde, segurança e bem estar da população; as atividades sociais e econômicas; a biota; as condições estéticas e sanitárias do meio ambiente; e a qualidade dos recursos ambientais.”

Uma das formas de classificação dos impactos ambientais é subdividi-los em positivos e negativos. No que diz respeito aos impactos positivos, o meio socioeconômico é o mais beneficiado quando se trata de mineração. Empreendimento minerários geralmente alteram de forma benéfica o nível de emprego e de renda, aumenta a arrecadação financeira municipal e dinamiza a economia local (Pedrosa-Soares, Voll e Cunha, 2018).

No caso da mineração, impactos negativos podem ocorrer tanto nos meios físicos e bióticos, como também no meio socioeconômico. Os principais impactos estão relacionados às alterações na qualidade e dinâmica hídrica, geomorfológica, pedológica e atmosférica, assim como na biota, como por exemplo através da supressão vegetal. Em relação ao meio socioeconômico, a remoção de comunidades e alterações das dinâmicas sociais são alguns dos impactos mais relevantes (Pedrosa-Soares, Voll e Cunha, 2018).

Impactos ambientais negativos tem a capacidade de causar danos a sociedade humana. Define-se dano ambiental como o resultado da perda da qualidade do meio ambiente e os efeitos que isso causam à vida (Rodrigues e Sanders Filho, 2025). Além desses danos, a degradação causada pela mineração também pode levar a danos materiais, com a perda da propriedade pública ou privada, e humanos, com a perda de vidas (Bomfim, 2017). Quando um evento adverso, natural ou antrópico, causa danos ambientais, materiais e humanos, ele pode ser definido como desastre (Araújo, 2012).

No que diz respeito a mineração de ferro, os principais ecossistemas impactados são os campos ferruginosos. Além desses ambientes, os dois grandes rompimentos de barragem que

ocorreram nos anos de 2015 e 2019, culminaram em grandes extensões de áreas impactadas nos biomas Cerrado e Mata Atlântica.

3.2.2 Campos ferruginosos e a mineração de ferro

Nos últimos anos, os principais desastres ambientais de grande escala envolvendo a mineração de ferro foram relativos ao rompimento de barragens. Esses rompimentos podem ocorrer devido a eventos naturais extremos ou a erros humanos durante a construção, operação e gestão dessas estruturas (Silva, 2017).

O rompimento da Barragem do Fundão, da Samarco S.A., é considerado o maior desastre ambiental da história do Brasil. No dia 05 de novembro de 2015, a barragem de 192 m de altura rompeu lançando no meio ambiente 55 milhões de metros cúbicos de rejeitos da mineração de ferro. A onda de rejeitos que se formou destruiu completamente o distrito de Bento Rodrigues e Paracatu de Baixo, no município de Mariana-MG, matou 19 pessoas e deixou 750 desabrigadas (Governo do Estado de Minas Gerais, 2016). A maioria do material liberado, cerca de 80%, ficou retido entre a barragem e a Usina Hidrelétrica de Risoleta Neves (Samarco S.A., 2016). O restante, percorreu cerca de 600 km em 35 municípios mineiros e 3 capixabas, até desaguar no Oceano Atlântico (Governo do Estado de Minas Gerais, 2016).

Um pouco mais de 3 anos depois, no dia 25 de janeiro de 2019, outro rompimento de barragem no estado de Minas Gerais entrou para a história do país. Considerado como o pior desastre trabalhista do Brasil, o rompimento da barragem B1, da mineradora Vale S.A., no município de Brumadinho, lançou cerca de 12 milhões de metros cúbicos de rejeito no meio ambiente. A onda do material liberado atingiu as instalações da mina, principalmente o refeitório, no horário de almoço deixando 272 pessoas mortas. O rejeito percorreu 26 municípios do estado de Minas Gerais e mudou a história da mineração no país (Secretaria Especial de Previdência e Trabalho, 2019).

Esses eventos culminaram em um grande movimento para a entrega de projetos de reparação e adequação às novas exigências da Política Nacional de Segurança de Barragens, que passou por revisões. Dentre outras modificações, a publicação da Lei 14.066/2020 proibiu a construção e alteamento de barragens pelo método a montante e determinou a descaracterização de todas as barragens construídas por esse método no país. Além disso, diversos hectares de áreas foram degradados e precisaram passar por acompanhamento para sua recuperação. Esse cenário alterou a percepção da população quanto as exigências ambientais

para com as empresas mineradoras, o que alavancou diversos projetos de recuperação ambiental pelo país.

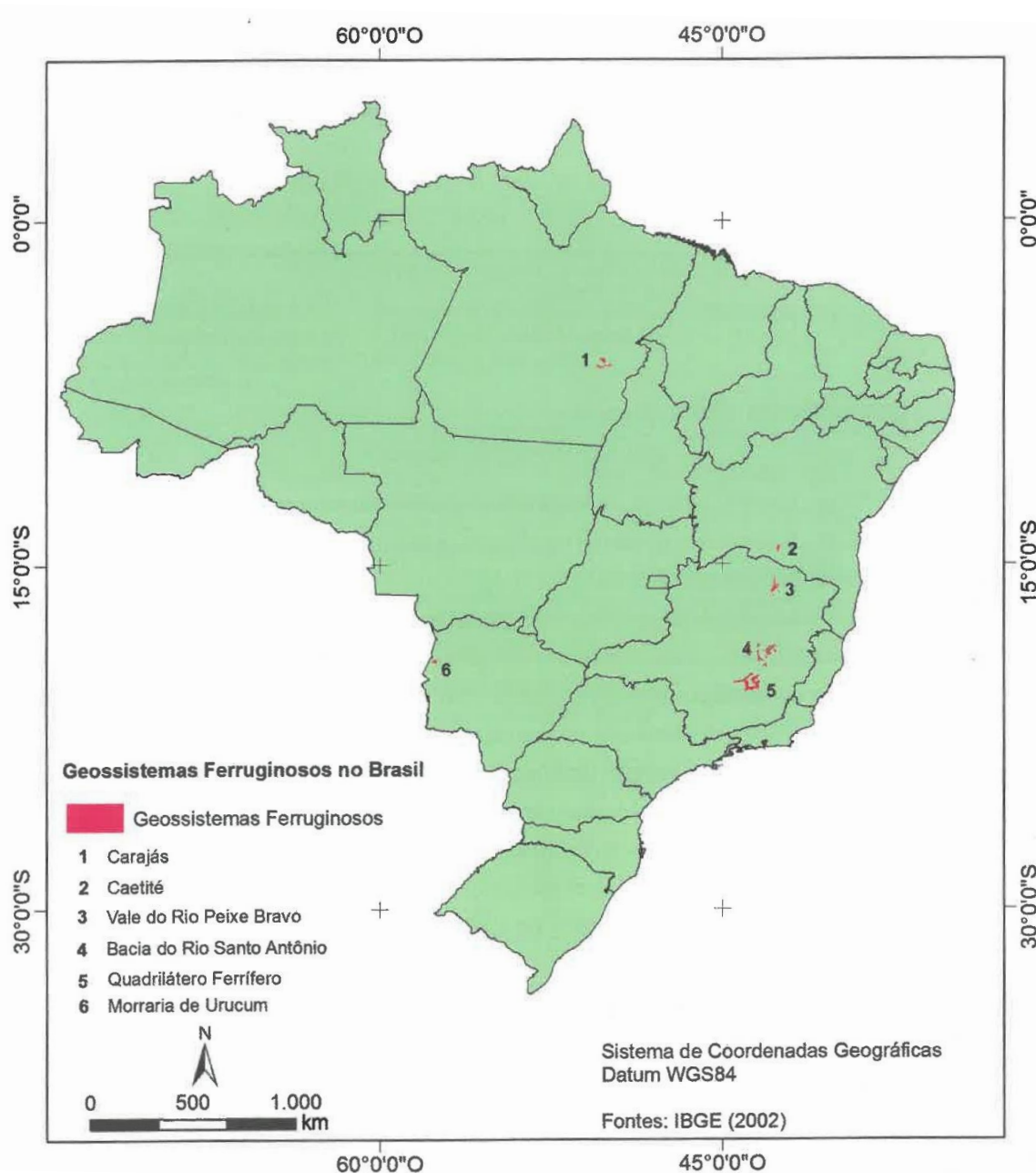
3.2.3 Desastres ambientais na mineração de ferro

Os campos ferruginosos são ecossistemas que se desenvolvem sobre substratos ricos em ferro nos platôs elevados e cristas de serras entre 900 e 1800 metros de altitude. Esses locais apresentam flora capaz de tolerar um conjunto de características ambientais limitantes como solos rasos, baixa fertilidade, alta concentração de metais, baixa retenção de água e exposição solar (Carmo e Kamino, 2015). Com um alta presença de endemismo (Jacobi *et al.*, 2007), esse ecossistema ocorre em seis regiões do Brasil: Quadrilátero Ferrífero (MG), Bacia do Rio Santo Antônio (MG), Vale do Rio Peixe Bravo (MG), Caetité (BA), Morraria do Urucum (MS) e Serra de Carajás (PA) (Figura 2).

O substrato rico em ferro, sobre o qual se desenvolvem os campos ferruginosos, são resultantes do intemperismo de afloramentos de rochas ricas em ferro. Esse processo forma uma couraça ferruginosa, denominada canga, preservando a rocha primária em subsuperfície (Carmo e Kamino, 2015). Por isso, esses ambientes são geralmente associados a expressivas mineralizações de ferro, fazendo com que sofram constantemente com impactos associados a exploração desse tipo de minério (Carmo *et al.*, 2012).

Os impactos associados a mineração nos campos ferruginosos englobam a supressão vegetal, destruição de nascentes, contaminação do lençol freático e a remoção completa do substrato, que é estocado em pilhas (Carmo *et al.*, 2012). A conservação desses ambientes passa não só pela preservação, mas também pelo resgate da flora das áreas impactadas para posterior utilização em projetos de recuperação ambiental, devido as suas vantagens adaptativas a ambientes extremos.

Figura 2: Localização dos geossistemas ferruginosos do Brasil.



Fonte: (Carmo e Kamino, 2015).

3.3 Recuperação de áreas degradadas

3.3.1 Conceitos e legislação

Conforme estudos de Martins (2021), entende-se por área degradada aquela que, após sofrer com impactos ambientais, perde a sua capacidade de retornar ao estado original ou a um equilíbrio dinâmico. A recuperação de áreas degradadas refere-se à aplicação de técnicas

silviculturais, agronômicas e de engenharia visando à recomposição topográfica e à revegetação de áreas em que o relevo foi descaracterizado. Quando a recuperação tem também o objetivo de reestabelecer a integridade ecológica do ecossistema, sua biodiversidade e estabilidade, utiliza-se do termo restauração. Por outro lado, o processo de recuperação pode ter como ênfase a atribuição de uma outra função, adequada ao uso humano, à área degradada, a qual recebe o nome de reabilitação.

3.3.2 Técnicas de recuperação de áreas degradadas

As técnicas utilizadas para recuperação podem ser diversas a depender das características da área degradada. Dentre elas, a regeneração natural é uma das técnicas de menor custo, porém é um processo lento (Martins, 2021). Consiste basicamente na remoção do fator de degradação e o isolamento da área, permitindo que esta se estabilize sozinha sem a intervenção humana ao longo do processo. Pode ser aplicada em locais próximos a remanescentes de vegetação, que não tenham sofrido intensas modificações no solo e em seu banco de sementes, e que possam, portanto, atuar como fonte de propágulos (IBAMA, 2021).

Com o objetivo de acelerar o processo de regeneração natural, aplicam-se técnicas como a nucleação. Nesse caso, criam-se pequenos núcleos de habitats dentro da área degradada de forma a induzir a colonização por espécies nativas advindas de remanescentes florestais próximos (IBAMA, 2021). Esses núcleos podem ser compostos por diversos elementos capazes de criar um local propício para a formação de novas comunidades, como o plantio de mudas, transposição de galharias e instalação de poleiros naturais (Martins, 2021).

Entretanto, em locais onde o processo de degradação foi intenso, a intervenção humana para a recuperação da área degradada é indispensável. Nesses espaços, utilizam-se técnicas como o plantio em módulos, onde as espécies de plantas são combinadas de acordo com suas características sucessionais e adaptativas (Martins, 2021). A hidrossemeadura é outra técnica comumente utilizada para recuperação de áreas degradadas, principalmente em locais íngremes e de difícil acesso para a execução das demais técnicas. Consiste em recobrir por via aquo-pastosa uma área com sementes e outros materiais que induzem a fixação e o crescimento das espécies semeadas (IBAMA, 2021).

Em qualquer uma das técnicas utilizadas, a escolha das espécies de plantas utilizadas é essencial para o sucesso do processo de recuperação ambiental. Recomenda-se a adoção de espécies nativas regionais, resgatadas de áreas que sofreram supressão vegetal para a instalação

do empreendimento, atrativas a fauna e/ou fixadoras de nitrogênio. É também importante a garantia da escolha de um conjunto de espécies com alta diversidade (Martins, 2021).

De acordo com Almeida (2016), a implementação de projetos de recuperação ambiental com pouca variedade de espécies e presença de plantas exóticas se tornou algo comum no Brasil. Isso se apresenta devido ao pouco conhecimento da dinâmica dos ecossistemas naturais locais e a carência na produção de mudas nativas. A inserção das plantas exóticas em biomas nativos pode gerar impactos negativos, muitas vezes irreversíveis. Esses impactos envolvem a perda de biodiversidade nativa, descaracterização de habitat natural, a perda de funções e processos ecológicos, assim como a perda de serviços ecossistêmicos (BPBES, 2024)

4 MÉTODOS

Utilizou-se com referência o método PRISMA (*Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses*) para desenvolvimento da revisão sistemática proposta. Este método consiste em um guia padronizado para planejar e executar as etapas de uma revisão sistemática. Tem como principal finalidade assegurar que todas as etapas envolvidas no processo de elaboração de uma revisão sistemática sejam apresentados de forma clara, detalhada e verificável (Page *et al.*, 2021).

A primeira etapa da elaboração desse método consistiu na busca sistemática de estudos já publicados sobre o tema em bases de dados selecionadas. Neste estudo foram utilizadas as bases de dados Web of Science, Scopus e ScieELO e foram considerados apenas artigos científicos publicados em revistas acadêmicas revisadas por pares. Realizou-se uma pesquisa preliminar nas bases de dados, durante o mês de setembro de 2025, para identificar os principais descritores utilizados na abordagem do tema e executar testes de aderência e de combinação. O intuito foi gerar uma estratégia de busca única que pudesse ser utilizada em todas as bases de dados consideradas e que fosse seletiva quanto ao tema da pesquisa.

Para realização da varredura na base de dados, a estratégia de busca foi desenvolvida combinando o descritor “iron” com os demais descritores de dois grupos distintos (Tabela 1) através de operadores booleanos, como “AND” e “OR” e truncadores, como as aspas e parênteses. Ao fim do processo, obteve-se a seguinte sentença de busca: iron AND (mining OR “tailing dam” OR “waste pile” OR “post-mining” OR “degraded áreas”) AND (rehabilitation OR recovery OR revegetation OR remediation OR restoration OR regeneration). A varredura nas bases de dados utilizando essa estratégia de busca foi realizada entre os dias 11 e 18 de setembro de 2025, não sendo feita a inclusão de artigos publicados posteriormente a esse período.

Tabela 1: Grupos de descritores

| GRUPO 1 Mineração | GRUPO 2 Recuperação Ambiental |
|-----------------------------|---|
| Mining | Rehabilitation |
| Tailing dam | Recovery |
| Waste pile | Revegetation |
| Post-mining | Remediation |
| Degraded áreas | Restoration |
| | Regeneration |

O total de artigos obtidos foi contabilizado sendo excluídos aqueles não elegíveis a partir da aplicação dos filtros disponíveis nas próprias bases de dados referente ao tipo (artigo), ao local (Brasil) e ao ano de publicação (2005-2025). Em seguida, realizou-se a leitura dos títulos dos artigos retornados da pesquisa excluindo-se aqueles que não estavam alinhados ao tema, sendo esse processo considerado como a primeira etapa da triagem de seleção dos artigos.

Isto feito, as informações referentes aos artigos selecionados em cada base de dados foram baixadas e inseridas no software de gestão de referência Mendeley. Realizou-se a exclusão de duplicatas e iniciou-se a segunda etapa da triagem dos artigos através da leitura dos resumos. Aqueles artigos alinhados ao tema da pesquisa foram selecionados para compor o portfólio final da revisão sistemática e foi feito o download de cada um deles. Para aqueles artigos que não eram open source ou que o acesso não foi englobado por parcerias firmadas pela Universidade Federal de Ouro Preto (UFOP), enviou-se um comunicado via plataforma Research Gate ou e-mail aos autores solicitando o compartilhamento desses arquivos. Foram incluídos no portfólio final aqueles artigos disponibilizados até o dia 06 de novembro de 2025.

4.1 Estado da Arte

Após a leitura integral de todos os artigos que compunham o portfólio final e que tiveram seu acesso liberado, construiu-se um banco de dados (Apêndice A) no software Microsoft Excel listando as informações a serem utilizadas para explorar o estado da arte do tema. Para essa finalidade utilizou-se o recurso de tabelas dinâmicas do Excel com o objetivo de contabilizar a quantidade de publicações por ano, por autor, por instituições envolvidas, por revistas acadêmicas e por área de desenvolvimento dos experimentos. Para as principais revistas acadêmicas foram gerados gráficos de anéis. Já para os demais tópicos, foram gerados gráficos de barras.

4.2 Espécie de plantas citadas

Além das informações anteriormente citadas, evidenciaram-se no banco de dados as espécies de plantas estudadas em cada um dos artigos obtidos. Foram consideradas apenas aquelas espécies citadas com intuito de utilização em processos de recuperação ambiental de áreas degradadas pela mineração de ferro. Assim, listou-se: o nome científico apresentado no artigo e a origem da espécie (nativa ou exótica do Brasil), sendo essa identificação obtida através de consulta no Programa REFLORA/CNPq. Para melhor visualização dos dados,

utilizou-se do recurso de tabelas dinâmicas do Excel para contabilizar a quantidade de espécies citadas, gerando um gráfico de barras, e de espécies nativas ou exóticas, dando origem a um gráfico de anéis.

4.3 Plantas com potencial para utilização em processos de recuperação das áreas degradadas pela mineração

Por fim, também foi agregado ao banco de dados do estudo, os títulos, objetivos e conclusões dos artigos a fim de facilitar a visualização e discussão dos dados de cada estudo. Com intuito de avaliar quais espécies tiveram um bom desempenho no desenvolvimento em áreas de recuperação ambiental e quais estratégias possibilitaram o estabelecimento dessa vantagem competitiva em relação aos demais indivíduos, avaliou-se os objetivos e principais conclusões dos artigos obtidos, apresentando um resumo sobre os principais aspectos.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

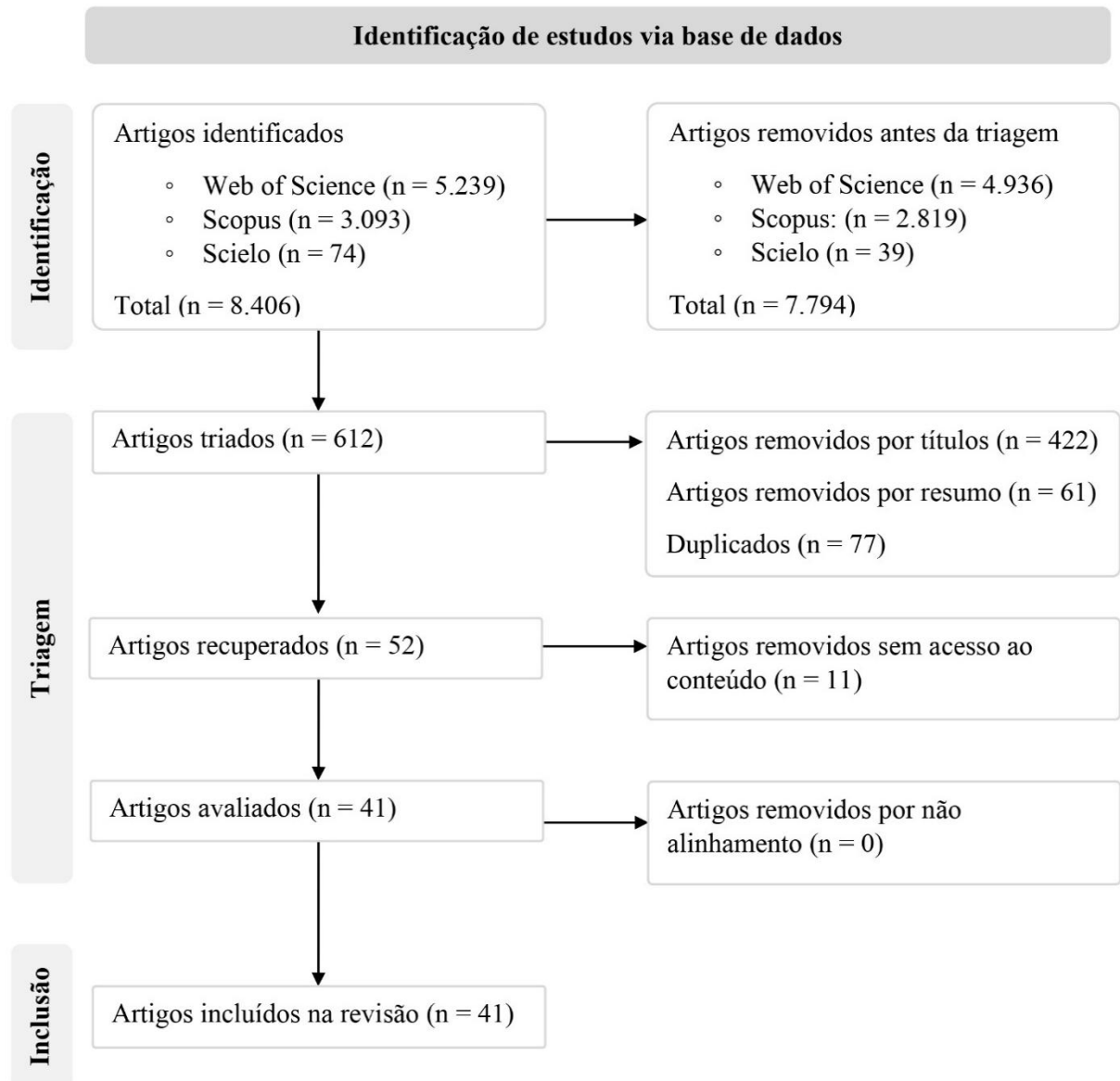
A varredura nas bases de dados retornou um total de 8.406 trabalhos relacionados ao tema da revisão sistemática. Desses, 5.239 estavam indexados na base de dados Web of Science, 3.093 na Scopus e 74 na Scielo. Após a aplicação dos filtros referente ao tipo, data e local de publicação disponíveis nas próprias bases de dados foram removidos 4.936 publicações na Web of Science, 2.819 na Scopus e 39 da Scielo. Esse processo resultou em um total de 612 artigos selecionados para triagem e 7.794 publicações desconsideradas.

Dos 612 artigos selecionados, removeu-se 77 duplicatas utilizando a ferramenta disponibilizada pelo Mendeley para automatização desse processo. Em seguida, os demais artigos tiveram seus títulos avaliados, sendo removidos 422 artigos por não alinhamento ao tema da pesquisa. Os trabalhos que tratavam de mineração de bauxita, ouro e urânio e recuperação de áreas impactadas por drenagem ácida de mina (DAM), porém não relacionadas a mineração de ferro, foram desconsiderados. Também se desconsiderou artigos que discutiam sobre aspectos do tratamento de minérios. Isso se deu devido a polissemia do termo “recovery” que pode tanto ser usado para a recuperação de áreas degradadas quanto para a recuperação de espécies minerais.

Após a leitura do resumo dos 113 artigos restantes, excluiu-se mais 61 artigos por não alinhamento ao tema da pesquisa. Foram encontrados estudos que não tratavam de áreas mineradas, recuperação de áreas degradadas ou não tinham enfoque nas técnicas vegetacionais utilizadas. Artigos que abordavam temas como a fauna e microbiota de áreas degradadas ou indicadores do grau de recuperação, sem avaliar a flora, também foram desconsiderados.

Ao final, recuperou-se 52 artigos, entretanto 11 desses foram removidos do portfólio de publicações por não terem acesso ao conteúdo liberado e nem terem sido compartilhados pelos autores. Portanto, incluiu-se na revisão sistemática 41 artigos sendo que nenhum deles foi excluído por não alinhamento do tema após sua leitura completa. O processo de seleção dos artigos está detalhado no fluxograma PRISMA apresentado na Figura 3. Já os dados extraídos dos 41 artigos lidos integralmente são apresentados no Apêndice A.

Figura 3: Fluxograma PRISMA

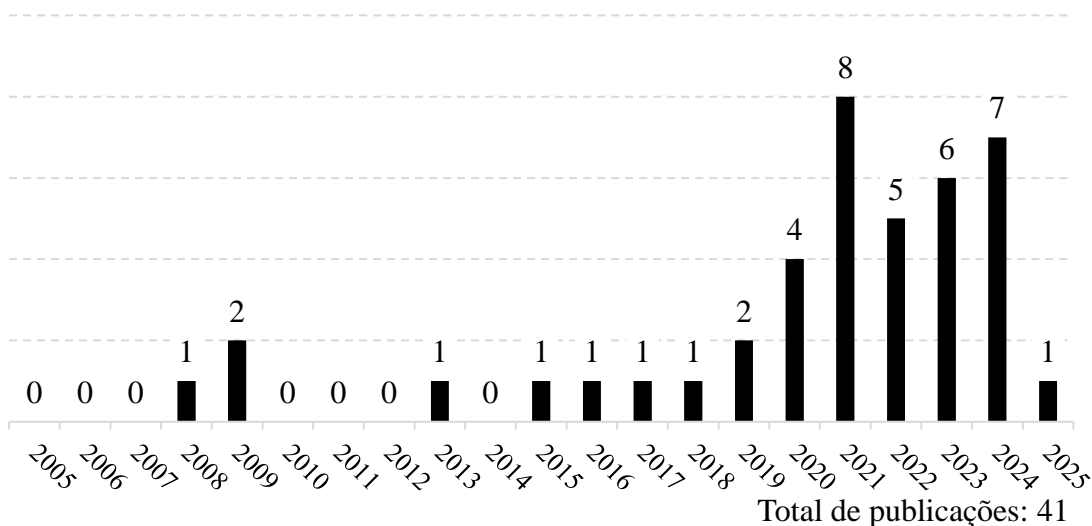


5.1 Estado da arte

Na distribuição temporal das 41 publicações sobre o tema nos últimos 20 anos (Gráfico 1), é possível observar que 7 anos (2005, 2006, 2007, 2010, 2012 e 2014) não houveram publicações. Os anos de 2008, 2013, 2015, 2016, 2017, 2018 e 2025 registraram apenas uma publicação e os de 2009 e 2019 registraram duas. A partir do início da segunda década do século, nota-se um aumento no número de publicação sendo registrados 4, 8, 5, 6 e 7 para os anos de 2020, 2021, 2022, 2023 e 2024, respectivamente. Esse aumento coincide com o período pós rompimento das barragens, salvo intervalo para realização das pesquisas. Fica, portanto,

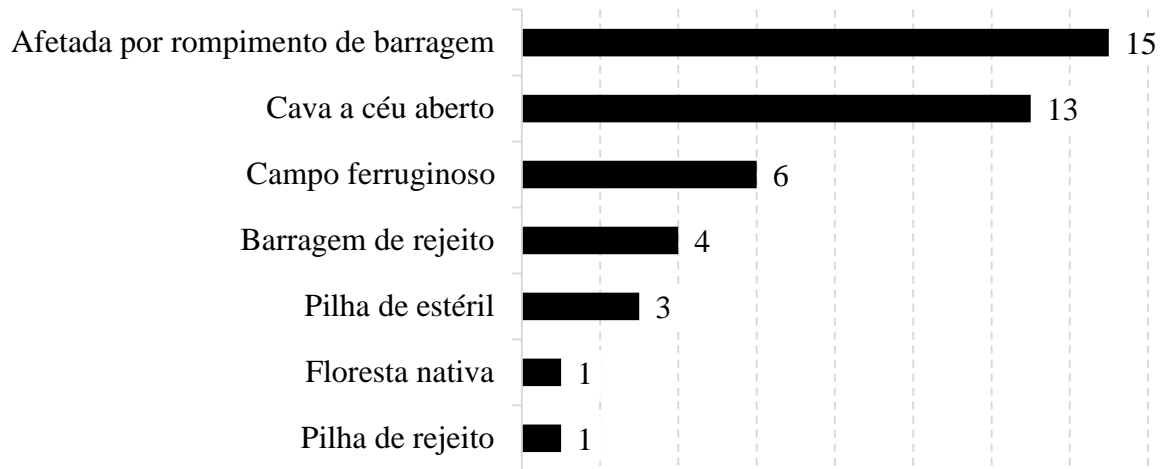
evidente como esses dois eventos impulsionaram o investimento em estudos sobre recuperação ambiental, seja pelas grandes áreas a serem recuperadas ou pela pressão da sociedade por ações mais sustentáveis por parte do setor minerário.

Gráfico 1: Número de publicações por ano.

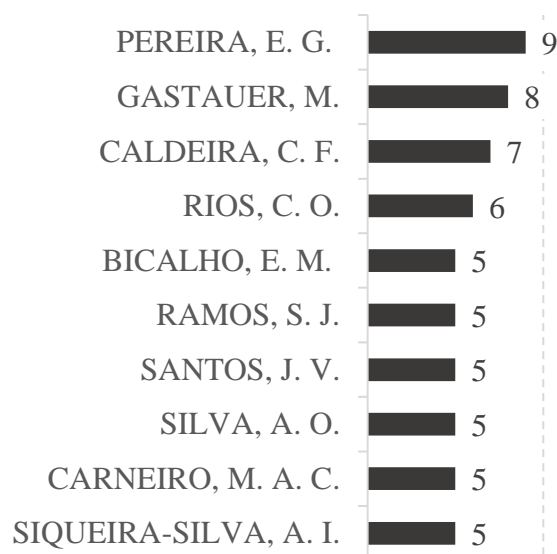


Esses estudos foram desenvolvidos em diferentes estruturas do processo minerário e áreas impactadas pela mineração de ferro (Gráfico 2). Aquelas afetadas por rompimentos de barragens totalizaram 15 estudos, sendo as mais pesquisadas. Isso se deve principalmente a extensão do impacto ambiental dos rompimentos e a pressão da sociedade por reparação. Os efeitos negativos da presença dos rejeitos no meio ambiente também impulsionaram estudos (Zago, Dores e Watts, 2019) de revegetação das áreas impactadas para evitar o aporte contínuo do material por carreamento e atenuar o impacto visual.

As áreas de cava a céu aberto, campos ferruginosos e barragens de rejeito foram pesquisadas em 13, 6 e 4 estudos respectivamente. As pilhas de estéril, por sua vez, foram pesquisadas em 3 artigos. Já as pilhas de rejeito e as florestas nativas foram pesquisadas em 1 estudo cada. O número de estudos com pilhas de rejeito apesar de baixo, reflete a popularização da técnica de empilhamento de rejeito nos últimos anos, já que o estudo em questão foi publicado em 2024. O movimento de mudança nas técnicas de armazenamento de rejeitos é relativamente recente e ganhou força com a publicação da Lei 14.066 em 2020. Portanto, espera-se ter mais estudos de revegetação dessas estruturas nos próximos anos.

Gráfico 2: Número de estudos por área de desenvolvimento experimental.

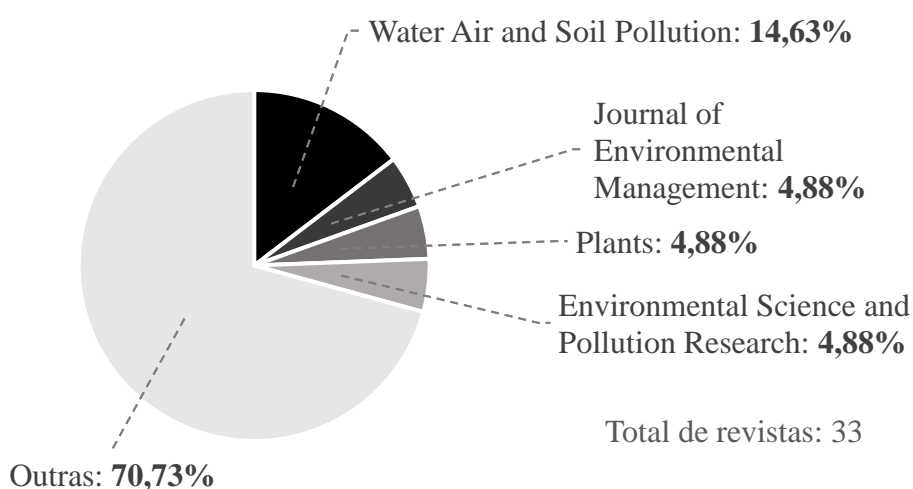
Foram registrados um total de 162 autores citados nos artigos selecionados para essa revisão sistemática. Entre os 10 principais autores com maior número de publicações sobre o tema (Gráfico 3) destaca-se PEREIRA, E. G. com participação em 9 das 41 publicações. Em seguida, aparecem na classificação GASTAUER, M.; CALDEIRA, C. F. e RIOS, C. O. com 8, 7 e 6 participações, respectivamente. Todos os demais autores apresentados no Gráfico 2 registraram 5 participações. Os demais autores (Apêndice A) contabilizaram entre 1, 2 e 3 participações no desenvolvimento dos artigos selecionados

Gráfico 3: Os 10 principais autores que publicaram sobre o tema.

Total de autores: 162

Dentre as 33 revistas acadêmicas que publicaram sobre o tema (Gráfico 4), a *Water Air and Soil Pollution* se destacou concentrando 6 artigos, o que representa 14,63% de todas as publicações. Tanto a *Journal of Environmental Management* quanto a *Plants* e a *Environmental Science and Pollution Research* publicaram 2 artigos sobre o tema, representando cada uma delas 4,88% das publicações. Essas 4 revistas acadêmicas juntas concentram 29,27% do total de artigos selecionados. Cada uma das demais 29 revistas acadêmicas publicaram (Apêndice A) apenas um artigo sobre o tema, somando 70,23% de todos os trabalhos selecionados.

Gráfico 4: Principais revistas científicas que publicaram sobre o tema.



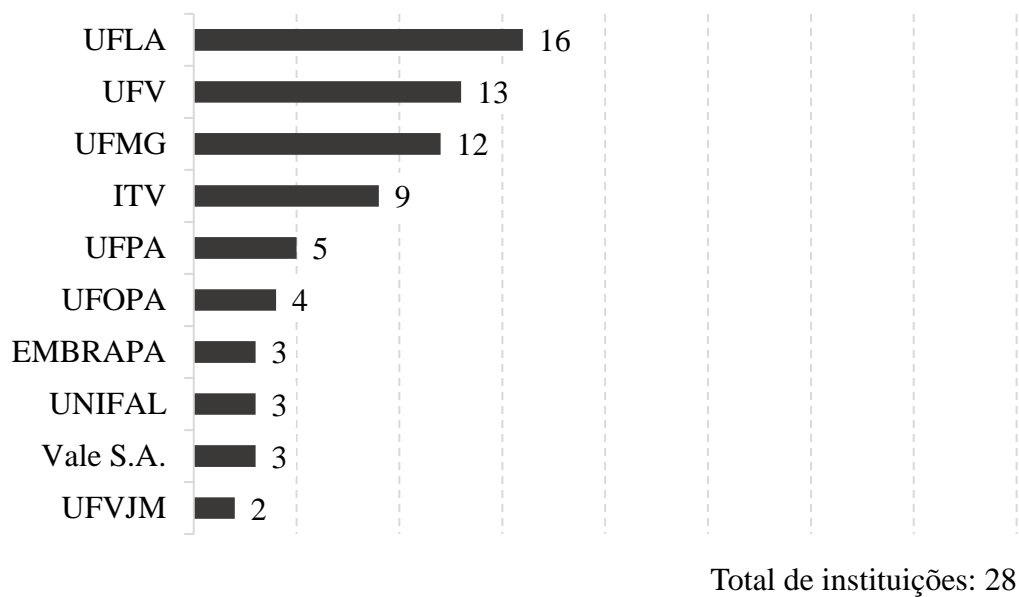
Ao todo 28 instituições participaram no desenvolvimento das pesquisas (Gráfico 5) publicadas através dos artigos selecionados para essa revisão sistemática. A Universidade Federal de Lavras (UFLA) lidou o número de participações nas pesquisas publicadas, contribuindo para o desenvolvimento de 16 dos 41 artigos. Em seguida, se destacam a Universidade Federal de Viçosa (UFV) e a Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG) com 13 e 12 participações, respectivamente.

Dentre as 10 principais instituições que desenvolvem pesquisa sobre o tema, também se destacam o Instituto Tecnológico da Vale (ITV), Universidade Federal do Estado do Pará (UFPA) e a Universidade Federal do Oeste do Pará (UFOPA), que contribuíram com o desenvolvimento de 9, 5 e 4 artigos, respectivamente. Tanto a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA) quanto a Universidade Federal de Alfenas (UNIFAL) e a Vale S.A. contribuíram em 3 artigos, cada uma delas. Já a Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri (UFVJM), contribui na publicação de 2 artigos. Cada uma das demais

instituições (Apêndice A) participaram no desenvolvimento de apenas um dos artigos selecionados.

Observa-se que das 10 principais instituições que desenvolveram pesquisas sobre o tema, 8 delas são instituições federais. Dessas, 7 são universidades federais e a outra uma empresa pública de pesquisa. Esse cenário evidência a importância das universidades federais brasileiras como centros de pesquisa e desenvolvimento de tecnologia.

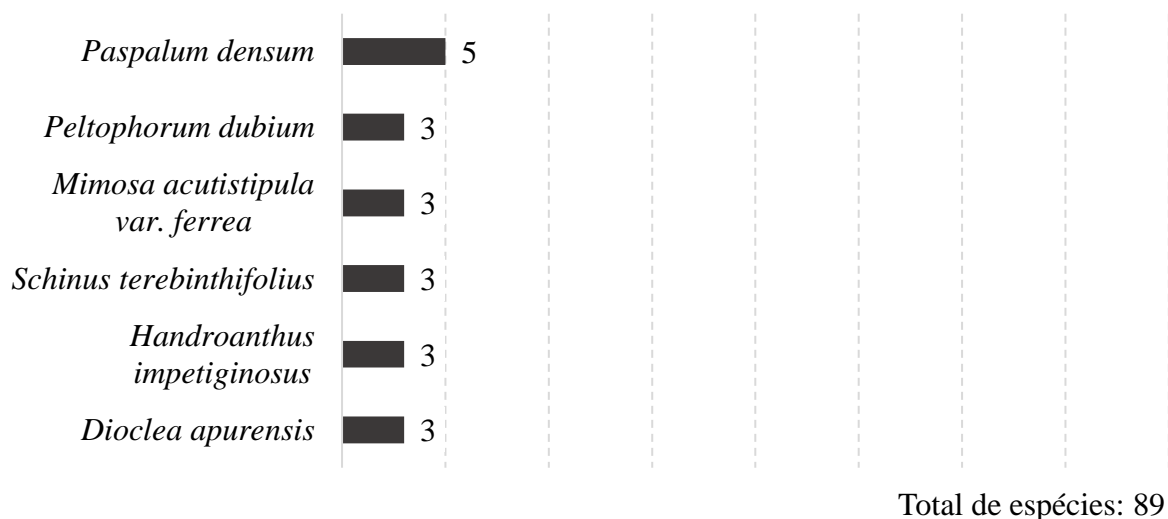
Gráfico 5: Principais instituições que participaram das publicações sobre o tema.



5.2 Espécies de plantas citadas

Nos artigos selecionados para compor essa revisão sistemática, foram citadas um total de 89 espécies de plantas diferentes (Gráfico 6), o que sugere uma certa diversidade de espécies utilizadas nas pesquisas sobre esse tema. Destacaram-se a *Paspalum densum* Poir., com 5 citações e a *Peltophorum dubium* (Spreng.) Taub. (canafístula), a *Mimosa acutistipula var ferrea* Barneby (mimosa-de-canga), a *Handroanthus impetiginosus* (Marx ex. DC) Mattos (ipê roxo de bola), a *Schinus terebinthifolius* Raddi (aroeira-vermelha) e a *Dioclea apurensis* Kunth (macuna-da-canga), cada uma com 3 citações. As demais espécies (Apêndice A), contabilizaram 2 ou 1 citações nos artigos selecionados.

Gráfico 6: Espécies mais citadas nas publicações sobre o tema.



A *Paspalum densum* é uma planta nativa perene que pode alcançar até 120 centímetros de altura e ocorre desde o México até o Brasil. Especialmente na Serra de Carajás foi registrada na Serra Norte em áreas alteradas e áreas de canga com acúmulo de umidade (Viana *et al.*, 2018). Em estudos desenvolvidos com a *P. densum*, a espécie mostrou significativa resistência ao excesso de ferro, a substratos pobres em nutrientes, ao déficit hídrico e a deposição de partículas em suas folhas (Rios, *et al.*, 2017; Souza, *et al.*, 2021; Rios *et al.*, 2023). Também apresentou alto potencial para fitoextração de metais como o Zinco, Manganês, Níquel e Cromo (Rios, Siqueira-Silva e Pereira, 2023), podendo ser uma opção de espécie pioneira a ser utilizada na revegetação de áreas degradadas pela mineração de ferro (Santos *et al.*, 2024).

A *Peltophorum dubium*, por sua vez, é uma árvore nativa de cerca de 15 metros de altura e ocorre na Argentina, Uruguai, Paraguai e Brasil (Carvalho, 2002). Em estudos feitos por Cruz *et al.* (2020), a espécie prosperou e cresceu com sucesso em áreas impactadas pelo rompimento da Barragem do Fundão. Araujo *et al.* (2024), explica que o desempenho de espécies como a *P. dubium* depende de compensações entre crescimento e tolerância, devendo essas características serem observadas no momento de escolha das espécies em projetos de recuperação de área degradada. Santos *et al.* (2025) também destaca que a fertilização dos rejeitos tem papel fundamental no sucesso da germinação e crescimentos dessa espécie.

Já a *Mimosa acutistipula var. férrea* é um arbusto que pode alcançar até 5 metros de altura tendo sua distribuição registrada nos estados do Pará, Mato Grosso e Maranhão (Vassali, 2014). Essa espécie se mostrou bem adaptada aos baixos teores de nutrientes dos solos de áreas degradadas (Carvalho *et al.*, 2018). Sua presença auxilia no aumento e manutenção da cobertura

e fertilidade do solo, facilitando a colonização desses espaços por espécies mais exigentes (Costa *et al.*, 2023). Além disso, a *M. acutistipula* var. *férrea* estabelece relações importantes com a fauna através de sua floração e frutificação, reforçando suas vantagens para utilização nos processos de recuperação de áreas degradadas (Rios *et al.*, 2024).

A *Dioclea apurensis* é outra espécie que se mostrou favorável para a utilização nos processos de recuperação de áreas degradadas pela mineração (Nascimento, 2022). Ela é uma trepadeira nativa com distribuição na região amazônica, sendo muito comum em ambiente de canga (Mattos *et al.*, 2018). Assim como a *P. densum*, apresentou resistência ao déficit hídrico, excesso de metais e deficiências nutricionais do solo. Ademais, a *D. apurensis* auxiliou na melhora da qualidade do solo, favorecendo a colonização de outras espécies (Silva *et al.*, 2024).

Os estudos realizados nas áreas impactadas pelo rompimento da barragem do Fundão com a *Handroanthus impetiginosus* demonstraram que essa espécie não é afetada pela presença dos rejeitos. Isso ocorre devido a mecanismos de reparo, estratégia de evasão do ferro e superação da limitação nutricional (Santos *et. al.*, 2025; Cruz *et. al.*, 2020). Devido a essas características, a *H. impetiginosus* pode ser utilizada nos projetos de recuperação ambiental dessas áreas tanto por semeadura de sementes como por plantio de mudas (Cruz *et al.*, 2020).

Por outro lado, a *Schinus terebinthifolius* não se mostrou tão favorável para compor projetos de recuperação de áreas degradadas pela mineração de ferro. Essa é uma planta nativa da América do Sul podendo alcançar 15 metros de altura (Degáspari, 2005). Em estudos realizados sobre os rejeitos depositados pelo rompimento da barragem do Fundão, a *S. terebinthifolius* apresentou toxicidade parcial com mudanças nos tecidos causando uma redução no desenvolvimento das plântulas (Junior *et. al.*, 2021; Silva *et. al.*, 2024).

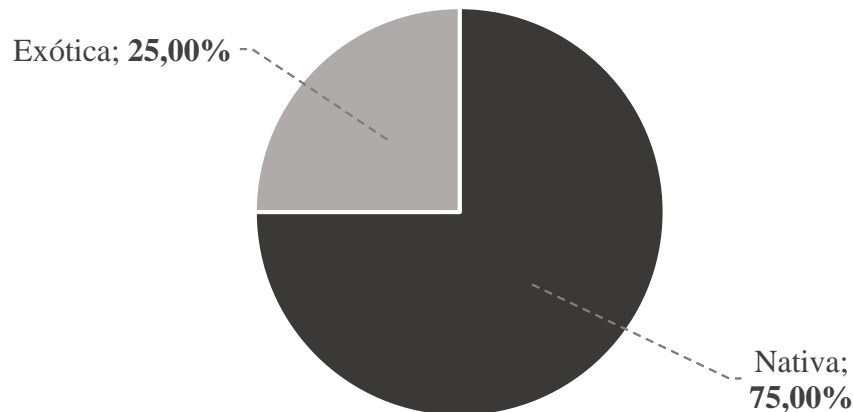
5.2.1 Origem das espécies de plantas citadas

Quanto a origem das espécies citadas nos artigos selecionados (Gráfico 7), 23 foram classificadas como exóticas, o que corresponde a 25% do total de espécies pesquisadas. Por outro lado, 69 espécies foram classificadas como nativas, correspondendo a 75% do total das espécies.

Observa-se a alta representatividade de plantas nativas, principalmente provenientes de ambientes de campos ferruginosos. Isso se dá devido as diversas adaptações que essas espécies apresentam para sobrevivência ao estresse biótico e abiótico desses ecossistemas. Essas

adaptações se mostraram como uma vantagem dessas espécies para a colonização das áreas degradadas pela mineração (Nascimento *et al.*, 2022).

Gráfico 7: Origem das espécies mais citadas nas publicações sobre o tema.



5.3 Plantas com potencial para utilização em processos de recuperação das áreas degradadas pela mineração

As conclusões dos artigos selecionados nessa pesquisa evidenciaram a importância da escolha correta de espécies para compor os projetos de recuperação de áreas degradadas pela mineração de ferro. Destaca-se inicialmente a importância de estudos florísticos nas regiões a serem impactadas (Jacobi *et al.*, 2008; Meira Junior *et al.*, 2015) e a realização do resgate de flora antes do processo minerário (Fernandes *et al.*, 2016). Os campos ferruginosos, comumente impactados pela mineração de ferro no Brasil, são uma grande fonte de espécies adaptadas aos estresses abióticos do ambiente de canga. Essas adaptações se mostraram vantajosas para estabelecimento de espécies nas áreas a serem recuperadas (Nascimento *et al.*, 2022).

Sugere-se que as espécies escolhidas para compor projetos de recuperação ambiental apresentem características como o crescimento rápido e/ou clonal e o sistema radicular vigoroso (Jacobi *et al.*, 2008; Carvalho *et al.*, 2018). Elas propiciam a cobertura vegetal do solo, diminuem a erosão e melhoram as propriedades do substrato para colonização de espécies mais exigentes (Zago, Dores e Watts, 2019; Sousa *et al.*, 2020; Caldeira *et al.*, 2021; Silva *et al.*, 2024). Esses aspectos aumentam a capacidade de regeneração dos ambientes impactados podendo acelerar o processo de recuperação ambiental. Com esse mesmo objetivo também se

recomenda que o período de floração e dispersão de frutos das espécies selecionadas sejam diferentes garantindo a disponibilidade de alimentos para fauna durante todo o ano (Garcia, Barros e Lemos-Filho, 2009; Costa *et al.*, 2023).

Outras características que podem ser vantajosas são a tolerância à alta concentração de metais (Rios, *et al.*, 2017; Matos *et al.*, 2020; Souza *et al.*, 2021), à baixa fertilidade do solo (Carvalho *et al.*, 2018; Santos *et al.*, 2025) e ao estresse hídrico (Rios *et al.*, 2020; Rios, Siqueira-Silva e Pereira, 2023), peculiaridades comuns de áreas impactadas pela mineração de ferro. Devido a essas características, algumas espécies também podem apresentar potencial de fitoextração de metais do solo, melhorando a qualidade ambiental para espécies mais exigentes (Silva *et al.*, 2024).

Outras estratégias podem ser utilizadas para facilitar os estabelecimentos das plantas nos processos de recuperação de áreas degradadas como a utilização de fertilizantes, a fim de melhorar a disponibilidade de nutrientes (Araújo e Costa, 2013; Cruz *et al.*, 2020; Esteves *et al.*, 2020; Ramos, *et al.*, 2021; Alves *et al.*, 2024). A aplicação de fertilizantes deve ser condicionado as necessidades das plantas utilizadas no projeto (Boaneres *et al.*, 2023). Entretanto, deve-se atentar para a possibilidade de lixiviação dos aditivos aplicados, podendo causar outros tipos de impactos ambientais (Borges *et al.*, 2023).

O condicionamento das sementes (Silva *et al.*, 2023) e a incubação de microrganismos nas mudas (Matias *et al.*, 2009; Lara *et al.*, 2019) a serem utilizadas na recuperação ambiental também são estratégias que auxiliam nos estabelecimentos das plantas nas áreas degradadas. O uso de topsoil é também uma estratégia utilizada para melhorar a disponibilidade de nutrientes, aumentando a taxa de sobrevivência das plantas e a capacidade de regeneração da área (Rezende *et al.*, 2021).

A diversidade de espécies (Zanchi *et al.*, 2022), a fácil obtenção de mudas e sementes, a possibilidade de uso posterior de produtos provenientes das plantas (Zago, Doreis e Watts, 2019) e o manejo de espécies exóticas (Gastauer *et al.*, 2021), são outros aspectos que também devem ser considerados no processo de recuperação de áreas degradadas pela mineração de ferro (Zago, Doreis e Watts, 2019; Zanchi *et al.*, 2021). Esses projetos se bem desenvolvidos apresentam altas taxas de sucesso, melhorando a qualidade ambiental das áreas degradadas (Sousa *et al.*, 2020; Gastauer *et al.*, 2021).

6 CONCLUSÃO

Isto posto, conclui-se que a pesquisa em recuperação de áreas degradadas vem ganhando espaço no cenário nacional, muito impulsionada pelos desastres ambientais envolvendo a mineração de ferro. Essa questão pode ser observada na quantidade de estudos publicados nos últimos anos sobre o tema, nas principais áreas de desenvolvimentos experimental pesquisadas e na participação da empresa envolvida nos rompimentos de barragem nas pesquisas. Destaca-se também o importante papel das instituições federais brasileiras para a construção do conhecimento e avanço tecnológico, visto sua expressiva colaboração nas publicações avaliadas.

Entretanto, a maioria dos estudos foram realizados em estufas utilizando indivíduos jovens. Nesse sentido, o desenvolvimento de novos estudos a longo prazo e em campo torna-se relevante para melhor compreensão das dinâmicas dos processos de recuperação desse tipo de áreas degradadas. Também se sugere o desenvolvimento de pesquisas futuras utilizando outras fontes de informações como planos e manuais de recuperação de áreas degradadas produzidos pelas empresas para avaliação de quais espécies tem sido efetivamente utilizadas nesse tipo de projeto.

A avaliação desses estudos também deixa evidente a valorização de espécies nativas do Brasil para compor os projetos de recuperação de áreas degradadas. Não só pelo intuito de evitar a introdução de espécies exóticas ao país, mas também pelo fato de que as espécies nativas pesquisadas mostraram vantagens adaptativas que proporcionaram melhor estabelecimento dos indivíduos nas áreas degradadas. Isso se reflete nas principais plantas listadas e na porcentagem de espécies nativas apresentadas neste trabalho.

A mineração de ferro é uma atividade indispensável para a manutenção do estilo de vida da sociedade atual. Entretanto, ela tem que ser realizada de forma mais sustentável, respeitando o território onde está inserida e investindo em bons projetos de recuperação de áreas degradadas. Isso tende a melhorar a qualidade de vida do ambiente e das pessoas impactadas, além de garantir uma melhor aceitação desse tipo de empreendimento pela sociedade.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Almeida, D. S. **Recuperação ambiental da Mata Atlântica**. 3 ed. ed. Editora da UESC, 2016.

Alves, Matheus Cassimiro *et al.* Assessing the feasibility of using *Acrocomia aculeata* (Arecaceae) for the rehabilitation of iron ore tailings. **Acta Botanica Brasilica**, v. 38, agosto 2024. DOI: 10.1590/1677-941X-ABB-2024-0072 .

ANM. **Anuário Mineral Brasileiro: principais substâncias metálicas**. Agência Nacional de Mineração. Brasília, p. 26. 2025.

ANM. **Informe Mineral - 2º trimestre 2025**. Agência Nacional de Mineração. Brasília, p. 21. 2025.

ANM. **Sumário Mineral 2025 ano-base 2024**. Agência Nacional de Mineração. Brasília, p. 87. 2025.

Araújo, Bárbara Dias *et al.* Mining Tailings Effects on Soil Quality and Performance of Two Native Species of Atlantic Forest: Implications for Restoration. **Water, Air and Soil Pollution**, v. 235, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11270-024-07472-z>.

Araújo, I. C. S.; Costa, M. C. G. Biomass and nutrient accumulation pattern of leguminous tree seedlings grown on mine tailings amended with organic waste. **Ecological Engineering**, v. 60, p. 254-260, novembro 2013. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2013.07.016>.

Araújo, Sérgio B. **Administração de desastres: conceitos e tecnologias**. 3º ed. SYGMA SMS, 2012.

Barros, Gustavo. O desenvolvimento do setor siderúrgico brasileiro entre 1900 e 1940: Crescimento e substituição de importações. **Estudos Econômicos**, São Paulo, v. 45, n. 1, p. 153-183, jan-mar 2014.

Boaneres, Daniela *et al.* Low fertilization optimizes the water use efficiency of an Amazonian canga grass for mineland rehabilitation. **Acta Amazonica**, v. 53, p. 84-92, 2023. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/1809-4392202202351>.

Bomfim, Marcela Rebouças. **Avaliação de impactos ambientais da atividade minerária**. Universidade Federal do Recôncavo da Bahia. p. 46. 2017.

Borges, Pedro Henrique de Castro *et al.* Pelletization and Fertilization Improve the Root Environment in Soil Affected by Iron Mining Tailings. **Water, Air & Soil Pollution**, v. 234, agosto 2023. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11270-023-06563-7>.

Borges, Pedro Henrique de Castro *et al.* Soil conditioners improve the environment for grass growth in iron mining tailing of the Fundão dam failure. **Science and Agrotechnology**, v. 48. 2024. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/1413-7054202448002724>.

BPBES, Plataforma Brasileira de Biodiversidade e Serviços Ecosistêmicos. **Relatório Temático Sobre Espécies Exóticas Invasoras, Biodiversidade e Serviços Ecosistêmicos**. 1ª ed. São Carlos: Cubo, 2024. 297 p.

BRASIL. **Lei nº 14.066, de 30 de setembro de 2020**. Altera a Lei nº 12.334, de 20 de setembro de 2010, que estabelece a Política Nacional de Segurança de Barragens. Brasília: Diário Oficial da União. 2020. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2020/lei/114066.htm. Acesso em: 19/02/2026.

BRASIL. **Constituição da República Federativa do Brasil de 1988**. Brasília, DF. Presidência da República. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/constituicao/constituicao.htm. Acesso em: 19/02/2026.

BRASIL. **Decreto nº 97.632, de 10 de abril de 1989**. Dispõe sobre a regulamentação do Artigo 2º, inciso VIII, da Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981, e dá outras providências. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto/1980-1989/d97632.htm. Acesso em: 19/02/2026.

Calaes, Gilberto Dias; Queiroz, Lila Costa. **Avaliação do potencial geoeconômico da Província Mineral de Carajás**. Serviço Geológico Brasileiro. Rio de Janeiro, p. 130. 2024.

Caldeira, Cecilio Frois *et al.* Native Amazonian Canga Grasses Show Distinct Nitrogen Growth Responses in Iron Mining Substrates. **Plants**, v. 10, n. 5ª, abril 2021. DOI: <https://doi.org/10.3390/plants10050849>.

Cardozo, F. A. C.; Pimenta, M. M.; Zingano, A. C. Métodos construtivos de barragens de rejeito de mineração: uma revisão. **HOLOS**, v. 08, p. 77-85, 2016.

Carmo, Flávio Fonseca do *et al.* Cangas: Ilhas de Ferro Estratégicas para a Conservação no Brasil. **Ciência Hoje Ecologia**, v. 295, p. 49-53, Janeiro 2012.

Carmo, Flávio Fonseca do; Kamino, Luciana Hiromi Yoshino. **Geossistemas ferruginosos do Brasil: áreas prioritárias para conservação da diversidade geológica e biológica, patrimônio cultural e serviços ambientais**. Belo Horizonte: 3i, 2015.

Carvalho, João M. *et al.* Influence of nutrient management on growth and nutrient use efficiency of two plant species for mineland revegetation. **Restoration Ecology**, v. 26, n. 2^a, p. 303-310, março 2018. DOI: <https://doi.org/10.1111/rec.12572>.

Carvalho, Paulo Ernani Ramalho. Canafístula. **Circular Técnica**, v. 64, 2002. ISSN: 1517-5278.

Castilla-Gómez, Jorge; Herrera-Herbert, Juan. Environmental analysis of mining operations: Dynamic tools for impact assessment. **Minerals Engineering**, Madrid, v. 76, p. 87-96, novembro 2014. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.mineng.2014.10.024>.

Castro, Paulo de Tarso Amorim; Endo, Issamu; Gandini, Antonio Luciano. **Quadrilátero Ferrífero: avanços do conhecimento nos últimos 50 anos**. Universidade Federal de Ouro Preto. Ouro Preto, p. 480. 2020.

Chaves, Arthur Pitno. **Teoria e prática do tratamento de minérios**. SIGNUS, v. 2, 1999.

Costa, Ana Carolina Galindo da *et al.* Reproductive phenology of critical native plant species for mineland restoration in the eastern Amazon. **Plant Species Biology**, v. 38, n. 3^a, p. 131-143, março 2023. DOI: <https://doi.org/10.1111/1442-1984.12406>.

Costa, Ana Carolina Galindo da *et al.* Reproductive phenology of critical native plant species for mineland restoration in the eastern Amazon. **Plant Species Biology**, v. 38, n. 3^a, março 2023. DOI: 10.1111/1442-1984.12406.

Cruz, Fernanda Vieira da Silva *et al.* Does Samarco's spilled mud impair the growth of native trees of the Atlantic Rainforest? **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v. 189, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2019.110021>.

Cruz, Fernanda Vieira da Silva *et al.* Fertilization assures mineral nutrition but does not overcome the effects of Fe accumulation in plants grown in iron ore tailings. **Environmental Science and Pollution Research**. v. 29, p. 18047-18062. 2022. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11356-021-16989-3>.

Degáspari, C. H. Atividade antimicrobiana de *Schinus terebenthifolius* Raddi. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 29, n. 3, p. 617-622, 2005. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1413-70542005000300016>.

Dias, Renato Feliciano *et al.* **Companhia Vale do Rio Doce: 50 anos de história**. Rio de Janeiro: Companhia Vale do Rio Doce, 1992.

DNPM. **Economia Mineral do Brasil**. Brasília: Diretoria de Desenvolvimento e Economia Mineral, 2009.

Duarte, Anderson Pires; Espósito, Terezinha de Jesus. Classificação de barragens de contenção de rejeitos de mineração e resíduos industriais em relação a fatores de risco. **Escola de Minas**, Ouro Preto, v. 63, n. 2, p. 393-398, 2010.

Esteves, Gisele de Fátima *et al.* Vermicompost improves maize, millet and sorghum growth in iron mine tailings. **Journal of Environmental Management**, v. 264, junho 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.110468>.

Fernandes, Alessandra F. *et al.* Overview of the translocation of rupestrian ferruginous fields of Capão Xavier mine to the Serra do Rola Moça State Park, Minas Gerais – Brazil. **European Ecological Federation**, v. 16, n. 1^a, p. 93-96, 2016. DOI: <https://doi.org/10.5194/we-16-93-2016>.

Figueirôa, Silva. F. de M. Mineração no Brasil: aspectos técnicos e científicos de sua história na colônia e no império (séculos XVIII-XIX). **América Latina en la Historia Económica**, v. 1, n. 01, p. 41-55, 1994. ISSN: 2007-3496.

Freitas, Jober Condé Evangelista *et. al.* Assessing the ecophysiological effects of iron mining tailings on velvet bean: implications for growth limitations based on mineral composition and physicochemical properties of tailings-soil substrates. **Ecology & Biogeography**. v. 46, p. 715-729. 2023. DOI: <https://doi.org/10.1007/s40415-023-00911-x>.

Garcia, Letícia Couto; Barros, Fernanda De Vasconcellos; Lemos-Filho, José Pires de. Fructification phenology as an important tool in the recovery of iron mining areas in Minas Gerais, Brazil. **Brazilian Journal of Biology**, v. 69, n. 3^a, p. 887-893, agosto 2009. DOI: [10.1590/S1519-69842009000400017](https://doi.org/10.1590/S1519-69842009000400017).

Gastauer, Markus *et al.* Reintroduction of native plants indicates the return of ecosystem services after iron mining at the Urucum Massif. **Ecosphere**, v. 12, n. 11^a, novembro 2021. DOI: <https://doi.org/10.1002/ecs2.3762>.

GOVERNO DO ESTADO DE MINAS GERAIS. **Avaliação dos efeitos e desdobramentos do rompimento da Barragem do Fundão em Mariana-MG**. Governo do Estado de Minas Gerais. Belo Horizonte, p. 287. 2016.

Hartman, Howard L.; Mutmanský, Jan M. **Introductory Mining Engineering**. 2^a. ed. Wiley, 2002.

IBAMA. **Em dia com a natureza**: manual para projetos de recuperação nativa. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2021.

IBRAM. **Políticas Públicas para a Indústria Mineral**. 1^o ed. ed. Brasília: Instituto Brasileiro de Mineração, 2022.

IBRAM. **Dados do setor mineral - 3^o trimestre de 2025**. Instituto Brasileiro de Mineração. Brasília, p. 32. 2025.

Jacobi, Claudia M. *et al.* Plant communities on ironstone outcrops: a diverse and endangered Brazilian ecosystem. **Biodiversity and Conservation**, v. 16, p. 2185-2200, mar. 2008. DOI: 10.1007/s10531-007-9156-8.

James, H. L. Sedimentary facies of iron-formation. **Economic Geology**, v. 49, p. 235-293, 1954.

Junior, Alexandre Carvalho Ribeiro *et al.* Biochemical attributes and establishment of tree seedlings in soil after *Urochloa decumbens* cultivation in soil with deposition of iron mining residues. **Silviculture**, v. 27, 2021. DOI: 10.1590/01047760202127012623.

Júnior, Caio Prado. **Formação do Brasil contemporâneo**. 1. ed. Companhia das Letras, 2011.

Justo, Ana Paula. **As formações ferríferas bandadas (BIFs) e a evolução paleoambiental e geodinâmica da Bacia de Carajás**. Brasília: Universidade de Brasília, 2018.

Kossof, D. *et al.* Mine tailings dams: Characteristics, failure, environmental impacts and remediation. **Applied Geochemistry**, v. 51, p. 229-245, 2014.

Lara, Rodrigo de Oliveira *et al.* Growth of *Kiellmeyera rubriflora* inoculated with arbuscular mycorrhizal fungi on iron mining substrates. **Floresta**, v. 50, n. 1^a, dezembro 2019. DOI: 10.5380/ufv.v50i1.58894.

Leão, Rafael; Rabelo, Rodrigo. **A extensão da cadeia produtiva da economia mineral no PIB brasileiro**. Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada. Rio de Janeiro, p. 59. 2023.

Mankiw, N. Gregory. **Macroeconomia**. 10ª. ed. GEN Atlas, 2021.

Martins, Sebastião Venâncio. **Recuperação de áreas degradadas: ações em áreas de preservação permanente, voçorocas, taludes rodoviários e de mineração**. 5ª. ed. Viçosa: Aprenda Fácil, 2021.

Matias, Sandra Rosa *et al.* Effect of rhizobia, mycorrhizal fungi and phosphate-solubilizing microorganisms in the rhizosphere of native plants used to recover an iron ore area in Brazil. **European Journal of Soil Biology**, v. 45, p. 259-266, fevereiro 2009. DOI: 10.1016/j.ejsobi.2009.02.003.

Matos, Letícia Paiva de *et al.* Limitations to Use of *Cassia grandis* L. in the Revegetation of the Areas Impacted with Mining Tailings from Fundão Dam. **Water, Air and Soil Pollution**, v. 231, março 2020. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11270-020-04479-0>.

Mattos, Cilene Mara Jordão de *et al.* Flora das cangas da serra dos Carajás, Pará, Brasil: Leguminosae. **Rodriguésia**, Rio de Janeiro, v. 69, n. 3, p. 1147-1220, 2018. DOI: 10.1590/2175-7860201869323.

Meira Junior, Milton Serpa de *et al.* Espécies potenciais para recuperação de áreas de floresta estacional semidecidual com exploração de minério de ferro na serra do espinhaço. **Bioscience Journal**, v. 31, n. 1ª, p. 283-295, janeiro 2015. DOI: 10.14393/BJ-v31n1a2015-23414.

Nascimento, Sidney Vasconcelos do *et al.* Molecular Mechanisms Underlying *Mimosa acutistipula* Success in Amazonian Rehabilitating Minelands. **Internacional Journal of Environmental Research and Public Health**, v. 19, n. 21ª, novembro 2022. DOI: <https://doi.org/10.3390/ijerph192114441>.

Nascimento, Sidney Vasconcelos do *et al.* Proteomic profiling and rhizosphere-associated microbial communities reveal adaptive mechanisms of *Dioclea apurensis* Kunth in Eastern Amazon's Rehabilitating minelands. **Plants**. v. 11. 2022. <https://doi.org/10.3390/plants11050712>.

Page, Matthew J *et al.* The PRISMA 2020 statement: an updated guideline for reporting systematic reviews. **Research Methods & Reporting**, 29 Março 2021.

Paranaíba, Guilherme. Barragens construídas com método mais seguro estão sem estabilidade. **Estado de Minas Gerais**, 2019. Disponível em: https://www.em.com.br/app/noticia/gerais/2019/04/04/interna_gerais,1043673/barragens-construidas-com-metodo-mais-seguro-estao-sem-estabilidade.shtml. Acesso em: 24 jan. 2026.

Pedrosa-Soares, Antônio Carlos; Voll, Eliane; Cunha, Edson Campos. **Recursos Minerais de Minas Gerais**. Companhia de Desenvolvimento de Minas Gerais. Belo Horizonte. 2018.

Pinho, Frederico Alves; Neiva, Ismael Krishna de Andrade. **200 anos Fábrica Patriótica: a primeira industria de ferro do Brasil**. Belo Horizonte: Vale S.A. , 2012.

Pinto, Virgilio Noya. **O ouro brasileiro e o comércio anglo-português: uma contribuição aos estudos de economia atlântica no século XVII**. São Paulo: Editora Nacional, 1979.

Ramos, Sílvio Junio *et al.* Açai Biochar and Compost Affect the Phosphorus Sorption, Nutrient Availability, and Growth of *Dioclea apurensis* in Iron Mining Soil. **Minerals**, v. 11, n. 7^a, junho 2021. DOI: <https://doi.org/10.3390/min11070674>.

Rezende, Lina Andrade Lobo *et al.* Topsoil depth influences the recovery of rupestrian grasslands degraded by mining. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 45, novembro 2021. DOI: [10.36783/18069657rbc20210056](https://doi.org/10.36783/18069657rbc20210056).

Rios, Camilla Oliveira *et al.* Assessment of iron toxicity in tropical grasses with potential for revegetating mined areas. **Polish Journal of Environmental Studies**, v. 26, n. 5^a, p. 2167-2173, 2017. DOI: <https://doi.org/10.15244/pjoes/68429>.

Rios, Camilla Oliveira *et al.* Photochemical attributes determine the responses of plant species from different functional groups of ferruginous outcrops when grown in iron mining substrates. **Functional Plant Biology**, v. 51, n. 1^a, janeiro 2024. DOI: <https://doi.org/10.1071/FP23207>.

Rios, Camilla Oliveira; Siqueira-Silva, Advanio Inácio; Pereira, Eduardo Gusmão. Revegetation of mining-impacted sites with a tropical native grass: Constraints of climate seasonality and trace-element accumulation. **Journal of Environmental Management**, v. 326, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2022.116655>.

Rios, Camilla Oliveria *et al.* How does drought affect native grasses' photosynthesis on the revegetation of iron ore tailings? **Environmental Science and Pollution Research**, v. 28, p. 14797-14811, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11356-020-11599-x>.

Rodrigues, Thell; Sanders Filho, Ladislau Pereira. A geografia histórica das barragens de rejeito de minério de ferro em Minas Gerais, Brasil. **Revista do Núcleo de Estudos, Pesquisa e Projetos de Reforma Agrária - NERA**, Presidente Prudente, v. 28, n. 3, p. 1-26, 2025.

SAMARCO S.A. **Um ano do rompimento de Fundão**. Samarco S.A. [S.l.]. 2016.

Sanchez, Luis Enrique. **Avaliação de impacto ambiental: conceitos e métodos**. 2º ed. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2013.

Santiago, Arthur Melo Ottoni. **O contexto do minério de ferro no Brasil: estudo de caso: produção da Mina Ponto Verde - Itabirito/Brasil**. Ouro Preto: Universidade Federal de Ouro Preto, 2017.

Santiago, Thulio de Assis Santos e. **Sustentabilidade na disposição de rejeitos da indústria mineral**. Ouro Preto: Universidade Federal de Ouro Preto, 2022.

Santos, Bruno Fagundes *et al.* Sustained growth and phosphorus efficiency under iron excess in *Paspalum densum*, a C4 grass for mining site revegetation. **South African Journal of Botany**, v. 164, p. 31-38, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2023.11.039>.

Santos, Talita Raissa Silva *et al.* Growth-tolerance tradeoffs shape the survival outcomes and ecophysiological strategies of Atlantic Forest species in the rehabilitation of mining-impacted sites. **Science of the Total Environment**, v. 964, 2025. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2025.178567>.

Scarpa, Ana Livia Martins *et al.* Seed germination, initial growth and leaf anatomy of seedlings of four tree species grown in mine tailing in Brazil. **Seed Science Research**. v. 32, 2ª ed. 2022. DOI: <https://doi.org/10.1017/S0960258522000174>.

SECRETARIA ESPECIAL DE PREVIDÊNCIA E TRABALHO. **Relatório de análise de acidente de trabalho - Rompimento da Barragem B1 da Vale S.A. em Brumadinho-MG em 25/01/2019**. Secretaria Especial de Previdência e Trabalho. p. 240. 2019.

Silva, André Felipe Rocha. **Preparação de base de dados para análise da propagação da onda de cheia proveniente de ruptura de barragem. Estudo de caso: Barragem de Chapéu d'Uva - MG**. Universidade Federal de Juiz de Fora. Juiz de Fora, p. 64. 2017.

Silva, Victor Navarro *et al.* Seed Priming of *Handroanthus heptaphyllus* for the restoration of the mining fields. **Water, Air & Soil Pollution**, v. 234, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11270-022-06032-7>.

for the Restoration of the Mining Fields. **Water, Air & Soil Pollution**, v. 234, janeiro 2023. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11270-022-06032-7>.

Silva, Yorranna Kelly Rossy da *et al.* Native plant species as an alternative to rehabilitate iron ore waste piles in Carajás Mineral Province, Brazil. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 55, n. 11^a, p. 1579-1592, março 2024. DOI: <https://doi.org/10.1080/00103624.2024.2321934>.

Silva, Poliana Noemia da *et al.* Toxicity of iron mining tailings and potential for revegetation using *Schinus terebinthifolia* Raddi based on the emergence, growth and anatomy of the species. **Mining**, v. 4. 2024. DOI: <https://doi.org/10.3390/mining4030040>.

Sousa, Saulo Saturnino de *et al.* Iron ore mining areas and their reclamation in Minas Gerais State, Brazil: impacts on soil physical properties. **Springer Nature Applied Sciences**, v. 2, setembro 2020. DOI: <https://doi.org/10.1007/s42452-020-03457-9>.

Souza, Henrique Capper Alves de; Pinto, Mario Abrantes da Silva. **Minério de ferro: seus reflexos na economia nacional e internacional**. Rio de Janeiro: Banco do Brasil, 1957.

Souza, João Paulo de *et al.* Is a C4 tropical grass still an option in the revegetation of iron ore tailings in face of climate change? **Theoretical and Experimental Plant Physiology**, v. 33, p. 397-109, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1007/s40626-021-00221-1>.

Urbanetz, Catia *et al.* Composição e distribuição de espécies arbóreas em gradiente altitudinal, Morraria do Urucum, Brasil. **Oecologia Australis**, v. 16, n. 4, p. 859-877, dez. 2012.

VALE. **Nossa História**. Rio de Janeiro: Vale, 2012.

VALE. **Memória da tecnologia da mineração em Itabira: da hematita ao itabirito compacto**. Rio de Janeiro: Vale, 2016.

Vassali, Maurício. **Variabilidade genética em populações de Mimosa acutistipula Mart. (Benth.) var. ferrea Barneby (Leguminosae) em vegetação de Canga na Amazônia**. Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. p. 60. 2014.

Viana, Pedro Lage *et al.* Flora das cangas da Serra dos Carajás, Pará, Brasil: Poaceae. **Rodriguésia**, Rio de Janeiro, 2018. 1311-1368.

Wills, Barry A.; Finch, James. **Wills' Mineral Processing Technology: An Introduction to the Practical Aspects of Ore Treatment and Mineral Recovery**. 8^a. ed. Butterworth-Heinemann, 2015.

Zago, Valéria Cristina Palmeira; Dores, Nathália Corrêa das; Watts, Beatriz Amanda. Strategy for phytomanagement in an area affected by iron ore dam rupture: A study case in Minas Gerais State, Brazil. **Environmental Pollution**, v. 249, p. 1029-1037, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2019.03.060>.

Zanchi, Carin Sgobi *et al.* Recovering Soils Affected by Iron Mining Tailing Using Herbaceous Species with Mycorrhizal Inoculation. **Water, Air & Soil Pollution**, v. 232, março 2021. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11270-021-05061-y>.

Zanchi, Carin Sgobi *et al.* Pre-cultivation with Herbaceous Plants Assists in the Revegetation Process of Iron Mining Tailings with *Enterolobium contortisiliquum*. **Water, Air & Soil Pollution**, v. 233, junho 2022. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11270-022-05696-5>.

APÊNDICES

APÊNDICE A
BASE DE DADOS

| Nº | ANO | AUTORES | REVISTA | INSTITUIÇÃO | ÁREA EXPERIMENTAL | TÍTULO | OBJETIVO | CONCLUSÃO | ESPÉCIES CITADAS | ORIGEM |
|----|------|---|----------------------------------|--|---------------------|---|--|---|--|--|
| 1 | 2008 | JACOBI, C. M. CARMO, F. F. VINCENT, R. C. | Revista Árvore | Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG) Departamento de Avaliação de Impacto Ambiental da Secretaria de Meio Ambiente do Estado de São Paulo. | Campo ferruginoso | Estudo fitossociológico de uma comunidade vegetal sobre canga como subsídio para a reabilitação de áreas mineradas no Quadrilátero Ferrífero, MG. | Caracterizar uma comunidade vegetal de afloramento ferruginosos quanto à sua estrutura fitossociológica e utilizar os dados obtidos, para indicar espécies nativas com potencial para utilização em programas de reabilitação de áreas degradadas pela mineração de ferro. | A lista de espécies a serem priorizadas em projetos de recuperação de áreas degradadas por mineração de ferro deveria incluir espécies facilitadoras, tolerantes a altas concentrações de metais pesados e espécies com crescimento clonal. Deve-se levar em conta a posição hierárquica que as espécies ocupam na comunidade de campos ferruginosos. Deve-se também eleger adicionalmente espécies importantes em comunidades vizinhas à área a ser recuperada. Recomenda-se a realização de novos levantamentos florísticos e fitossociológicos em campos ferruginosos do Quadrilátero Ferrífero, além de experimentos para avaliar o desempenho das espécies selecionadas, seja em viveiros, seja in situ. Recomenda-se, ainda, a utilização de espécies com rápido crescimento. No caso de orquídeas, recomenda-se a associação com micorrizas. | <i>Stachytarpheta glabra</i> Cham. <i>Lychnophora pinaster</i> Mart. <i>Mimosa calodendron</i> Mart. <i>Vellozia spp.</i> <i>Andropogon ingratus</i> Hack. <i>Bulbostylis fimbriata</i> C. B. Clarke <i>Sophronitis caulescens</i> Van den Berg & M. W. Chase <i>Sebastiania glandulosa</i> Mart. | Nativa Nativa Nativa Nativa Nativa Nativa Nativa |
| 2 | 2009 | GARCIA, L. C. BARROS, F. V. LEMO-FILHO, J. P. | Brazilian Journal of Biology | Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG) Universidade de São Paulo (USP) | Campo ferruginoso | Fenologia da frutificação como importante ferramenta na recuperação de áreas de mineração de ferro em Minas Gerais, Brasil. | Investigar o comportamento fenológico de quatro espécies de canga identificando sua contribuição relativa para a disponibilidade de frutas para fauna local. | O estudo do comportamento fenológico é uma ferramenta importante em programas de recuperação de áreas degradadas por permitir a seleção de espécies com dispersão em diferentes períodos. As espécies estudadas apresentaram o potencial de atrair animais ao longo de todo ano e o seu plantio para recuperação de áreas degradadas pela mineração de ferro no Quadrilátero Ferrífero pode aumentar o potencial de autorregeneração do ambiente. | <i>Alibertia vaccinioides</i> K. Schum. <i>Coccoloba acrostichoides</i> Cham. <i>Calytranthes sw</i> <i>Miconia sellowiana</i> Naudin | Nativa Nativa Nativa Nativa |
| 3 | 2009 | MATIAS, S. R. PAGANO, M. C. MUZZI, F. C. OLIVEIRA, C. A. CARNEIRO, A. A. HORTA, S. N. SCOTTI, M. R. | European Journal of Soil Biology | Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG) Vale S.A. EMBRAPA Milho e Sorgo | Cava a céu aberto | Efeito de rizóbios, fungos micorrízicos e microrganismos solubilizadores de fosfato na rizosfera de plantas nativas utilizadas na recuperação de uma área de minério de ferro no Brasil. | Avaliar o benefício de rizóbio e/ou fungos micorrízicos, assim como microrganismos solubilizadores de fosfato para o estabelecimento em campo de <i>C. coriaceum</i> e <i>T. multiflora</i> como estratégia para a recuperação de um campo ferruginoso degradado. | A dupla inoculação de rizóbios e fungos micorrízicos beneficiou o crescimento das plantas, aumentando o nitrogênio e o fósforo na biomassa vegetal, o que resultou na melhoria da disponibilidade de nutrientes no solo e do índice de sobrevivência, bem como da matéria orgânica e da capacidade de retenção de água. A inoculação de <i>C. coriaceum</i> e <i>T. multiflora</i> com rizóbios e/ou fungos micorrízicos associados a fungos solubilizadores de fosfato eficientes é desejável. A simbiose tripartida sinérgica é essencial para a recuperação de áreas rupestres e minas de minério de ferro. | <i>Centrosema coriaceum</i> Benth <i>Tibouchina multiflora</i> Gardner | Nativa Nativa |
| 4 | 2013 | ARAÚJO, I. C. S. COSTA, M. C. G. | Ecological Engineering | Universidade Federal do Ceará (UFC) | Barragem de rejeito | Padrão de acúmulo de biomassa e nutrientes em mudas de árvores leguminosas cultivadas em rejeitos de mineração adubados com resíduos orgânicos. | Avaliar o potencial dos resíduos orgânicos de fazendas de camarão para enriquecer rejeitos de mineração e, assim, melhorar o crescimento das plantas e o acúmulo de nutrientes. | Resíduos orgânicos de viveiros de camarão aumentam o acúmulo de nutrientes em árvores leguminosas quando utilizados para corrigir rejeitos de mineração de ferro. As espécies <i>M. caesalpiniaefolia</i> e <i>M. hostilis</i> apresentam maior potencial para acumular matéria seca na parte aérea, estimulando assim a ciclagem de nutrientes. Essas espécies também são favoráveis à remoção de Na de rejeitos de mineração de ferro corrigidos com resíduos orgânicos. A espécie <i>L. leucocephala</i> apresenta maior relação raiz/parte aérea, indicando melhor adaptação ao crescimento vegetal em ambientes de seca. | <i>Mimosa caesalpiniaefolia</i> Benth <i>Leucaena leucocephala</i> de Wit <i>Mimosa hostilis</i> Benth | Nativa Exótica Nativa |
| 5 | 2015 | JUNIOR, M. S. M. PEREIRA, I. M. MACHADO, E. L. M. | Bioscience Journal | Universidade de Brasília (UNB) Universidade Federal do Vale do | Floresta nativa | Espécies potenciais para a recuperação de áreas de floresta estacional semidecidual com exploração de minério de ferro na Serra do Espinhaço | Avaliar a flora arbustiva-arbórea em um fragmento de floresta estacional semidecidual a fim de agrupar as espécies pelas características ecológicas, de forma a subsidiar | A avaliação da flora arbustiva-arbórea dos compartimentos foi essencial para o conhecimento das possíveis espécies a serem utilizadas na revegetação de áreas degradadas por mineração de ferro em ecossistemas congêneres. A partir das características | | |

| Nº | ANO | AUTORES | REVISTA | INSTITUIÇÃO | ÁREA EXPERIMENTAL | TÍTULO | OBJETIVO | CONCLUSÃO | ESPÉCIES CITADAS | ORIGEM |
|----|------|--|---|---|---|---|--|--|---|--|
| | | MOTA, S. L. L. OTONI, T. J. O. | | Jequitinhonha e Mucuri (UFVJM) | | | futuras ações voltadas à recuperação de áreas degradadas pela exploração de mineiro de ferro em ecossistemas congêneres. | ecológicas das espécies é possível definir grupos funcionais que poderão ser utilizados na recuperação de áreas degradadas. | | |
| 6 | 2016 | FERNANDES, A. F. MAIA, A. C. MONTEIRO, J. F. S. CONDÉ, J. N. MARTINS, M. | European Ecological Federation | Parque Estadual da Serra do Rola Moça Vale S.A. | Cava a céu aberto | Panorama da translocação dos campos ferruginosos rupestres da mina Capão Xavier para o Parque Estadual da Serra do Rola Moça, Minas Gerais – Brasil | Fornecer uma lista das espécies translocadas da cava da mina Capão Xavier para o Parque Estadual da Serra do Rola Moça, e analisar sua composição florística e a sobrevivência das espécies translocadas. | | | |
| 7 | 2017 | RIOS, C. O. SOUZA, B. C. SIQUEIRA-SILVA, A. I. PEREIRA, E. G. | Polish Journal of Environmental Studies | Universidade Federal de Viçosa (UFV) | Cava a céu aberto | Avaliação da toxicidade do ferro em gramíneas tropicais com potencial para revegetação de áreas mineradas. | Identificar o grau de resistência das espécies, avaliar suas respostas fisiológicas e bioquímicas à toxicidade do ferro e facilitar a seleção ideal de espécies para a revegetação de áreas degradadas pela mineração de ferro. | As gramíneas <i>P. densum</i> e <i>E. crus-galli</i> apresentaram resistência significativa ao excesso de ferro em solução nutritiva, tornando-as espécies promissoras para uso na revegetação de áreas afetadas pela mineração de ferro. O mesmo resultado não foi observado para <i>H. rufa</i> , pois o acúmulo de grandes quantidades de ferro em seus tecidos foliares resultou em severos danos oxidativos, bem como em limitações na capacidade fotossintética. Dependendo das respostas fisiológicas e do acúmulo de ferro em <i>P. densum</i> e <i>E. crus-galli</i> , os mecanismos de resistência em resposta ao estresse por ferro são, provavelmente, tolerância e evasão. | <i>Paspalum densum</i> Poir. <i>Hyparrhenia rufa</i> (Nees) Stapf <i>Echinochloa crus-galli</i> (L.) P. Beauv | Nativa Exótica Exótica |
| 8 | 2018 | CARVALHO, J. M. RAMOS, S. J. NETO, A. E. F. GASTAUER, M. CALDEIRA, C. F. SIQUEIRA, J. O. SILVA, M. L. S. | Restoration Ecology | Instituto Tecnológico Vale Universidade Federal de Lavras (UFLA) | Pilha de estéril Campo ferruginoso | Influência do manejo de nutrientes no crescimento e na eficiência do uso de nutrientes em duas espécies vegetais para revegetação de áreas degradadas. | Comparar o desempenho de crescimento, os níveis de nutrientes e a eficiência de utilização de nutrientes da espécie endêmica <i>M. acutistipula</i> var. <i>ferrea</i> com a espécie ruderal <i>S. crinitum</i> em diferentes substratos naturais e antropogênicos associados às atividades de mineração de minério de ferro na Flona de Carajás, a fim de subsidiar atividades de reabilitação de áreas mineradas. | Espécies ruderais como <i>S. crinitum</i> podem apresentar crescimento mais rápido e cobrir uma área maior do que espécies nodrizas endêmicas de crescimento lento, como a <i>M. acutistipula</i> var. <i>ferrea</i> , embora esta última pareça estar mais bem adaptada ao baixo teor de nutrientes dos solos de canga. Como ainda não sabemos se o maior crescimento de <i>S. crinitum</i> beneficia ou prejudica as atividades de recuperação de áreas mineradas a longo prazo, pesquisas são necessárias para delinear os efeitos a longo prazo de <i>S. crinitum</i> em projetos de recuperação de áreas mineradas. | <i>Mimosa acutistipula</i> var. <i>ferrea</i> Barneby <i>Solanum crinitum</i> Lam. | Nativa Nativa |
| 9 | 2019 | ZAGO, V. C. P. DORES, N. C. WATTS, B. A. | Environmental Pollution | Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais (CEFET - MG) Leuphona University | Afetada por rompimento de barragem | Estratégia de fitogestão em área afetada por rompimento de barragem de minério de ferro: um estudo de caso no estado de Minas Gerais, Brasil | Apresentar a produção de biomassa e a concentração de elementos potencialmente perigosos em três espécies de gramíneas cultivadas em substrato contendo rejeitos de mineração provenientes de uma área afetada por desastre (distrito de Bento Rodrigues, município de Mariana, Brasil), com doses crescentes de matéria orgânica e com e sem micorrizas, como estratégia de fitogestão e também como fonte de renda para a população local. | A espécie <i>C. zizanioides</i> seria a mais recomendada para conter os sedimentos na área, evitando que sejam arrastados para os rios devido ao seu sistema radicular muito vigoroso. Suas partes aéreas podem ser utilizadas para a produção de óleo ou biomassa e suas mudas são fáceis de obter na região. O uso de matéria orgânica desempenhou um papel fundamental no desenvolvimento das plantas. A aplicação constante de matéria orgânica na área proporcionará maiores ganhos em biomassa vegetal e produção de óleo. Estudos que façam testes com as plantas em campo ou em associação com outros fertilizantes são necessário. Além disso, sugere-se estudos que avaliam a concentração de metais tóxicos na rizosfera e a produção dos óleos essenciais. | <i>Chrysopogon zizanioides</i> (L.) Roberty <i>Cymbopogon winterianus</i> Jowitt ex Bor <i>Cymbopogon citratus</i> (DC.) Stapf | Exótica Exótica Exótica |
| 10 | 2020 | CRUZ, F. V. S. GOMES, M. P. BICALHO, E. M. TORRE, F. D. | Ecotoxicology and Environmental Safety | Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG) Universidade Federal do Paraná (UFPR) | Afetada por rompimento de barragem | O lodo derramado pela Samarco prejudica o crescimento de árvores nativas da Mata Atlântica? | Avaliar como os rejeitos de minério de ferro do reservatório de Fundão afetam a germinação de sementes e o crescimento inicial de mudas de espécies arbóreas nativas da Mata Atlântica que ocorrem na região do desastre. | Os rejeitos de minério de ferro liberados pelo rompimento da barragem de Fundão interferem no crescimento de espécies vegetais nativas da Mata Atlântica. A redução no crescimento vegetal foi atribuída à limitação nutricional, causada pela baixa disponibilidade de nutrientes, baixo teor de matéria orgânica e baixa CTC dos rejeitos. Algumas espécies são mais adequadas para plantio em regiões afetadas pelo | <i>Albizia polycephala</i> (Benth.) Killip ex Record <i>Peltophorum dubium</i> (Spreng.) Taub. <i>Cyrtostachya antisyphilitica</i> (Mart.) Mart. <i>Handroanthus heptaphyllus</i> (Vell.) Mattos | Nativa Nativa Nativa Nativa |

| Nº | ANO | AUTORES | REVISTA | INSTITUIÇÃO | ÁREA EXPERIMENTAL | TÍTULO | OBJETIVO | CONCLUSÃO | ESPÉCIES CITADAS | ORIGEM |
|----|------|--|-------------------------------------|---|------------------------------------|---|--|--|---|-------------------------------|
| | | GARCIA, Q. S. | | Universidade Federal de Lavras (UFLA) | | | | rompimento da barragem, o que reforça a importância de estudos para a seleção de espécies a serem plantadas na área. A germinação da maioria das espécies testadas não foi afetada pelos rejeitos, e a fertilização com os rejeitos resultou em um aumento significativo no crescimento vegetal. Sugere-se o uso tanto de sementes quanto de mudas para o restabelecimento da flora na área afetada pelo derramamento de rejeitos. | <i>Handroanthus impetiginosus</i> (Mart. Ex DC.) Mattos | Nativa |
| 11 | 2020 | ESTEVES, G. F. SOUZA, K. R. D. BRESSANIN, L. A. ANDRADE, P. C. C. JÚNIOR, V. V. REIAS, P. E. SILVA, A. B. MANTOVANI, J. R. MAGALHÃES, P. C. PASQUAL, M. SOUZA, T. C. | Journal of Environmental Management | Universidade Federal de Alfenas (UNIFAL) Universidade José do Rosário Vellano (UNIFENAS) Universidade Federal de Lavras (UFLA) EMBRAPA Milho e Sorgo | Afetada por rompimento de barragem | O vermicomposto melhora o crescimento do milho, do painço e do sorgo em rejeitos de mineração de ferro. | O objetivo deste estudo foi verificar a influência do vermicomposto nas características morfofisiológicas do milho, milheto e sorgo cultivados em rejeitos de mineração de ferro. | Os rejeitos de mineração de ferro apresentaram altos níveis de Mn, Fe e Cr, além de alta densidade e pH, o que limitou o crescimento, o acúmulo de biomassa e a fisiologia das plantas cultivadas. O desempenho das plantas de milho demonstra sua maior tolerância ao cultivo em rejeitos de mineração de ferro em comparação com outras espécies. O vermicomposto melhorou o crescimento das plantas. estudos futuros em condições de campo são necessários para testar os efeitos do vermicomposto no crescimento e na produtividade das culturas quando cultivadas em rejeitos de mineração. Estudos futuros em condições de campo são necessário para testar os efeitos do vermicomposto no crescimento das plantas e na colheita quando cultivados em rejeitos de mineração. | <i>Zea mays</i> L. <i>Pennisetum glaucum</i> L. <i>Sorghum bicolor</i> L. | Exótica Exótica Exótica |
| 12 | 2020 | MATOS, L. P. ANDRADE, H. M. MARINATO, C. S. PRADO, I. G. O. COELHO, D. G. MONTTOYA, S. G. KASUYA, M. C. M. OLIVEIRA, J. A. | Water Air and Soil Pollution | Universidade Federal de Viçosa (UFV) | Afetada por rompimento de barragem | Limitações ao uso de <i>Cassia grandis</i> L. na revegetação de áreas impactadas por rejeitos de mineração da barragem de Fundão | Avaliar as alterações fisiológicas em <i>C. grandis</i> cultivada em rejeitos de mineração da barragem de Fundão e suas possibilidades de revegetação em áreas impactadas. | As plantas de <i>C. grandis</i> que crescem em rejeitos de mineração da barragem de Fundão não apresentam concentrações de chumbo, cádmio e arsênio nos tecidos, indicando uma baixa restrição química para o estabelecimento de plantas em áreas afetadas. Os aspectos morfofisiológicos das plantas são influenciados negativamente pelos rejeitos de mineração da barragem de Fundão, principalmente devido às características físicas do solo que comprometem o desenvolvimento das raízes e a disponibilidade de água, bem como a baixa disponibilidade de fósforo. O uso dessa planta deve ser acompanhado de manejos adequados, como adubações suplementares e redução da compactação na região de crescimento das raízes. | <i>Cassia grandis</i> L. | Nativa |
| 13 | 2020 | LARA, R. O. SILVA, M. A. P. OLIVEIRA, P. A. PEREIRA, I. M. GRAZZIOTTI, P. H. | Floresta | Universidade Federal do Vale do Jequitinhonha e Mucuri (UFVJM) | Cava a céu aberto | Crescimento de <i>Kiellmeyera rubriflora</i> inoculada com fungos micorrízais arbusculares em substratos de mineração de ferro | Avaliar a influência da inoculação com fungos micorrízicos arbusculares na sobrevivência e no crescimento de mudas de <i>K. rubriflora</i> em dois substratos provenientes da mineração de ferro. | A inoculação com fungos micorrízicos em plantas de <i>K. rubriflora</i> teve um efeito positivo no crescimento da espécie em ambos os substratos de mineração de ferro e é uma estratégia sugerida para plantações em áreas degradadas pela mineração de ferro. | <i>Kiellmeyera rubriflora</i> Cambess. | Nativa |
| 14 | 2020 | SOUSA, S. S. FREITAS, D. A. F. LATINI, A. O. SILVA, B. M. VIANA, J. H. M. CAMPOS, M. P. PEIXOTO, D. S. BOTULA, Y. | SN Applied Sciences | Universidade Federal de São João Del Rei (UFSJ) Universidade Federal de Lavras (UFLA) EMBRAPA Milho e Sorgo Quebec University | Cava a céu aberto | Áreas de mineração de minério de ferro e sua recuperação no estado de Minas Gerais, Brasil: impactos nas propriedades físicas do solo. | Avaliar os impactos da mineração de minério de ferro e sua recuperação nas propriedades físicas do solo no Parque Municipal de Fort Lauderdale e no Parque Municipal da Serra do Curral, Minas Gerais, Brasil. Além disso, testamos a Análise de Variabilidade do Solo (VSA) como um método rápido e fácil para avaliar a qualidade do solo. | O risco de erosão aumentou em uma área sem intervenção de recuperação, culminando em erosão em ravinas. A revegetação natural apresenta alto risco de erosão, apesar de apresentar teor de matéria orgânica do solo semelhante e maior disponibilidade de água e ar para as plantas em comparação com a floresta nativa. A revegetação por eucalipto aumentou o teor de matéria orgânica do solo e, portanto, apresentou estabilidade estrutural semelhante à da floresta nativa, bem como à maioria dos indicadores de porosidade. | <i>Eucalyptus grandis</i> W.Hill | Exótica |

| Nº | ANO | AUTORES | REVISTA | INSTITUIÇÃO | ÁREA EXPERIMENTAL | TÍTULO | OBJETIVO | CONCLUSÃO | ESPÉCIES CITADAS | ORIGEM |
|----|------|---|---------------------------------------|---|------------------------------------|---|--|--|---|--------------------------------------|
| 15 | 2021 | CALDEIRA, C. F. LIMA, M. O. RAMOS, S. J. GASTAUER, M. | Plants | Instituto Tecnológico Vale | Pilha de estéril | Gramíneas nativas da canga amazônica apresentam respostas distintas ao nitrogênio em substratos de mineração de ferro. | Avaliar as respostas de crescimento ao nitrogênio (N) em duas espécies de gramíneas perenes nativas da canga amazônica (<i>A. longispicus</i> e <i>P. cinerascens</i>) cultivadas em substratos de mineração pobres em nutrientes. | Ambas as espécies de gramíneas estudadas são capazes de crescer e se propagar em substratos de resíduos de mineração. A fertilização nitrogenada melhora o perfilhamento, o que protege o solo contra a erosão e garante a propagação e sobrevivência das espécies. A aplicação de N como fertilizante pode ser de suma importância para iniciar processos de recuperação, melhorando o crescimento de espécies nativas adaptadas a condições locais severas. Essas plantas são capazes de assimilar e depositar grandes quantidades de carbono no solo, sendo, portanto, candidatas promissoras para restaurar a ciclagem de nutrientes e acelerar o retorno de outras espécies e serviços ecossistêmicos. | <i>Axonopus longispicus</i> (Döll) Kuhl. <i>Paspalum cinerascens</i> (Döll) A.G.Burm. & C.N.Bastos | Nativa Nativa |
| 16 | 2021 | RAMOS, S. J. PINTO, D. A. GUEDES, R. S. DIAS, Y. N. CALDEIRA, C. F. GASTAUER, M. SOUZA-FILHO, P. W. FERNANDES, A. R. | Minerals | Instituto Tecnológico Vale Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará (UNIFESSPA) Universidade Federal Rural da Amazônia (UFRA) Universidade Federal do Pará (UFPA) | Cava a céu aberto | Biochar de açaí e composto afetam a sorção de fósforo, disponibilidade de nutrientes e crescimento de <i>Dioclea apurensis</i> em solo com mineração de ferro. | Investigar as alterações nas propriedades químicas do solo de mineração de ferro após a adição de biochar de açaí e composto orgânico, bem como avaliar seus efeitos na adsorção de fósforo e no crescimento de <i>D. apurensis</i> , que é nativa de Carajás. | A aplicação de biochar e composto orgânico aumentou a disponibilidade de elementos como Ca, Mg e K, elevou o pH e o teor de matéria orgânica dos substratos; entretanto, reduziu a disponibilidade de micronutrientes. Essas formas de biochar e composto orgânico não favoreceram o crescimento de <i>D. apurensis</i> , não sendo recomendado para recuperação de áreas degradadas envolvendo a espécie <i>D. apurensis</i> em rejeitos de mineração de Carajás, pois pode aumentar os custos e reduzir a cobertura do solo. A aplicação de biochar reduziu a capacidade de adsorção e aumentou a disponibilidade de P nos substratos, contribuindo para a disponibilidade de P a longo prazo. | <i>Dioclea apurensis</i> Kunth | Nativa |
| 17 | 2021 | REZENDE, L. A. L. FERNANDES, G. W. BRAGA, R. P. DIAS, L. E. GOMES, V. M. | Revista Brasileira de Ciência do Solo | Universidade Federal de Viçosa (UFV) Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG) Vale S.A. | Cava a céu aberto | A profundidade da camada superficial do solo influencia a recuperação de pastagens rupestres degradadas pela mineração. | Testar experimentalmente a aplicação de duas profundidades diferentes de solo superficial (0,20 e 0,40 m) em uma área degradada. | A utilização da camada superficial do solo tem demonstrado ser uma técnica eficaz, mas o manejo de espécies invasoras é essencial. A camada superficial de 0,20 m apresentou menor cobertura por espécies exóticas em comparação com a camada mais espessa. As espécies nativas <i>V. caruncularis</i> , <i>C. sp.</i> e <i>P. heteromallum</i> destacaram-se pelo seu desempenho neste experimento, sendo consideradas boas candidatas para plantio com fins de restauração em pastagens rupestres ferruginosas. Estudos que monitorem o estabelecimento e o desempenho das espécies na camada superficial do solo em longo prazo são necessários para aprimorar o conhecimento sobre a eficácia da técnica e identificar práticas complementares de restauração. | <i>Vellozia caruncularis</i> Mart. ex Seub. <i>Cupania sp.</i> <i>Pleroma heteromallum</i> (D. Don) D. Don | Nativa Nativa Nativa |
| 18 | 2021 | GASTAUER, M. RAMOS, S. J. CALDEIRA, C. F. SIQUEIRA, J. O. | Ecosphere | Instituto Tecnológico Vale | Cava a céu aberto | A reintrodução de plantas nativas indica o retorno dos serviços ecossistêmicos após a mineração de ferro no Maciço de Urucum. | Avaliar o processo inicial de reabilitação de áreas mineradas após a extração de minério de ferro no Maciço do Urucum, Mato Grosso do Sul, Brasil, a fim de criar uma base para futuras atividades de monitoramento. | Há maior diversidade de plantas nativas nas áreas em recuperação no Maciço Urucum do que em outros locais similares no mesmo bioma. Na área em recuperação há a dominância da espécie <i>A. grazielae</i> , endêmica do Maciço Urucum. Os esforços de plantio e semeadura podem resultar no estabelecimento de uma diversidade considerável de plantas nativas nas áreas mineradas. A presença de espécies exóticas invasoras indicam a necessidade de um maior controle sobre isso nos projetos de recuperação. | <i>Aspilia grazielae</i> J.U.Santos | Nativa Nativa Nativa Nativa |
| 19 | 2021 | JUNIOR, A. C. R. SILVA, A. O. BATISTA, E. R. NAVES, F. S. PINTO, F. A. SANTOS, J. V. | Cerne | Universidade Federal de Lavras (UFLA) | Afetada por rompimento de barragem | Atributos bioquímicos e estabelecimento de mudas de árvores no solo após o cultivo de <i>Urochloa decumbens</i> em solo com deposição de resíduos de mineração de ferro. | Avaliar o impacto da deposição de lama e rejeitos da mineração de ferro na atividade microbiana do solo e no estabelecimento de <i>U. decumbens</i> e espécies arbóreas com potencial para uso em processos de recuperação ambiental | A lama e os rejeitos da mineração de ferro não afetaram os indicadores biológicos biomassa microbiana e respiração basal, nem as espécies vegetais <i>U. decumbens</i> e <i>E. incanus</i> . Por outro lado, ambas as condições tiveram efeitos negativos na atividade da β -glucosidase, da glomalina e no desenvolvimento de plântulas de <i>S. terebinthifolius</i> . Portanto, a recuperação de áreas | <i>Urochloa decumbens</i> (Stapf) R.D.Webster <i>Schinus terebinthifolius</i> Raddi <i>Eremanthus incanus</i> (Less.) | Exótica Nativa Nativa |

| Nº | ANO | AUTORES | REVISTA | INSTITUIÇÃO | ÁREA EXPERIMENTAL | TÍTULO | OBJETIVO | CONCLUSÃO | ESPÉCIES CITADAS | ORIGEM |
|----|------|--|---|--|------------------------------------|---|--|---|--|---|
| | | BARBOSA, M. V. ALVARENGA, I. F. S. CARNEIRO, M. A. C. | | | | | | impactadas por resíduos da mineração de ferro considerar tanto as melhorias nas atividades biológicas e bioquímicas do solo, quanto a reintrodução de espécies vegetais mais adaptadas às novas condições do solo. | | |
| 20 | 2021 | RIOS, C. O. SIQUEIRA-SILVA, A. I. PEREIRA, E. G. | Environmental Science and Pollution Research | Universidade Federal de Viçosa (UFV) Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG) Universidade Federal do Oeste do Para (UFOPA) | Barragem de rejeito | Como a seca afeta a fotossíntese das gramíneas nativas na revegetação de rejeitos de minério de ferro? | Avaliar as respostas fotossintéticas à seca das gramíneas tropicais nativas <i>P. densum</i> e <i>S. parviflora</i> cultivadas em rejeitos de minério de ferro e em solo de referência. | Ambas as gramíneas apresentaram ajustes fotossintéticos e antioxidantes, que comprovam sua capacidade de serem cultivadas em rejeitos de minério de ferro e acumularam ferro acima do limiar fitotóxico. <i>P. densum</i> apresentou melhores respostas quando cultivada em rejeitos de minério de ferro, enquanto <i>S. parviflora</i> foi mais resistente ao estresse hídrico. Embora o estresse hídrico tenha resultado em diminuição das taxas fotossintéticas líquidas e dos índices de conteúdo de clorofila, esses efeitos da seca puderam ser revertidos rapidamente após a reidratação das plantas. A rápida recuperação das gramíneas nativas <i>P. densum</i> e <i>S. parviflora</i> confirma sua resistência ao estresse hídrico e seu potencial para a revegetação de solos minerados com alto teor de ferro, restrições sazonais e substratos pobres em nutrientes. | <i>Paspalum densum</i> Poir. <i>Setaria parviflora</i> (Poir.) Kerguelen | Nativa Nativa |
| 21 | 2021 | SOUZA, A. E. RIOS, C. O. ARAÚJO, T. O. SIQUEIRA-SILVA, A. I. SOUZA, J. P. PEREIRA, E. G. | Theoretical and Experimental Plant Physiology | Universidade Federal de Viçosa (UFV) Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG) Universidade Federal do Oeste do Para (UFOPA) | Cava a céu aberto | Será que uma gramínea tropical C4 ainda é uma opção viável para a revegetação de rejeitos de minério de ferro diante das mudanças climáticas? | Prever os efeitos da deposição de matéria particulada sólida de ferro em <i>P. densum</i> sob cenários futuros de mudanças climáticas com aumento de [CO ₂] atmosférico. | O estudo indica que <i>P. densum</i> possui uma maneira eficiente de dissipar o excesso de energia luminosa para evitar danos fotoinibitórios em condições de estresse por SPMFe, e o aumento na concentração de CO ₂ na atmosfera pode impactar positivamente a eficiência do fotossistema II. Portanto, <i>P. densum</i> exibiu mecanismos de resistência, apresentando alto potencial para revegetação de ambientes com altas concentrações de ferro e sujeitos à deposição de partículas, mesmo em cenários futuros de mudanças climáticas. | <i>Paspalum densum</i> Poir. | Nativa |
| 22 | 2021 | ZANCHI, C. S. BATISTA, E. R. SILVA, A. O. BARBOSA, M. V. PINTO, F. A. SANTOS, J. V. CARNEIRO, M. A. C. | Water Air and Soil Pollution | Universidade Federal de Lavras (UFLA) | Afetada por rompimento de barragem | Recuperação de solos afetados por rejeitos de mineração de ferro utilizando espécies herbáceas com inoculação micorrízica | Avaliar uma estratégia de recuperação do solo afetado por rejeitos de mineração de ferro utilizando espécies herbáceas com a inoculação de <i>A. morrowiae</i> . | O sistema de cultivo com três plantas herbáceas mostrou-se eficiente na produção de fitomassa e no estabelecimento inicial nos rejeitos da mineração de ferro. Portanto, sistemas com maior número de plantas herbáceas são uma alternativa viável para o processo de reabilitação de áreas impactadas pelo acidente. A inoculação com <i>A. morrowiae</i> não influenciou a produção de matéria seca pela parte aérea nem o acúmulo de elementos nas plantas herbáceas cultivadas nos rejeitos, mas diminuiu a respiração basal. O acúmulo de elementos químicos foi maior no cultivo de <i>U. ruziziensis</i> em associação com <i>C. spectabilis</i> e <i>G. abyssinica</i> , indicando o potencial dessas espécies na extração de elementos químicos contidos nos rejeitos da mineração de ferro. | <i>Cynodon dactylan</i> (L.) Pers. <i>Cajanus cajan</i> (L.) Huth <i>Neonotomia wightii</i> <i>Mimosa sp.</i> | Exótica Exótica Exótica Nativa |
| 23 | 2022 | CRUZ, F. V. S. GOMES, M. P. BICALHO, E. M. GARCIA, Q. S. | Environmental Science and Pollution Research | Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG) Universidade Federal do Pará (UFPA) | Afetada por rompimento de barragem | A fertilização garante a nutrição mineral, mas não elimina os efeitos do acúmulo de ferro em plantas cultivadas em rejeitos de minério de ferro. | Avaliar o desempenho de crescimento dessas duas espécies arbóreas nativas (<i>B. virgilioides</i> e <i>D. vandellianum</i>) em dois tratamentos: solo fertilizado e rejeitos fertilizados. | Mesmo garantindo níveis adequados de nutrientes importantes para o crescimento das plantas (N, P, K, Ca e Mg), a fertilização não reverteu o efeito negativo dos rejeitos em <i>B. virgilioides</i> e <i>D. vandellianum</i> . Neste caso, plantas recém-germinadas foram expostas aos rejeitos; entretanto, plantas mais velhas podem responder de forma diferente. Por ora, a alta concentração de Fe nos tecidos, associada à menor | <i>Bowdichia virgilioides</i> Kunth <i>Dictyoloma vandellianum</i> A. Juss. | Nativa Nativa |

| Nº | ANO | AUTORES | REVISTA | INSTITUIÇÃO | ÁREA EXPERIMENTAL | TÍTULO | OBJETIVO | CONCLUSÃO | ESPÉCIES CITADAS | ORIGEM |
|----|------|--|--|--|--|--|--|--|---|------------------------------------|
| | | | | Universidade Federal de Lavras (UFLA) | | | | produção de biomassa, menor altura da planta, menor área foliar, maior área foliar específica e menor teor de clorofila, indica um provável efeito fitotóxico do ferro presente nos rejeitos para <i>D. vandellianum</i> . Observamos, contudo, menor sensibilidade das plantas de <i>B. virgilioides</i> ao excesso de Fe nos rejeitos. Os resultados deste estudo servem de base para futuras avaliações de campo e experimentos de maior duração. | | |
| 24 | 2022 | NASCIMENTO, S. V. HERRERA, H. COSTA, P. H. TRINDADE, F. C. COSTA, I. R. C. CALDEIRA, C. F. GASTAUER, M. RAMOS, S. J. OLIVEIRA, G. VALADARES, R. B. S. | Environmental Research and Public Health | Instituto Tecnológico Vale Universidade Federal do Pará (UFPA) Universidad de La Frontera | Campo ferruginoso Cava a céu aberto | Mecanismos moleculares subjacentes ao sucesso da <i>Mimosa acutistipula</i> na reabilitação de áreas mineradas na Amazônia. | Identificar proteínas críticas nas respostas ao estresse ambiental nas raízes de <i>M. acutistipula</i> cultivada em canga | Este estudo demonstrou que mecanismos moleculares críticos sustentam o estabelecimento de <i>M. acutistipula</i> em áreas degradadas por mineração ao longo do tempo. Esses mecanismos, adquiridos no ecossistema de canga severa, explicam por que a <i>M. acutistipula</i> é uma das espécies nativas mais promissoras utilizadas em programas de recuperação de áreas degradadas por mineração na Amazônia Oriental. Estudos adicionais devem avaliar a presença de características moleculares específicas que possam auxiliar na compreensão da sobrevivência de espécies nativas utilizadas em programas de recuperação de áreas degradadas por mineração. | <i>Mimosa acutistipula</i> (Mart.) Benth | Nativa |
| 25 | 2022 | NASCIMENTO, S. V. COSTA, P. H. HERRERA, H. CALDEIRA, C. F. GASTAUER, M. RAMOS, S. J. OLIVEIRA, G. VALADARES, R. B. S. | Plants | Instituto Tecnológico Vale Universidade Federal do Pará (UFPA) Universidad de La Frontera | Cava a céu aberto Campo ferruginoso | Análises proteômicas e comunidades microbianas associadas à rizosfera revelam mecanismos adaptativos de <i>Dioclea apurensis</i> em áreas de mineração em processo de recuperação na Amazônia Oriental. | Analisar o perfil proteico das raízes de plantas de <i>D. apurensis</i> que crescem em áreas de mineração em processo de recuperação e identificar os microrganismos da rizosfera que contribuem para a adaptação delas nesses ambientes | Este estudo demonstrou que a espécie <i>D. apurensis</i> , cultivada em canga nativa, possui um conjunto de proteínas envolvidas na resposta ao estresse ambiental, permitindo-lhe lidar com os desafios do estresse abiótico. Sua capacidade de aumentar os níveis de uma ampla gama de proteínas em resposta às condições adversas de áreas pós-mineração favorece o estabelecimento da <i>D. apurensis</i> em áreas de mineração em recuperação. Destacam-se as proteínas envolvidas no sistema antioxidante, na resposta ao déficit hídrico, ao excesso de metais e à deficiência de fósforo. Além disso, a <i>D. apurensis</i> estabelece interações com táxons microbianos benéficos sem especificidade. Essas características podem ser identificadas em outras espécies nativas para selecionar e diversificar as espécies vegetais utilizadas na recuperação de áreas mineradas. | <i>Dioclea apurensis</i> Kunth | Nativa |
| 26 | 2022 | SCARPA, A. L. M. RODRIGUES, F. A. CRUZ, Y. C. DUARTE, V. P. CASTRO, E. M. PASQUAL, M. PEREIRA, F. J. | Seed Science Research | Universidade Federal de Lavras (UFLA) Universidade Federal de Alfenas (UNIFAL) | Afetada por rompimento de barragem | Germinação de sementes, crescimento inicial e anatomia foliar de mudas de quatro espécies arbóreas cultivadas em rejeitos de mineração no Brasil. | Investigar a capacidade de tolerar o cultivo em rejeitos de mineração, avaliando as características de germinação e crescimento das plântulas de duas espécies de <i>Schinus</i> e duas de <i>Handroanthus</i> | As espécies arbóreas <i>S. molle</i> , <i>S. terebinthifolius</i> , <i>H. serratifolius</i> e <i>H. impetiginosus</i> demonstram capacidade de germinação e crescimento adequado das mudas, possibilitando seu uso em sistemas de reflorestamento para áreas impactadas por rejeitos de mineração. Os rejeitos de mineração provenientes do rompimento da barragem de Fundão, em Mariana, Minas Gerais, Brasil, em 2015, apresentaram um leve efeito fitotóxico sobre sementes e mudas de espécies sensíveis, mas não causaram mortalidade. A alteração na capacidade de crescimento das mudas está relacionada às mudanças que os rejeitos de mineração causaram na espessura dos tecidos fotossintéticos das folhas, que modulam o crescimento. Essas alterações podem ser desfavoráveis, como observado no gênero <i>Handroanthus</i> , ou favoráveis, como observado no <i>Schinus</i> , mais tolerante. Períodos de exposição mais longos podem ser necessários para entender completamente a tolerância dessas espécies aos rejeitos de mineração. | <i>Schinus molle</i> L. <i>Schinus terebinthifolius</i> Raddi <i>Handroanthus serratifolius</i> (Vahl) S.Grose <i>Handroanthus impetiginosus</i> (Mart. ex DC.) Mattos | Nativa Nativa Nativa |

| Nº | ANO | AUTORES | REVISTA | INSTITUIÇÃO | ÁREA EXPERIMENTAL | TÍTULO | OBJETIVO | CONCLUSÃO | ESPÉCIES CITADAS | ORIGEM |
|----|------|---|------------------------------|---|------------------------------------|---|---|---|--|---|
| 27 | 2022 | ZANCHI, C. S. SILVA, A. O. BATISTA, E. R. PEIXOTO, D. S. BARBOSA, M. V. SANTOS, J. V. ALVARENGA, I. F. S. SILVA, B. M. CARNEIRO, M. A. C. | Water Air and Soil Pollution | Universidade Federal de Lavras (UFLA) | Afetada por rompimento de barragem | O pré-cultivo com plantas herbáceas auxilia no processo de revegetação de rejeitos de mineração de ferro com <i>Enterolobium contortisiliquum</i>. | Avaliar a contribuição do pré-cultivo com diferentes plantas herbáceas para o crescimento de <i>E. contortisiliquum</i> e para a melhoria das características físicas, químicas e biológicas dos rejeitos da mineração de ferro. | Pré-culturas de plantas herbáceas (<i>U. ruziziensis</i> , <i>C. spectabilis</i> e <i>G. abyssinica</i>) não influenciaram o crescimento de <i>E. contortisiliquum</i> e não alteraram as características físicas dos rejeitos da mineração de ferro. Os atributos físico-químicos dos rejeitos foram menos sensíveis do que os biológicos frente as pré-culturas. Os arranjos de pré-cultivo com <i>U. ruziziensis</i> e o consórcio de <i>U. ruziziensis</i> , <i>C. spectabilis</i> e <i>G. abyssinica</i> foram os que mais contribuíram para a melhoria dos atributos microbiológicos dos rejeitos, com aumentos no carbono da biomassa microbiana, na densidade de esporos, na atividade de hidrólise do diacetato de fluoresceína e na respiração microbiana. Os principais fatores de bioconcentração em <i>E. contortisiliquum</i> foram sódio, cobre, zinco, cromo e níquel, indicando o potencial dessa espécie para ser utilizada na revegetação de rejeitos. Sistemas complexos de revegetação com o cultivo de plantas herbáceas seguido de sucessão com <i>E. contortisiliquum</i> mostraram ser uma estratégia eficiente para o restabelecimento da cobertura vegetal e dos serviços ecossistêmicos em áreas de rejeitos de mineração de ferro. | <i>Urochloa ruziziensis</i> (R.Germ.& Evrard) Crins <i>Crotalaria spectabilis</i> Röth <i>Guizotia abyssinica</i> Cass. <i>Enterolobium contortisiliquum</i> (Vell.) Morong | Exótica Exótica Exótica Nativa |
| 28 | 2023 | BOANARES, D. SILVA, B. R. S. GASTAUER, M. RAMOS, S. J. CALDEIRA, C. F. | Acta Amazonia | Instituto Tecnológico Vale | Pilha de estéril | Baixa fertilização otimiza a eficiência do uso da água em uma gramínea de canga amazônica para a recuperação de áreas degradadas pela mineração. | Avaliar o crescimento de <i>P. cinerascens</i> no substrato remanescente da extração de minério de ferro em diferentes cenários de exigência nutricional. | Plantas de <i>P. cinerascens</i> foram capazes de crescer e prosperar em substratos de rejeitos de mineração, recebendo adubação completa ou pela metade do protocolo aplicado nos processos iniciais de reabilitação na Província Mineral de Carajás. Apesar do ganho em biomassa da parte aérea e número de folhas com a adubação completa, as plantas apresentaram menor eficiência no uso da água. Por outro lado, quando receberam metade do protocolo de adubação, as plantas apresentaram eficiência intrínseca no uso da água semelhante à de plantas cultivadas em solo de canga, enfatizando os benefícios da redução da aplicação de nutrientes em substratos de rejeitos de mineração para a reabilitação eficaz de áreas mineradas. A espécie apresentou poucas alterações anatômicas nas folhas nos diferentes tratamentos, utilizou os nutrientes de forma eficiente e economizou água, demonstrando alto potencial para proteger o solo tanto na estação seca quanto na chuvosa. Assim, sugerimos que metade da adubação atualmente aplicada seria suficiente para otimizar o crescimento e a persistência dessa espécie em protocolos de revegetação em Carajás. | <i>Paspalum cinerascens</i> (Döll) A.G.Burm. & C.N.Bastos | Nativa |
| 29 | 2023 | BORGES, P. H. C. SILVA, A. O. BENEVENUTE, P. A. N. SANTOS, J. V. BATISTA, E. R. CARVALHO, A. M. X. CARNEIRO, M. A. C. | Water Air and Soil Pollution | Universidade Federal de Lavras (UFLA) Universidade Federal de Viçosa (UFV) | Afetada por rompimento de barragem | A peletização e a fertilização melhoram o ambiente radicular em solos afetados por rejeitos da mineração de ferro. | Avaliar o efeito do condicionamento físico, pelo mecanismo de pelotização, em interação com a fertilização para melhorar o ambiente radicular para o crescimento e desenvolvimento de plantas em tecnossolo afetado pela deposição de rejeitos da mineração de ferro, provenientes da barragem de Fundão. | As alterações físicas causadas pela peletização proporcionam melhores condições de tecnossolo para o crescimento e desenvolvimento do eucalipto, além de potencializar o efeito da fertilização nessa planta. No entanto, restringem o crescimento de braquiária e feijão. Com fertilização adequada, as plantas tiveram menos dificuldade em se desenvolver nesse substrato em condições de vaso, que são mais restritivas para o sistema radicular. Portanto, o fator limitante para o crescimento de plantas em tecnossolo é a disponibilidade de nutrientes. É importante ressaltar que | <i>Urochloa brizantha</i> (Hochst. ex A.Rich.) R.D.Webster <i>Eucalyptus grandis</i> W.Hill <i>Phaseolus vulgaris</i> L. | Exótica Exótica Exótica |

| Nº | ANO | AUTORES | REVISTA | INSTITUIÇÃO | ÁREA EXPERIMENTAL | TÍTULO | OBJETIVO | CONCLUSÃO | ESPÉCIES CITADAS | ORIGEM |
|----|------|---|-------------------------------------|---|------------------------------------|---|---|---|--|--|
| | | SIQUEIRA, J. O. | | | | | | os experimentos foram conduzidos em condições ambientais controladas, visando promover o bom desenvolvimento das plantas. Entretanto, esse fato pode mascarar diversas limitações relacionadas ao comportamento físico-hídrico do tecnossolo. Portanto, pesquisas com testes de campo são necessárias para a validação e recomendação dos métodos de manejo empregados. No entanto, há uma crescente preocupação com o risco de erosão dos rejeitos e a lixiviação de fertilizantes que podem ser adicionados aos processos de revegetação realizados no local. | | |
| 30 | 2023 | COSTA, A. C. G. VASCONCELOS, L. V. LIMA, C. T. CALDEIRA, C. F. ZAPPI, D. C. GIULIETTI, A. M. WATANABE, M. T. C. | Plant Species Biology | Universidade Federal do Pará (UFPA) Universidade de Brasília (UNB) Instituto Tecnológico Vale | Campo ferruginoso | Fenologia reprodutiva de espécies vegetais nativas críticas para a restauração de áreas mineradas na Amazônia oriental. | Discutir e sugerir o uso de plantas anuais e perenes em projetos de restauração de áreas degradadas, os desafios relacionados às possíveis necessidades hídricas de ambos os grupos e o impacto que a indicação dos períodos apropriados para a coleta de sementes para a área degradada tem nos projetos em desenvolvimento em Carajás | Verificamos o período exato de floração e frutificação de diversas espécies prioritárias da canga amazônica que podem ser cruciais para a restauração de áreas degradadas pela mineração em Carajás. Os resultados forneceram informações importantes para apoiar o planejamento desses processos. Nossos resultados sugerem que o padrão sazonal de floração das 11 espécies nativas de canga pode depender dos eventos de precipitação em Carajás. Devido à possível importância da disponibilidade de água para a floração, sugerimos que a manutenção da disponibilidade de água no solo, semelhante à observada em áreas vizinhas e similares, seja considerada nos projetos de RDA. Determinar o mês de maio como o pico de frutificação imatura para as espécies monitoradas, com uma extensão para julho ou agosto, e a frutificação madura em junho fornece informações sobre a disponibilidade de sementes fisiologicamente qualificadas nas comunidades de canga de Carajás. Neste momento, é possível coletar sementes antes de sua dispersão no ambiente, herbivoria e/ou contaminação por fungos. | <i>Mandevilla tenuifolia</i> (J.C.Mikan) Woodson <i>Ipomoea cavalcantei</i> D.F.Austin <i>Ipomoea maurandioides</i> Meisn. <i>Ipomoea marabaensis</i> D.F.Austin & Secco <i>Bauhinia pulchella</i> Benth. <i>Mimosa acutistipula</i> var. <i>ferrea</i> Barneby <i>Mimosa skinneri</i> var. <i>carajarum</i> Barneby <i>Utricularia physoceras</i> P.Taylor <i>Cuphea carajasensis</i> Lourteig <i>Borreria semiamplexicaulis</i> E.L.Cabral <i>Vellozia glauca</i> Pohl | Nativa Nativa Nativa Nativa Nativa Nativa Nativa Nativa Nativa Nativa |
| 31 | 2023 | FREITAS, J. C. E. RESENDE, C. F. MIRANDA, J. B. SILVA, J. C. J. CÉSAR, D. E. NERY, F. C. PEIXOTO, P. H. P. | Brazilian Journal of Botany | Universidade Federal de Lavras (UFLA) Universidade Federal de Juiz de Fora (UFJF) Universidade Federal de São João del-Rei (UFSJ) | Afetada por rompimento de barragem | Avaliação dos efeitos ecofisiológicos dos rejeitos da mineração de ferro sobre o feijão-veludo: implicações para as limitações de crescimento com base na composição mineral e nas propriedades físico-químicas dos substratos de rejeitos e solo. | Investigar as restrições e estratégias ecofisiológicas de <i>M. pruriens</i> cultivada nos rejeitos da barragem de Fundão em comparação com a cultivada em solo fértil? | Os rejeitos da barragem de Fundão podem prejudicar o crescimento e a fisiologia de <i>M. pruriens</i> , comprometendo, assim, a recuperação da área impactada por essa espécie nativa. Atribuímos esses resultados às altas concentrações de Mn encontradas nos rejeitos e nos tecidos vegetais, que impactaram negativamente as características de troca gasosa. Assim, indicamos que atenção especial deve ser dada ao Mn em estudos futuros, pois nossos resultados o apontam como um contaminante ambiental problemático quando presente em altas doses. Para esclarecer como os rejeitos (e provavelmente a toxicidade do Mn) podem afetar o crescimento das plantas, novas perspectivas devem incluir abordagens histológicas, metabólicas e moleculares, bem como relacionar a assimilação de Fe e Mn nas raízes, caules e folhas. | <i>Mucuna pruriens</i> (L.) DC. | Nativa |
| 32 | 2023 | RIOS, C. O. SIQUEIRA-SILVA, A. I. PEREIRA, E. G. | Journal of Environmental Management | Universidade Federal de Viçosa (UFV) Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG) Universidade Federal do Oeste do Para (UFOPA) | Cava a céu aberto | Revegetação de áreas impactadas pela mineração com uma gramínea nativa tropical: restrições da sazonalidade climática e acúmulo de elementos-traço. | Desvendar os mecanismos pelos quais a grama <i>P. densum</i> supera a seca sazonal, as restrições nutricionais e o acúmulo de metais em seus tecidos. | As respostas de <i>P. densum</i> ao crescer em instalações de armazenamento de rejeitos garantem seu estabelecimento ao longo do processo de revegetação, mesmo com a ocorrência de déficit hídrico sazonal. Os ajustes fotossintéticos e antioxidantes garantiram a estabilidade de <i>P. densum</i> durante a estação seca e também demonstraram potencial para fitoextração de Zn, Mn, Ni e Cr em áreas impactadas pela mineração de minério de ferro e por outras atividades antrópicas. | <i>Paspalum densum</i> Poir. | Nativa |

| Nº | ANO | AUTORES | REVISTA | INSTITUIÇÃO | ÁREA EXPERIMENTAL | TÍTULO | OBJETIVO | CONCLUSÃO | ESPÉCIES CITADAS | ORIGEM |
|----|------|--|------------------------------|---|------------------------------------|--|---|---|---|----------------------------|
| 33 | 2023 | SILVA, V. N. BERNARDES, M. M. PEREIRA, A. A. S. FERREIRA, R. A. PEREIRA, E. G. BICALHO, E. M. | Water Air and Soil Pollution | Universidade Federal de Viçosa (UFV) Universidade Federal de Lavras (UFLA) | Barragem de rejeito | Preparação de sementes de <i>Handroanthus heptaphyllus</i> para a restauração de áreas de mineração. | Investigar se a aplicação de condicionamento em sementes resulta em respostas fisiológicas, bioquímicas e fotossintéticas durante o estabelecimento de plântulas em rejeitos de minério de ferro | A técnica de condicionamento em sementes nativas pode ser utilizada com diferentes finalidades em programas de recuperação de ambientes degradados, dependendo das condições aplicadas. Os principais efeitos do condicionamento foram observados nas plântulas, melhorando sua capacidade de estabelecimento em áreas de mineração, com alto controle contra danos oxidativos e aumento na absorção de Fe e Mg. Com estudos adicionais, a técnica de condicionamento poderá ser utilizada em práticas de restauração da cobertura vegetal em áreas degradadas pela atividade de mineração, inclusive com o objetivo de hidroextração e fitorremediação. | <i>Handroanthus heptaphyllus</i> (Vell.) Mattos | Nativa |
| 34 | 2024 | ALVES, M. C. NEVES, D. G. A. BICALHO, E. M. KUKI, K. N. PEREIRA, E. G. | Acta Botanica Brasilica | Universidade Federal de Viçosa (UFV) Universidade Federal de Lavras (UFLA) | Afetada por rompimento de barragem | Avaliação da viabilidade da utilização de <i>Acrocomia aculeata</i> (Arecaceae) para a recuperação de rejeitos de minério de ferro. | Avaliar o potencial de germinação de sementes de <i>A. aculeata</i> e as respostas fotossintéticas de plântulas estabelecidas em rejeitos de minério de ferro. | Em conclusão, a macaúba apresentou alta porcentagem de germinação e capacidade de estabelecimento de plântulas em rejeitos de minério de ferro. A fertilização com rejeitos superou as limitações físicas e principalmente químicas, resultando em aumento da biomassa foliar e total devido à maior assimilação de CO ₂ e eficiência fotoquímica. Portanto, como espécie nativa da Mata Atlântica semidecídua, a <i>A. aculeata</i> tem potencial para ser utilizada na recuperação de áreas impactadas pela deposição de rejeitos, devido às suas características fisiológicas e grande resistência. | <i>Acrocomia aculeata</i> (Jacq.) Lodd. ex Mart. | Nativa |
| 35 | 2024 | ARAUJO, B. D. MALA, R. A. BARBOSA, M. V. SILVA, F. T. MODOLO, L. V. NEGREIROS, D. FERNANDES, G. W. | Water Air and Soil Pollution | Universidade Estadual de Montes Claros (UNIMONTES) Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG) | Afetada por rompimento de barragem | Efeitos dos rejeitos de mineração na qualidade do solo e no desempenho de duas espécies nativas da Mata Atlântica: implicações para a restauração. | Identificar os níveis de diluição de rejeitos que permitem uma restauração ecológica eficaz com <i>D. costata</i> e <i>P. dubium</i> em áreas afetadas pela atividade de mineração. | Os resultados demonstram que <i>D. costata</i> e <i>P. dubium</i> exibiram uma resiliência notável, prosperando e crescendo com sucesso mesmo em ambientes altamente contaminados (até 100% de rejeitos de mineração). Como resultado, ambas provam ser candidatas altamente adequadas para a restauração de áreas devastadas por atividades de mineração de ferro. Dadas as suas características promissoras, é imprescindível priorizar a utilização de espécies nativas em detrimento de espécies exóticas que possam competir e interromper o processo de sucessão natural. No entanto, para garantir uma restauração bem-sucedida, é crucial realizar mais pesquisas abrangendo vários aspectos, incluindo o monitoramento dos estágios de desenvolvimento dessas plantas, a avaliação da viabilidade e produção de sementes, a avaliação da sua capacidade de se estabelecerem na comunidade ecológica e a avaliação da sua resiliência a estresses ambientais. | <i>Deguelia costata</i> (Benth.) A.M.G.Azevedo & R.A.Camargo <i>Peltophorum dubium</i> (Spreng.) Taub. | Nativa Nativa Nativa |
| 36 | 2024 | BORGES, P. H. C. SILVA, A. O. SANTOS, J. V. CARVALHO, A. M. X. CARNEIRO, M. A. C. SIQUEIRA, J. O. | Science and Agrotechnology | Universidade Federal de Viçosa (UFV) Universidade Federal de Lavras (UFLA) | Afetada por rompimento de barragem | Os condicionadores de solo melhoram o ambiente para o crescimento de grama em rejeitos de mineração de ferro resultantes do rompimento da barragem de Fundão. | Avaliar o uso de diferentes condicionadores de solo inorgânicos e orgânicos (areia, vermiculita, serragem e composto orgânico) como técnica de manejo para melhorar o ambiente e promover o crescimento de gramíneas (<i>Cynodon spp.</i>) em um tecnossolo formado pela deposição de rejeitos de mineração de ferro. | Os condicionadores de areia e vermiculita estimulam o crescimento de <i>Cynodon spp.</i> em Tecnosolos, melhorando as condições para o desenvolvimento das raízes. O composto orgânico, a serragem e a vermiculita melhoram a porosidade, reduzem a densidade, aumentam a matéria orgânica e ajustam o pH e a CTC (Capacidade de Troca Catiônica). A vermiculita aumenta notavelmente a biomassa vegetal e melhora a qualidade do solo, podendo ser recomendada para a recuperação de áreas impactadas por rejeitos de minério de ferro ou para a revegetação pós-mineração. No entanto, a promoção do crescimento proporcionada pelos condicionadores pode não justificar seu uso econômico em condições de campo. A fertilização do Tecnosolo por si só proporciona um crescimento vegetal satisfatório, potencialmente eliminando a necessidade de condicionadores. | <i>Cynodon spp.</i> | Nativa |

| Nº | ANO | AUTORES | REVISTA | INSTITUIÇÃO | ÁREA EXPERIMENTAL | TÍTULO | OBJETIVO | CONCLUSÃO | ESPÉCIES CITADAS | ORIGEM |
|----|------|---|--|---|---------------------------------------|---|---|--|--|--|
| | | PEREIRA, F. J. | | | | | | associada à redução na espessura dos tecidos fotossintéticos das folhas, no tamanho dos cloroplastos e no teor de clorofila, reduzindo assim a capacidade fotossintética. Mesmo assim, a espécie sobreviveu nos rejeitos e a estrutura interna das raízes foi mantida, demonstrando o potencial da espécie para cultivo em rejeitos e para o reflorestamento. Os rejeitos apresentaram a presença de elementos potencialmente tóxicos (alumínio, cádmio, cromo e chumbo), que podem estar relacionados à sua toxicidade; no entanto, macro e micronutrientes necessários às plantas também foram encontrados. Este trabalho focou na germinação de sementes e no crescimento inicial de plântulas, e trabalhos futuros devem se concentrar em experimentos que testem a adaptação das espécies em condições de campo, bem como o efeito de um tempo de exposição mais longo em rejeitos de mineração de ferro. | | |
| 41 | 2025 | SANTOS, T. R. S. TORRE, F. D. SANTOS, J. A. S. PEREIRA, E. G. GARCIA, Q. S. | Science of the Total Environment | Universidade Federal de Viçosa (UFV) Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG) | Afetada por rompimento de barragem | As relações de compromisso entre crescimento e tolerância moldam os resultados de sobrevivência e as estratégias ecofisiológicas das espécies da Mata Atlântica na recuperação de áreas impactadas pela mineração. | Avaliar o desempenho de seis espécies arbóreas nativas da Mata Atlântica, pertencentes a diferentes grupos funcionais, em uma área impactada por rejeitos de minério de ferro provenientes da barragem de Fundão, ao longo de três anos do processo de recuperação ambiental. | O desempenho a longo prazo das espécies arbóreas da Mata Atlântica em áreas impactadas pela mineração não esteve associado à sua classificação funcional, mas depende em grande parte de diferentes estratégias fisiológicas relacionadas às compensações entre crescimento e tolerância que devem ser consideradas em iniciativas de restauração. Mecanismos de reparo ou estratégias de evasão que demandam alta energia foram empregados com sucesso pelas espécies com maior taxa de sobrevivência, contribuindo para sua resiliência na área impactada. O controle da homeostase do Fe foi um aspecto chave para a maior taxa de crescimento relativo das espécies resilientes. A eficiente reabsorção de nutrientes das folhas senescentes para as folhas jovens em espécies resilientes também contribuiu para a superação da limitação nutricional. Compreender as características lógicas ligadas a estratégias de desempenho aprimoradas em espécies nativas de diferentes grupos sucessionais pode apoiar a diversidade funcional e impulsionar os serviços ecossistêmicos na restauração de áreas impactadas pela mineração. | <i>Anadenanthera colubrina</i> (Vell.) Brenan <i>Peltophorum dubium</i> (Spreng.) Taub. <i>Cedrela fissilis</i> Vell. <i>Handroanthus impetiginosus</i> (Mart. ex DC.) Mattos <i>Handroanthus serratifolius</i> (Vahl) S.Grose | Nativa Nativa Nativa Nativa Nativa |