



UFOP



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO

Universidade Federal de Ouro Preto

Escola de Minas – Departamento de Engenharia Ambiental

Curso de Graduação em Engenharia Ambiental

---



**POTENCIAL FITORREMEIADOR DO ALECRIM DO  
CAMPO (*BACCHARIS DRACUNCULIFOLIA*) EM  
REJEITOS DA MINERAÇÃO DE FERRO NO SOLO DO  
PDER DA SAMARCO.**

**Iago Ramos Torres**

**Ouro Preto**

**2023**

**Iago Ramos Torres**

**POTENCIAL FITORREMEIADOR DO ALECRIM DO  
CAMPO (*BACCHARIS DRACUNCULIFOLIA*) EM  
REJEITOS DA MINERAÇÃO DE FERRO NO SOLO DO  
PDER DA SAMARCO.**

Trabalho Final de Curso apresentado como parte dos requisitos para obtenção do Grau de Engenheiro (a) Ambiental na Universidade Federal de Ouro Preto.

Area de concentração: Engenharia Ambiental

Orientador (a): Prof. Sandra de Paula Lima de Moura

Data da aprovação: 18/08/2023

**Ouro Preto**

**2023**

## SISBIN - SISTEMA DE BIBLIOTECAS E INFORMAÇÃO

T693p Torres, Iago Ramos.  
Potencial fitorremediador do alecrim do campo (*Baccharis dracunculifolia*) em rejeitos da mineração de ferro no solo peder da Samarco.. [manuscrito] / Iago Ramos Torres. - 2023.  
81 f.

Orientadora: Profa. Dra. Sandra Aparecida Lima Moura.  
Monografia (Bacharelado). Universidade Federal de Ouro Preto. Escola de Minas. Graduação em Engenharia Ambiental .

1. Biodegradação Ambiental. 2. Metais Pesados. 3. Pilha de estéril. 4. Resíduos. I. Moura, Sandra Aparecida Lima. II. Universidade Federal de Ouro Preto. III. Título.

CDU 504

Bibliotecário(a) Responsável: Soraya Fernanda Ferreira e Souza - SIAPE: 1.763.787



## FOLHA DE APROVAÇÃO

Iago Ramos Torres

### POTENCIAL FITORREMEIADOR DO ALECRIM DO CAMPO (*BACCHARIS DRACUNCULIFOLIA*) EM REJEITOS DA MINERAÇÃO DE FERRO NO SOLO PDR DA SAMARCO

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

Aprovada em 18 de Agosto de 2023

#### Membros da banca

Profa. Dra. Sandra Aparecida Lima de Moura - Universidade Federal de Ouro Preto  
Profa. Dra. Livia Cristina Pinto Dias - Universidade Federal de Ouro Preto  
Profa. Dra. Camila Stefanne Dias Costa - Universidade Federal de Ouro Preto

Sandra Aparecida Lima de Moura, orientador do trabalho, aprovou a versão final e autorizou seu depósito na Biblioteca Digital de Trabalhos de Conclusão de Curso da UFOP em 23/08/2023



Documento assinado eletronicamente por **Sandra Aparecida Lima de Moura, PROFESSOR DE MAGISTERIO SUPERIOR**, em 19/09/2023, às 20:41, 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](http://sei.ufop.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0), informando o código verificador **0591997** e o código CRC **8875048C**.

*Dedico este trabalho a minha mãe Ângela  
Cátia Ramos da Fonseca,  
pela ajuda para realização desse sonho e  
por todo suporte,  
A fé na vitória tem que ser inabalável!!  
Muito obrigado por tudo!*

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a Deus e a São Miguel Arcanjo pela oportunidade de chegar até aqui, finalizando mais uma etapa da minha trajetória com sucesso e muito aprendizado.

.Uma menção especial para a minha mãe, a pessoa que sempre sonhou esse sonho junto comigo de me tornar engenheiro ambiental, Ângela Cátia Ramos da Fonseca o quanto a gente não vivenciou junto para chegar até aqui, muito obrigado por tudo.

Aqui fica um agradecimento muito sincero pela paciência, pelos puxões de orelha e pelo ensinamento da Prof. Sandra Aparecida Lima de Moura, minha querida orientadora, sou muito grato pelos meses que vivenciamos juntos para elaboração deste trabalho.

Não poderia deixar de lembrar dos meus família e amigos sempre um suporte muito importante nesta caminhada de anos de graduação, meus tios, tias, primas e primos, meus colegas de graduação e aos companheiros da vida.

Agradeço também a todos professores da Universidade Federal de Ouro Preto, em especial aos professores do Departamento de Engenharia Ambiental, pelos ensinamentos e conhecimentos de qualidade transmitidos.

Agradeço aos membros da banca examinadora, pelo interesse e disponibilidade.

E, por fim, agradeço a todos aqueles que de alguma forma contribuíram para minha formação como Engenheiro Ambiental.

## RESUMO

A mineração de ferro atualmente é um dos principais propulsores da economia no Brasil. Entretanto, por sua própria característica extrativista, como consequência, promove a degradação e a poluição do solo, gerando um enorme passivo ambiental. De forma a minimizar os impactos dessas atividades ao meio ambiente as empresas mineradoras estão sujeitas há alguns protocolos exigidos pelos órgãos de controle do meio ambiente (PNMA, Lei nº 6.938/1981), que atuam de forma a fiscalizar e modular os impactos gerados sem, contudo, conseguir restaurar a natureza as condições originais. Em resposta a essa exigência, a Samarco mineradora desenvolveu uma proposta para estocagem de rejeitos com a criação do PDER (Pilha de Disposição de estéril e rejeito) onde 80% do rejeito gerado é empilhado a seco no local evitando assim o surgimento de novas barragens. No presente trabalho foram feitas revisões bibliográficas e uma pesquisa de campo para avaliar o potencial fitorremediador do alecrim do campo (*Baccharis Dracunculifolia*) em rejeitos da mineração de ferro no solo PDER da Samarco. Nossos resultados demonstraram que as amostras de solo do PDER Alegria Sul da Samarco apontam a presença de metais altamente tóxicos, porém em baixas concentrações no local. O local de estudo atende às necessidades nutricionais, às exigências climáticas e às condições geográficas para o desenvolvimento da planta, cuja identificação já foi constatada *in loco* na área de estudo. A *Baccharis Dracunculifolia* é capaz, por suas características próprias, de fitorremediar o solo estudado, conforme demonstrado nos dados bibliográficos armazenando os metais pesados estudados e presentes no solo em suas raízes e folhas podendo ainda vir a ser implantada em estudos futuros como estratégia fitomerredidora e de tecnologia social por meio do estabelecimento da apicultura e do uso da sua resina pelas abelhas para produção de própolis verde em parceria com a população local.

**Palavras chaves:** *Baccharis Dracunculifolia*; fitorremediação; pilha disposição estéril e rejeito; metais altamente tóxicos.

## ABSTRACT

Iron mining is currently one of the main drivers of the economy in Brazil. However, due to its extractive nature, it consequently leads to soil degradation and pollution, resulting in a significant environmental liability. In order to minimize the impacts of these activities on the environment, mining companies are subject to protocols required by environmental regulatory agencies (National Environmental Policy Act, Law No. 6.938/1981), which aim to monitor and regulate the generated impacts, but often fall short of fully restoring the original natural conditions. In response to these requirements, the mining company Samarco has developed a proposal for waste storage through the creation of the PDER (Sterile and Waste Disposal Pile), where 80% of the generated waste is stacked in dry manner, thus avoiding the creation of new dams.

In present study, literature review and field research were conducted to assess the phytoremediation potential of "alecrim do campo" (*Baccharis dracunculifolia*) in iron mining waste on the PDER soil of Samarco. Our results demonstrated that soil samples from the PDER Alegria Sul of Samarco show the highly toxic metals, albeit in low concentrations at the site. The study site meets the plant's nutritional needs, climatic requirements, and geographical conditions for its development, as its identification has already been confirmed in the study area. *Baccharis dracunculifolia*, due to its specific characteristics, is capable of phytoremediation the studied soil, as indicated by bibliographic data, by storing heavy metals from the soil in its roots and leaves. Furthermore, it could potentially be implemented in future studies as a phytoremediation strategy and social technology, establishing beekeeping and the use of its resin by bees for the production of green propolis in partnership with local population.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Dados de barragens no Brasil em 2023 .....	18
Figura 2 - Mecanismos usados pelas plantas no processo de fitorremediação.....	32
Figura 3 - Processo de fitorremediação .....	34
Figura 4 - Baccharis Dracunculifolia em estado de inflorescência .....	35
Figura 5 - Fluxograma problemático do trabalho .....	38
Figura 6 - Fluxograma metodológico elaboração do trabalho .....	39
Figura 7 - Esquema simplificado P.D.E.R.....	41
Figura 8 - Amostra do solo PDER sendo coletada para análise laboratorial .....	44
Figura 9 - Porcentagem de germinação de sementes de B.Dracunculifolia em diferentes concentrações de arsênio.....	48
Figura 10 - Análise de arsênio total em áreas amostradas em Nova Lima - MG. .....	49
Figura 11 - Concentração de As folhas e caule. ....	50
Figura 12 - - Variação da biomassa de folhas, caule, raízes e biomassa total das plantas de Baccharis dracunculifolia cultivadas sob diferentes concentrações de arsênio (médias e erro padrão) .....	50
Figura 13 - Efeito geral do Arsênio nas folhas de Baccharis Dracunculifolia.....	54
Figura 14 - Possível ocorrência de Baccharis Dracunculifolia no PDER Samarco. .....	55
Figura 15 - Localização PDER Samarco .....	60
Figura 16 - Cava Sul da Samarco Mineração .....	61
Figura 17 - Prédio de filtragem .....	62

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Custo da fitorremediação comparada a outras tecnologias. ....	29
Tabela 2 - Biomassa da planta .....	51
Tabela 3 - Interpretação da análise do solo.....	56
Tabela 4 - Dados metais altamente tóxicos e de ferro PDER Samarco.....	57

## LISTA DE SIGLAS

ABNT	Associação brasileira de normas técnicas
AIA	Avaliação de impacto ambiental
ATP	Adenosina trifosfato
CONAMA	Conselho nacional do meio ambiente
EIA	Estudo de impacto ambiental
NEPA	National Environmental Impact Assessment
ONU	Organização das Nações Unidas
PDER	Pilha disposição de estéril e rejeito
PNMA	Política nacional do meio ambiente
PRADE	Plano de recuperação de área degradadas
RCC	Resíduos da Construção Civil
RIMA	Relatório de impacto ambiental
SIBCS	Sistema brasileiro de classificação de solos
SNISB	Sistema Nacional de Informações sobre Segurança de Barragens

## SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO .....	13
2. OBJETIVO GERAL .....	17
2.1. Objetivos Específicos .....	17
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	17
4. MINERAÇÃO DE FERRO EM MINAS GERAIS.....	18
4.1 Impactos ambientais causados pela atividade minerária .....	18
4.1.2 Tipos de rejeitos obtidos após a mineração .....	21
5. A DEGRADAÇÃO DO SOLOS .....	22
5.1. Característica dos solos das áreas mineradas .....	22
5.2. Estratégias de tratamento do solo degradado pela mineração de ferro ...	24
5.2.1. USO DE PLANTAS E MICRORGANISMOS COMO ESTRATÉGIAS DE RECUPERAÇÃO DO SOLO DEGRADADO .....	27
5.2.2. Fitorremediação e biorremediação .....	28
5.2.3. A <i>baccharis dracunculifolia</i> .....	34
5.2.4. Potencial fitorremediador da <i>baccharis dracunculifolia</i> .....	37
6. MATERIAIS E MÉTODOS .....	38
6.1. Local de estudo .....	40
7. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	41
7.1. CARACTERIZAÇÃO FÍSICA E QUÍMICA DAS AMOSTRAS DE SOLO DE MINERAÇÃO DE FERRO, ONDE SÃO DEPOSITADOS OS REJEITOS DA	

MINERAÇÃO NO PDER ALEGRIA SUL (PILHA DE DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITOS FILTRADOS) .....	42
7.1.1. Tipos de solo .....	42
7.1.2. Caracterização do solo típico da mineração de ferro .....	43
7.1.3. Caracterização do solo PDER .....	43
8. AVALIAÇÃO DAS NECESSIDADES NUTRICIONAIS, AS EXIGÊNCIAS CLIMÁTICAS E CONDIÇÕES GEOGRÁFICAS DE OCORRÊNCIA DA <i>BACCHARIS DRACUNCULIFOLIA</i> *(ALECRIM DO CAMPO) NA REGIÃO DO QUADRILÁTERO FERRÍFERO.....	45
8.1. Locais onde a planta tem maior facilidade de ocorrência .....	45
8.2. Condições nutricionais e climáticas para o desenvolvimento da planta	46
8.3. Análise desenvolvimento da planta na presença de metal tóxico.....	48
8.4. Características da planta quando exposta a metais altamente tóxicos	51
Avaliação do potencial de fitorremediação dos cultivares de Alecrim do campo nos solos da mineração de ferro.....	54
8.5. ....	54
8.6. Características gerais do local de estudo PDER Alegria Sul (Pilha de Disposição de Estéril e Rejeitos Filtrados).....	59
9. RESUMO DE RESULTADOS.....	63
10. CONCLUSÃO .....	64

## 1. INTRODUÇÃO

O conceito de meio ambiente se dá entre três relações ambientais específicas, sendo elas: seres não vivos, seres vivos e os seres humanos. Sendo assim, é importante ter atenção e planejamento entre essas três variáveis, para um meio ambiente equilibrado. (GERALDINO, 2014). O cuidado com o meio ambiente está cada dia mais criterioso e eficaz (ARRUDA JULIANO, 2015), com isso entende-se como funciona o meio em que se habita para podermos nos adaptar a ele de forma a causarem o menor dano possível ao mesmo. Nas principais atividades produtivas do país, é inevitável não haver algum malefício para com o local que está sendo executado a tarefa, principalmente quando o assunto é a mineração de ferro.

A atividade é um dos carros chefes para economia no Brasil, este tipo de exploração é um dos principais causadores de degradação e poluição no país, gerando principalmente impactos no solo e impactos visuais (AGUIAR, 2013). De forma a minimizar os impactos dessas atividades ao meio ambiente, alguns protocolos são determinados à empresa pelos órgãos de controle do meio ambiente (PNMA, Lei nº 6.938/1981), que atuam de forma a fiscalizar e modular os impactos gerados sem, contudo, conseguir restaurar a natureza às condições originais.

A recuperação de áreas degradadas é exigida na Política Nacional do Meio Ambiente, a Lei nº 6.938, de 31/08/1981, a qual determina em seu artigo 2º - A Política Nacional do Meio Ambiente, a preservação, melhoria e recuperação da qualidade ambiental propícia à vida, visando assegurar, no País, condições ao desenvolvimento socioeconômico, aos interesses da segurança nacional e à proteção da dignidade da vida humana, atendendo aos seguintes princípios: VIII - recuperação de áreas degradadas”, deste artigo, foi editado o Decreto nº 97.632, de 10/04/1989, o qual traz as regulamentações desta recuperação. Ele prevê em seu artigo 1º que “os empreendimentos que se destinam à exploração de recursos minerais deverão,

quando da apresentação do Estudo de Impacto Ambiental – EIA e do Relatório de Impacto Ambiental - RIMA, submeter à aprovação do órgão ambiental competente o Plano de Recuperação de Área Degradada - PRAD.” Em seu artigo 2º, o documento traz a definição de degradação: “Para efeito deste Decreto são considerados como degradação os processos resultantes dos danos ao meio ambiente, pelos quais se perdem ou se reduzem algumas de suas propriedades, tais como a qualidade ou capacidade produtiva dos recursos ambientais”. E em seu artigo 3º: “A recuperação deverá ter por objetivo o retorno do sítio degradado a uma forma de utilização, de acordo com um plano preestabelecido para uso do solo, visando à obtenção de uma estabilidade do meio ambiente”.

Os impactos causados pela mineração de ferro, na maioria das são causados pelo homem e, raramente, esse tipo de degradação ocorre de forma natural, ou seja, pelo próprio processo natural do meio ambiente. (BITAR, 1997).

Os principais impactos ambientais causados pela mineração de ferro atualmente se dão por poluição visual, poluição sonora, impacto direto na questão da qualidade da água e do solo, extinção da flora e fauna local. Falando também do assoreamento dos rios, neste caso as barragens de rejeitos têm influência direta. (BITAR, 1997).

Segundo o SNISB, 23.980 mil barragens estão cadastradas, porém, apenas 23,61% estão submetidas à lei, isso gira em torno de 5.663 mil barragens. Podendo

ser classificadas quanto à categoria de risco, entre alto, médio, baixo, não classificadas e não se aplica. Sendo assim a maior parte delas classificadas como não classificadas, cerca de 14,9 mil barragens de rejeito.

Dentre os principais impactos causados pelos atuais rompimentos de barragens no Brasil, um dos principais foi o rompimento da barragem de fundão em Mariana-MG, que causou impacto social, afetando a população ribeirinha de forma direta, como por exemplo, os pescadores que utilizavam a bacia do o Rio doce como fonte de renda e que foram impossibilitados de manter a sua atividade (VIANA, 2016).

Laudos mostram que 41 municípios foram afetados diretamente, do município de Mariana até a foz do Rio Doce (SisRGP). A degradação da cobertura vegetal traz grandes impactos para o solo, causando erosão hídrica, eólica e a lixiviação de contaminantes para o lençol freático. Estudos têm sido realizados de modo a interagir conhecimentos que tragam a reabilitar o solo degradado por metais pesados por intervenção de plantas com características de adsorção desse material, ditas plantas fitorremediadoras. (GOMES, 2009).

Atualmente as empresas de mineração de ferro, cobradas por meio de medidas judiciais, têm expressado maior preocupação em relação às causas e impactos que podem causar ao meio ambiente, o que tem gerado espaço para o desenvolvimento de estratégias tecnológicas, sociais e econômicas no atual contexto minerário (SEHNEM,2014). Essa nova abordagem estuda formas de reduzir os prejuízos causados à sociedade (de forma direta e indireta), ao meio ambiente e conseqüentemente a implementação de medidas que atuem a curto, médio e longo prazo, para reduzir os impactos gerados pela atividade como um todo e na recuperação das áreas degradadas (AGUIAR, 2013).

Dentre as novas técnicas que estão sendo desenvolvidas, o uso de barragens a seco é uma tendência para os próximos anos no Brasil sendo que a construção de novas barragens de rejeito da mineração de ferro já não é umas das principais opções

pelo fato dos acidentes ocorridos atualmente que causaram grandes impactos para a sociedade e meio ambiente (CAETANO, 2021).

Novas tecnologias estão sendo desenvolvidas de maneira a avançarmos no processo de recuperação de áreas degradadas na área de mineração de ferro. Como acima descrito, em função do grande impacto ambiental produzido pela atividade minerária, métodos de recuperação mais eficazes e de rápido resultado, vem sendo estudados e aplicados, envolvendo uma gama de ações em conjunto na tentativa de restaurar o ambiente as condições próximas da natureza local (RUSSO, 2014).

Um exemplo dessas metodologias que vêm sendo desenvolvidas na recuperação de áreas degradadas pela mineração de ferro, no tocante aos danos causados ao solo, é a chamada biorremediação, que é caracterizada pelo uso de algum ou alguns tipos de microrganismos que se adaptam ao solo contaminado e por meio de mecanismos específicos, auxiliam na regeneração do solo. (CRISTIANO SANTOS, 2013).

Outros estudos têm evidenciado que estratégias de fitorremediação podem ser grandes aliadas no processo de recuperação do solo de áreas degradadas da mineração de ferro e podem ser aplicadas, levando-se em consideração características tais como: tipo de substrato do solo, condições climáticas, adaptabilidade e endemia da planta a ser utilizada como ferramenta de recuperação. A associação de tais características pode apresentar inúmeras vantagens como: maior viabilidade nos plantios, maior cobertura vegetal da área e conseqüente redução dos custos com manutenção e controle de pragas. (CRISTIANO SANTOS, 2013).

Dessa forma o presente projeto propõe um estudo de revisão bibliográfica do recurso fitorremediador do Alecrim do campo (*Baccharis Dracunculifolia*), planta endêmica na região do quadrilátero ferrífero aplicada como estratégia de recuperação ambiental nas áreas degradadas da mineração de ferro.

## **2. OBJETIVO GERAL**

Realizar uma revisão bibliográfica sobre o uso e aplicação da *Baccharis Dracunculifolia* como recurso fitorremediador no solo dos rejeitos de minério de ferro nas áreas degradadas da mineração do quadrilátero ferrífero.

### **2.1. Objetivos Específicos**

1. Caracterizar física e quimicamente as amostras de rejeitos da mineração no PDER Alegria Sul (Pilha de Disposição de Estéril e Rejeitos Filtrados);
2. Avaliar as necessidades nutricionais, as exigências climáticas e condições geográficas de ocorrência da *Baccharis Dracunculifolia* (Alecrim do campo) na região do quadrilátero ferrífero;
3. Avaliar potencial de fitorremediação dos cultivares de Alecrim do campo nos solos da mineração de ferro;
4. Características gerais do local de estudo PDER Alegria Sul (Pilha de Disposição de Estéril e Rejeitos Filtrados).

## **3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

No presente capítulo serão abordados e discutidos termos que representam e caracterizam o alecrim do campo (*Baccharis Dracunculifolia*) e as possíveis estratégias fisiológicas utilizadas pela planta e que podem exercer o efeito fitorremediador com relação ao solo das áreas degradadas pela mineração de ferro.

## 4. MINERAÇÃO DE FERRO EM MINAS GERAIS

### 4.1 Impactos ambientais causados pela atividade minerária

Os impactos das atividades minerárias podem ter grande importância ambiental, social, e à saúde humana ou o conjunto desses fatores (GOMIDE, 2018). Esses impactos podem perdurar por baixo, médio ou longo prazo dependendo de como ocorreu, e quais foram as ferramentas utilizadas para recuperação da área degradada (CADERNO DA GEOGRAFIA, 2016). Na figura 1 os dados de barragens no Brasil em 2023 como mencionado anteriormente.

Figura 1 - Dados de barragens no Brasil em 2023.



Fonte: SNISB (2023).

Com a preocupação de como se dava esse processo de impactos ambientais, foi desenvolvido nos Estados Unidos da América, o licenciamento ambiental que começou a ser conhecido em 1969 por uma lei federal americana NEPA (National Environmental Impact Assessment) e logo depois disso, outros países começaram a fazer o mesmo (HONAISSER, 2009).

No Brasil a lei que começou a dar diretrizes ao meio ambiente foi a Lei Federal 6.938/1981, dita a Lei da P.N.M.A (Política Nacional de Meio Ambiente), que no seu artigo segundo cita os seguintes aspectos:

Art 2º - A Política Nacional do Meio Ambiente tem por objetivo a preservação, melhoria e recuperação da qualidade ambiental propícia à vida, visando assegurar, no País, condições ao desenvolvimento socioeconômico, aos interesses da segurança nacional e à proteção da dignidade da vida humana, atendidos os seguintes princípios:

I - ação governamental na manutenção do equilíbrio ecológico, considerando o meio ambiente como um patrimônio público a ser necessariamente assegurado e protegido, tendo em vista o uso coletivo;

II - racionalização do uso do solo, do subsolo, da água e do ar;

III - planejamento e fiscalização do uso dos recursos ambientais;

IV - proteção dos ecossistemas, com a preservação de áreas representativas;

V - controle e zoneamento das atividades potencial ou efetivamente poluidoras;

VI - incentivos ao estudo e à pesquisa de tecnologias orientadas para o uso racional e a proteção dos recursos ambientais;

VII - acompanhamento do estado da qualidade ambiental;

VIII - recuperação de áreas degradadas;

IX - proteção de áreas ameaçadas de degradação;

X - educação ambiental a todos os níveis de ensino, inclusive a educação da comunidade, objetivando capacitá-la para participação ativa na defesa do meio ambiente.

Art 3º - Para os fins previstos nesta Lei, entende-se por:

I - meio ambiente, o conjunto de condições, leis, influências e interações de ordem física, química e biológica, que permite, abriga e rege a vida em todas as suas formas;

II - degradação da qualidade ambiental, a alteração adversa das características do meio ambiente;

III - poluição, a degradação da qualidade ambiental resultante de atividades que direta ou indiretamente:

a) prejudiquem a saúde, a segurança e o bem-estar da população;

b) criem condições adversas às atividades sociais e econômicas;

c) afetem desfavoravelmente a biota;

d) afetem as condições estéticas ou sanitárias do meio ambiente;

e) lancem matérias ou energia em desacordo com os padrões ambientais estabelecidos;

IV - poluidor, a pessoa física ou jurídica, de direito público ou privado, responsável, direta ou indiretamente, por atividade causadora de degradação ambiental;

~~V - recursos ambientais, a atmosfera, as águas interiores, superficiais e subterrâneas, os estuários, o mar territorial, o solo, o subsolo e os elementos da biosfera.~~

V - recursos ambientais: a atmosfera, as águas interiores, superficiais e subterrâneas, os estuários, o mar territorial, o solo, o subsolo, os elementos da biosfera, a fauna e a flora.

Segundo Filho e Souza (2004), a CONAMA 237/1997 que aborda o licenciamento ambiental no Brasil torna o empreendedor diretamente responsável pelos impactos ambientais gerados, punindo, ao suspender as licenças ambientais, regulamentando, ou por meio da adoção de medidas corretivas.

De acordo com o CONAMA (Conselho Nacional do Meio Ambiente), no seu artigo 1º da Resolução N°001 de 23 de janeiro de 1986, é trazida a definição de impacto ambiental como sendo:

Art. 1º - Para efeito desta Resolução, considera-se impacto ambiental 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:

I - a saúde, a segurança e o bem-estar da população;

II - as atividades sociais e econômicas;

III - a biota;

IV - as condições estéticas e sanitárias do meio ambiente;

V - a qualidade dos recursos ambientais.

Portanto, levando em consideração os impactos que o ramo da mineração pode causar a sociedade dependendo de como a atividade é implementada, os empreendimentos minerários podem causar sérios impactos sociais, ambientais e

econômicos, podendo levar anos para a recuperação da área perturbada ou até mesmo danos irreversíveis como a perda de vidas humanas, animais, flora e fauna (VIEIRA, 2011).

Os efeitos ambientais negativos da exploração mineral podem ser observados em todas as etapas do processo, e não apenas na fase de lavra do material, por exemplo; o transporte do material que produz poluição sonora, o beneficiamento do minério, que utiliza grande volume dos nossos recursos hídricos, os quais atuam ao longo de todo período de exploração até o fechamento da mina e encerramento de suas atividades (ARAUJO, 2014).

Outros impactos diretos são os meios físicos, que promovem a supressão da vegetação, contaminação dos rios, aumento na concentração de metais pesados, alterações drásticas de paisagem, que afetam o entorno de forma significativa, diminuindo assim a qualidade de vida da população local (ARAUJO, 2014).

Uma das principais formas de mitigar os impactos negativos para com o meio ambiente, é o licenciamento ambiental, dentro desse processo de licenciamento temos uma parte que fala diretamente do AIA (Análise de Impacto Ambiental), este tem como objetivo identificar possíveis efeitos adversos, prever sua extensão e avaliar sua importância, além de propor medidas técnicas e gerenciais que minimizem os impactos negativos e maximizar os positivos. A análise de impacto ambiental (AIA) estabelece o quanto o empreendimento vai impactar durante toda a vida útil do empreendimento (SANCHEZ, 1993).

Com a grande mudança existente nos últimos anos em obrigações impostas pela legislação federal e com a criação de normas técnicas para elaboração de

programas ambientais, os setores mineral e acadêmico objetivam aprimorar cada vez mais esses planos de forma que eles se tornem mais eficientes e de acordo com as normas que regulam às superfícies degradadas pela mineração (VIANA, 1994). Segundo a mesma fonte, os principais problemas ambientais causados pela extração mineral a céu aberto são:

Impactos sobre a geologia: modificação do relevo, causando assim assoreamento capaz de mudar toda estrutura e evolução dos sistemas ambientais adjacentes à área da mina.

Impactos sobre recursos hídricos: alteração do fluxo da água subterrânea, alterado pelo rebaixamento do lençol freático, percolação de elementos contaminantes como óleos e graxas ou elementos químicos usados na concentração do minério.

Impactos sobre o solo: supressão da vegetação, as escavações e a abertura de vias de acesso geram erosão, problemas de estrutura e diminuição da permeabilidade do solo.

Impactos sobre a vegetação: a remoção da vegetação nativa e a modificação da sucessão natural causada pela introdução de espécies mais adaptáveis às novas condições.

Impactos sobre a fauna: as detonações, perfurações, ruídos e outras alterações nos habitats naturais, perturbam as comunidades faunísticas, provocando seu deslocamento, mudança de hábito, perda de indivíduos e alterações de nichos ecológicos.

Impactos sobre o clima e qualidade do ar: na ordem de microclima, são quantificáveis as alterações provocadas pela supressão de vegetação e rebaixamento de superfícies elevadas. A radiação solar incidente também num determinado local é alterada pela

modificação do relevo. A temperatura do ar, seu teor de umidade, os níveis de precipitação e a incidência de ventos também sofrem alterações diretas.

A circulação de veículos pesados, as detonações e a incidência direta de ventos são as principais causas de emissão também é a principal causa de poeira nas imediações das minas. Os gases liberados por veículos também são fontes de poluição, apesar de mais fácil controle e mitigação.

Impacto sobre a economia e as condições sociais: a oferta de empregos diretos e indiretos, o deslocamento de pessoas para a região da mina e o aperfeiçoamento de profissionais em atividades de mineração são alguns importantes fatores positivos nesse contexto. O aumento da renda *per capita* são pontos importantes na qualidade de vida local. Com isso há uma melhoria na qualidade de serviços prestados nas áreas de saúde e educação proporcionada pelas empresas e pelos governos locais.

De acordo com Viana (1994), desde os grandes empreendimentos minerários até os garimpos não organizados, usam as mesmas técnicas para recuperação do solo degradado pela mineração, sendo elas: construção de barragens de rejeito, disposição controlada de estéril, seleção de espécies vegetais, produção de mudas, hidrossemeadura, adubação, conservação da camada fértil do solo, colocação de serrapilheira (camada solta na superfície do solo sob florestas, constituídas de folhas caídas, ramos, caules, cascas, frutos, sementes, insetos e microrganismos), incorporação da fauna silvestre no plano de recuperação.

#### **4.1.2 Tipos de rejeitos obtidos após a mineração**

Existem dois tipos de resíduos gerados pelas atividades minerárias: os estéreis e os rejeitos. Estéreis são aqueles obtidos com a remoção da camada superficial da jazida, materiais sem valor econômico para o empreendimento, esses são dispostos

em pilhas designadas para esse fim. Os rejeitos são resultantes dos processos de beneficiamento e podem conter substâncias altamente tóxicas, bem como partículas dissolvidas, metais altamente tóxicos e reagentes químicos (GOMES, 2017).

Segundo Prates (2022), o rejeito da mineração de ferro pode ter alto valor agregado, podendo ser reutilizado para extrair materiais que possam vir a gerar recursos financeiros de algo que é considerado material de baixo valor agregado, como por exemplo, o uso da sílica presente no material para produção de silicato de sódio.

Conforme dito por Lopes (2016) , os rejeitos de mineração de ferro são levados para locais específicos, chamados de barragens de rejeitos. Tradicionalmente essas barragens funcionam como aterro hidráulico. Nesses sistemas, os rejeitos são escoados até as barragens por meio da gravidade e a filtragem da água é feita pela areia, localizada em posição estratégica na parte frontal da barragem. É sabido que acidentes com barragens de mineração de ferro acontecem com frequência no Brasil, porém não são noticiados pelas grandes mídias e a população não fica ciente destes fatos (LOPES,2016).

A disposição de rejeitos é realizada por meio de diferentes estratégias; Uma técnica ambientalmente viável é o empilhamento de rejeitos a seco, onde é retirada a maior parte de água desse rejeito de mineração de ferro e os elementos são separados por pilhas de estéril, sendo assim, os quais são dispostos na forma de aterros aterro hidráulico (GEOGRÁFICA ACADÊMICA, 2021).

## **5. A DEGRADAÇÃO DO SOLOS**

### **5.1. Característica dos solos das áreas mineradas**

O termo qualidade do solo se tornou mais usual a partir de 1990, após a publicação do relatório intitulado “Soil and water quality – an agenda for agriculture”,

ressaltando que a qualidade do solo é tão importante quanto à qualidade do ar e da água na determinação da qualidade global do ambiente em que vivemos (NATURAL RESEARCH COUNCIL -NRCC, 1993). Conforme esse relatório, a qualidade do solo foi concebida em razão de seu papel em ecossistemas naturais, uma vez que a qualidade deste recurso natural, historicamente, sempre esteve relacionada à sua produtividade.

Segundo a Associação Agroécuaária (2006), que estudou as características físicas e químicas de estéreis e rejeitos da mineração de ferro da barragem da mina de Alegria localizada em Mariana-MG, o rejeito da mineração é constituído basicamente por quartzo. Já os estéreis da mina têm composição variadaa depender das condições, intemperismo e do seu local de origem, podendo assim variar a quantidade de nutrientes disponíveis no rejeito.

Essa mesma fonte, informa que os estéreis da mina podem ser classificados em três tipos: Filito, solo e saprólito, sendo eles denominados da seguinte forma:

Filito: rocha metamórfica, que frequentemente é encontrada na área da mina, está em um estágio avançado de intemperismo. Exibe uma coloração acinzentada e, ao ser manuseada, desagrega-se facilmente, transformando assim em um pó fino.

Solo: material do processo de transformação de rochas decompostas em solo, através de ações físicas, químicas e biológicas geralmente de coloração vermelho-escura, contendo uma considerável quantidade de petroplintita, que é uma mistura de Argila pobre e carbono orgânico, rica em Fe e Al. Esse material se encontra em uma profundidade de aproximadamente 15 cm. Logo abaixo dessa camada denominada solo da mineração de ferro, encontramos os grandes blocos de cangas, termo brasileiro para um depósito ferruginoso superficial composto por minerais derivados de formações ferríferas bandadas (SIMMONS, 1963).

Saprolito: rocha metamórfica com alto grau de intemperismo, encontrada junto ao minério de ferro que apresenta textura e composição variada a depender da rocha de origem.

## 5.2. Estratégias de tratamento do solo degradado pela mineração de ferro

O decreto 97.632/1989, define o Plano de Recuperação de Áreas degradadas da seguinte forma:

Art. 1º Os empreendimentos que se destinam à exploração de recursos minerais deverão, quando da apresentação do Estudo de Impacto Ambiental – EIA e do Relatório do Impacto Ambiental – RIMA, submeter à aprovação do órgão ambiental competente, plano de recuperação de área degradada.

Parágrafo único. Para os empreendimentos já existentes, deverá ser apresentado ao órgão ambiental competente, no prazo máximo de 180 (cento e oitenta) dias, a partir da data de publicação deste Decreto, um plano de recuperação da área degradada.

Art. 2º Para efeito deste Decreto são considerados como degradação os processos resultantes dos danos ao meio ambiente, pelos quais se perdem ou se reduzem algumas de suas propriedades, tais como, a qualidade ou capacidade produtiva dos recursos ambientais.

Art. 3º A recuperação deverá ter por objetivo o retorno do sítio degradado a uma forma de utilização, de acordo com um plano preestabelecido para o uso do solo, visando a obtenção de uma estabilidade do meio ambiente.

Art. 4º Este Decreto entra em vigor na data de sua publicação.

Art. 5º Revogam-se as disposições em contrário.

Brasília, 10 de abril de 1989; 168º da Independência e 101º da República.

É importante ressaltar que nenhum estado brasileiro possui legislação específica sobre Recuperação de Áreas Degradadas, com isso devemos analisar cada caso de forma distinta a depender da sua localização geográfica (ALMEIDA, 2016).

As normas técnicas estabelecidas pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) para elaboração e apresentação de projetos de reabilitação de áreas degradadas pela mineração NBR 13.030 redefinem os elementos básicos para efetiva recuperação de superfícies mineradas. Dentre as definições que mais interessam ao processo podemos citar: Adequação paisagística, área degradadas, compensação, manejo sustentável, recuperação/estabilização, sucessão natural e o uso futuro.

Adequação paisagística: Harmonização da paisagem de áreas mineradas, com intuito de minimizar o impacto visual;

Áreas degradadas: Áreas com diversos graus de alteração dos fatores bióticos e abióticos, causados pelas atividades de mineração;

Compensação: Modalidade de ressarcimento alternativo ou complementar à reabilitação;

Manejo sustentável: Práticas e controles compatíveis com a manutenção dos parâmetros ambientais dentro dos limites previamente estabelecidos, visando a dispensar a ação antrópica futura;

Recuperação/reabilitação: Conjunto de procedimentos através dos quais se minimizam os impactos bióticos e abióticos causados pela atividade de mineração, de acordo com o planejamento pré-estabelecido;

Sucessão natural: Reaparecimento da vegetação nativa em um ambiente degradado, através dos métodos de propagação vegetativa natural, sem a participação antrópica;

Uso futuro: Utilização prevista para determinada área, considerando suas aptidões e intenções de uso.

### **5.2.1. USO DE PLANTAS E MICRORGANISMOS COMO ESTRATÉGIAS DE RECUPERAÇÃO DO SOLO DEGRADADO**

### 5.2.2. Fitorremediação e biorremediação

O uso da tecnologia denominada biorremediação é dada pelo fato de utilizarmos no processo em si, organismos vivos que possuem capacidade de modificar ou decompor determinados poluentes, transformando assim o material denominado contaminado, em um material inerte ou em compostos menos nocivos ao meio ambiente (SÉRIE TECNOLOGIA AMBIENTAL, 2018).

Segundo o mesmo autor, as áreas contaminadas têm cada dia mais aumentado o seu raio de alcance em todo planeta, principalmente quando trazemos ao âmbito de poluentes orgânicos como os hidrocarbonetos aromáticos e metálicos.

Metais pesados como Cu, Zn, Pb, As e Ni, têm causado uma grande preocupação para o meio ambiente por suas características mutagênicas e cancerígenas e por serem recalcitrantes, ou seja, permanecem por um longo período de tempo no ambiente.

De acordo com o mesmo autor, algumas tecnologias têm sido adotadas a fim de minimizar os impactos desses contaminantes ao meio ambiente de forma mais ágil. A grande maioria das técnicas físico-químicas tem um ponto desfavorável contra si, que é o custo elevado com escavação e transporte do material *ex situ* (necessidade de retirar o material do local de estudo), com isso tem sido grande a procura de tecnologias *in situ* (material no local de estudo) para diminuir tais gastos e com isso remediar o material contaminado no próprio local, diminuindo assim os custos com transporte.

Segundo o mesmo autor, essa técnica denominada biorremediação vem sendo estudada desde 1940, porém só ganhou popularidade recentemente, por volta do ano de 1980, devido ao derramamento de petróleo da Exxon Valdez, e, com isso, outros países têm procurado usar mais esse tipo de ferramenta tecnológica. Além disso, essa tecnologia pode ser considerada uma tecnologia favorável ao meio ambiente.

Segundo Pires et al.,(2003), dentro da tecnologia da biorremediação insere-se a fitorremediação que ocorre com o emprego de plantas aplicadas em conjunto, que atuam removendo, immobilizando ou tornam os contaminantes existentes inofensivos ao meio ambiente. Provisões anuais mostram que no ano de 2005 poderão ser gastos de 100 a 200 milhões de dólares com essa ferramenta tecnológica.

Na tabela 1, são listados o custo da fitorremediação comparado a outras tecnologias, comparados com a biorremediação por exemplo pode chegar até 15 vezes mais caro, mostrando assim como é uma alternativa economicamente viável (TAVARES, 2009).

Tabela 1 - Custo da fitorremediação comparada a outras tecnologias.

Tipo de Tratamento	Custo variável/ton (US\$)
<b>Fitorremediação</b>	<b>10-35</b>
Biorremediação <i>in situ</i>	50-150
Aeração no solo	20-200
Lavagem do solo	80-200
Solidificação	240-340
Incineração	200-1500

Fonte: Tavares, 2009.

As principais **vantagens** segundo o mesmo autor, são as seguintes:

- o investimento em capital e o custo de operação baixos, já que usa como fonte de energia a luz solar;
- pode ser aplicável *in situ* sendo que o solo pode ser posteriormente reutilizado;

- aplica-se a uma grande variedade de poluentes, podendo remediar vários contaminantes simultaneamente, incluindo metais, pesticidas e hidrocarbonetos;
- é uma técnica esteticamente bem aceita pela sociedade, limitando as perturbações ao meio ambiente se comparado a outras tecnologias, pois evita tráfego pesado e escavações;
- as plantas podem ser mais facilmente monitoradas do que, por exemplo, microorganismos, sendo que muitas espécies vegetais são capazes de se desenvolver em solos cujas concentrações de contaminantes são tóxicas para os microorganismos;
- aplica-se a áreas extensas, onde outras tecnologias são proibitivas;
- Acarretam em melhoria da qualidade do solo, no que diz respeito às suas características físicas e químicas, já que aumentam a porosidade, a infiltração de água, fornecem e reciclam nutrientes, além da prevenção da erosão.

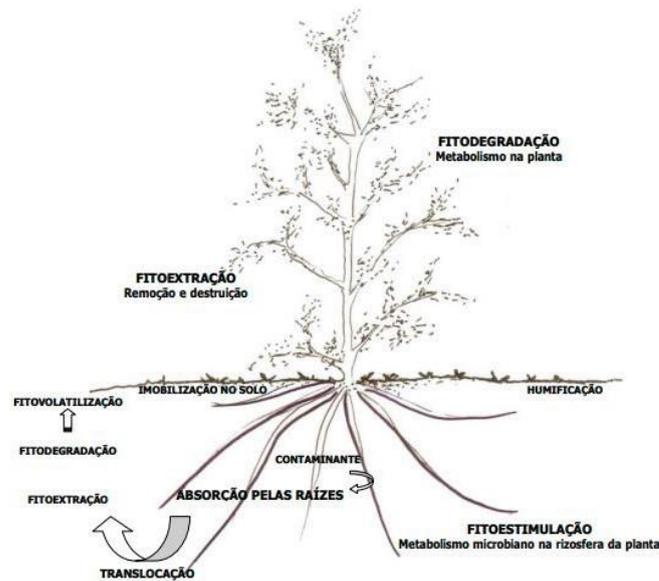
As principais **desvantagens** segundo o mesmo autor, são denominadas as seguintes:

- Resultados mais lentos do que aqueles apresentados por outras tecnologias, já que os processos de descontaminação estão na dependência da implantação, estabilização e crescimento vegetal nos sítios contaminados, tendo comparativamente a outras técnicas, um período de resposta à descontaminação mais demorado;
- o crescimento e o desenvolvimento de algumas plantas são dependentes da estação, do clima e do solo, envolvendo adequado fornecimento de nutrientes e água;

- os contaminantes podem encontrar-se em concentrações muito tóxicas a ponto de não permitir o desenvolvimento das plantas;
- apresenta resultados mais satisfatórios quando aplicado à superfície do solo ou às águas existentes a pouca profundidade;
- há a necessidade de a planta apresentar uma boa biomassa vegetal, quando ocorre a fitoextração de poluentes não metabolizáveis, seguida de uma disposição apropriada após sua remoção;
- não reduz 100% da concentração do poluente;
- podem ser produzidos metabólitos mais tóxicos do que os compostos originais, sendo que na fitovolatilização estes contaminantes podem ser liberados para a atmosfera;
- caso não sejam tomados os devidos cuidados, pode favorecer o bioacúmulo na cadeia trófica, aumentando os riscos relativos à contaminação e indução de efeitos deletérios em seres vivos.

Na figura 2, temos como são os mecanismos utilizados pela planta no processo de fitorremediação segundo (TAVARES, 2009).

Figura 2 - Mecanismos usados pelas plantas no processo de fitorremediação.



Fonte: TAVARES,2009.

Segundo a mesma fonte, no processo de fitorremediação, as plantas e ou vegetais podem ter dois tipos de atuação, de forma direta ou indireta. Na remediação direta, os contaminantes são absorvidos e acumulados ou metabolizados nos tecidos, através da mineralização dos mesmos. Na forma dita, indireta, as plantas e ou vegetais extraem os contaminantes das águas subterrâneas, reduzindo assim a fonte de contaminação ou quando a presença de plantas propicia um meio a favor do aumento da atividade microbiana, que assim, degrada o contaminante.

Mecanismos diretos: fitoextração, fitotransformação e fitovolatilização.

Mecanismos indiretos: fitoestabilização e fitoestimulação.

**Mecanismos diretos:** Fitoextração: este mecanismo se refere à capacidade da planta em absorver o contaminante do solo, armazená-lo em suas raízes ou em outros tecidos (folhas e caules), facilitando posteriormente seu descarte. Estima-se

que a fitoextração possa reduzir a concentração de contaminantes a níveis aceitáveis num período de 3 a 20 anos.

Fitotransformação: neste mecanismo, a planta absorve o contaminante da água e do solo fazendo a sua bioconversão, no seu interior ou em sua superfície, para formas menos tóxicas. É empregado, principalmente, na remediação de compostos orgânicos.

Fitovolatilização: a planta após absorver os contaminantes, provenientes do solo ou da água, converte-os para formas voláteis, sendo posteriormente liberados na atmosfera. A volatilização pode ocorrer pela biodegradação na rizosfera ou após a passagem na própria planta e dependendo da atuação ou não dos processos metabólicos, a liberação do contaminante para a atmosfera pode ocorrer na forma original ou transformada.

**Mecanismo indiretos:** Fitoestimulação/Rizodegradação: neste mecanismo indireto, a planta estimula a biodegradação microbiana dos contaminantes presentes no solo ou na água, através de exsudatos radiculares, fornecimento de tecidos vegetais como fonte de energia, sombreamento e aumento da umidade do solo, favorecendo as condições ambientais para o desenvolvimento dos microorganismos.

Fitoestabilização: este mecanismo se refere a capacidade que algumas plantas possuem em reduzir a mobilidade e a migração dos contaminantes presentes no solo, seja através da imobilização, lignificação ou umidificação dos poluentes nos seus tecidos vegetais. Os contaminantes permanecem no local. A vegetação e o solo podem necessitar de um longo tempo de manutenção para impedir a liberação dos contaminantes e uma futura lixiviação dos mesmos ao longo do perfil do solo (TAVARES,2009).

A figura 3 apresenta uma ilustração dos processos de fitorremediação e como eles caracterizam.

Figura 3 - Processo de fitorremediação.



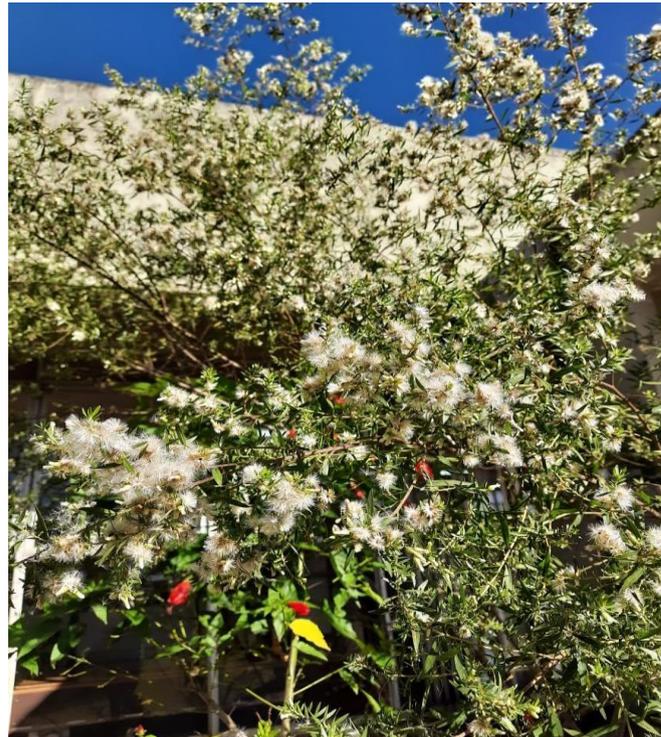
Fonte: (Américo,2023).

### 5.2.3. A *baccharis dracunculifolia*

Segundo Fabri (2011), a *baccharis* é um importante gênero pertencente à família Asteraceae que é o grupo sistemático mais numeroso das angiospermas, compreendendo cerca de 1.100 gêneros e 25.000 espécies. Também é de competência da tribo Asteraceae e possui aproximadamente 500 espécies distribuídas todas no continente americano, das quais aproximadamente 120 ocorrem no sudoeste do Brasil. A *Baccharis dracunculifolia* DC, como mostra a figura 4, é popularmente conhecida como alecrim, alecrim-do-campo, vassourinha-do-campo, alecrim-de-vassoura ou vassourinha, ocorre espontaneamente no Brasil, Paraguai, Argentina, Uruguai e é encontrada também nos altos vales da Bolívia, chegando até

3.280 m de altitude, sendo considerada importante pela população local por seus usos na medicina tradicional. Trata-se de um arbusto lenhoso de crescimento rápido, podendo medir até 4,0 m de altura, no Brasil ocorre nas Regiões Sudeste, Centro-Oeste e Sul.

Figura 4 - *Baccharis Dracunculifolia* em estado de inflorescência.



Fonte: Autoria própria.

De acordo com Beline (2015), esta espécie possui uma característica importante, sendo dióica, o que significa que possui plantas masculinas e femininas separadas. Sua reprodução ocorre por meio de sementes, conhecidas como cipselas. Apresenta caules ramificados, densamente cobertos por tricomas. Suas folhas são lanceoladas, membranosas e têm cerca de 1 a 2 cm de comprimento e 3 a 4 mm de largura. Elas possuem glândulas distribuídas densamente, margens geralmente inteiras, por vezes com 1 a 3 dentes, e ocasionalmente de 5 a 7 dentes. As flores possuem corolas com comprimento de 2 a 3 mm, enquanto as flores masculinas têm corolas um pouco maiores, com comprimento de 2,5 a 3 mm. Essa planta já foi

altamente utilizada na fabricação de vassouras rústicas, o que contribuiu para um de seus nomes populares. Além disso, é valorizada como planta ornamental e utilizada na medicina caseira para tratar diversos distúrbios, como problemas gástricos, fadiga, falta de apetite, febres e fraqueza orgânica.

De acordo com Ferronato (2007), o óleo essencial extraído das folhas do alecrim-do-campo é altamente valorizado pela indústria de fragrâncias e é a principal fonte botânica para a produção de própolis verde no sudeste brasileiro. Essa espécie desempenha um papel importante na regeneração natural após distúrbios ambientais, como incêndios, e é considerada uma planta pioneira. Ela também exibe plasticidade fenotípica, ou seja, quando encontrada em solos ricos em nutrientes, seu crescimento é otimizado, enquanto em solos com baixa disponibilidade de nutrientes, ela demonstra alta capacidade de sobrevivência.

Além disso, segundo Beline (2015), o alecrim-do-campo é comumente encontrado em ambientes urbanos sujeitos a vários níveis de perturbações antrópicas e poluição atmosférica. Ele está associado a uma grande diversidade de outros organismos. Essa planta é conhecida por ser exclusora, o que significa que não acumula metal altamente tóxico em suas raízes. Isso a torna interessante para técnicas de fitoestabilização, sendo aplicada na revegetação de áreas contaminadas. O alecrim do campo é capaz de promover a estabilização mecânica de poluentes, imobilizando-os em seu sistema radicular, auxiliando outras espécies a colonizar e sobreviver. Além disso, essa planta também evita a erosão e previne o transporte de poluentes por processo de lixiviação.

A espécie é pioneira e tem importância destacada na regeneração natural após distúrbios como fogo. Apresenta ainda plasticidade fenotípica, quando colocada em locais de alta fertilidade, atinge ótimos níveis de crescimento e quando submetida a solos com baixa disponibilidade de nutrientes, possui sobrevivência alta. Também, apresenta ampla distribuição em biótopos urbanos sujeitos a vários graus de distúrbios antrópicos e de poluição atmosférica, está associada a uma grande

diversidade de outros organismos. Por ser uma planta exclusora, atua restringindo o acúmulo de arsênio em suas raízes, sendo de interesse para técnicas de fitoestabilização, podendo ser aplicada para revegetação de locais contaminados, pois conseguem promover uma estabilização mecânica do poluente por meio da sua imobilização no sistema radicular, auxiliando outras espécies a colonizar e sobreviver, da mesma forma que evita erosão e previne o transporte do poluente por processos de lixiviação (BELINE, 2015).

#### **5.2.4. Potencial fitorremediador da *Baccharis dracunculifolia***

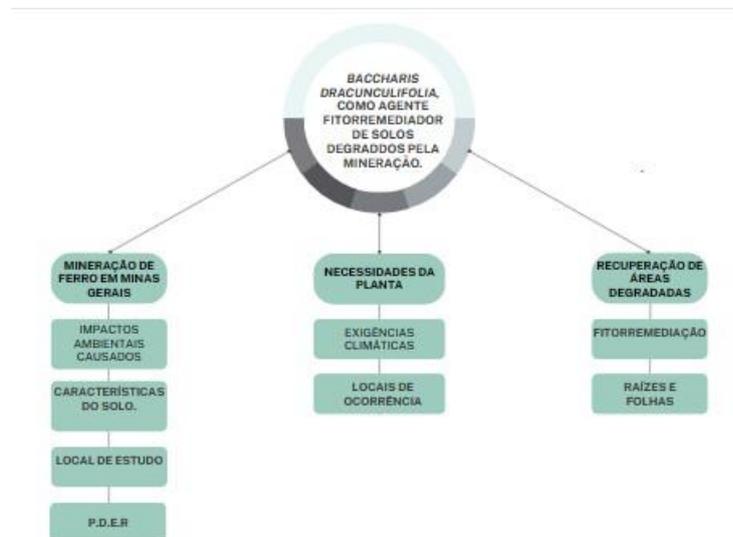
*Baccharis dracunculifolia* (Asteraceae) coloniza áreas de rejeito de mineração e foi encontrada em abundância em áreas ricas em metais altamente tóxicos nas proximidades de áreas mineradas em Minas Gerais. Devida às várias características já mencionadas anteriormente, a *Baccharis dracunculifolia* por sua alta capacidade de crescimento natural e ampla distribuição em biótipos sujeitos a vários graus de distúrbios antrópicos e poluição atmosférica, torna-se uma interessante, candidata para uso em estratégias fitorremediadoras em projetos de recuperação de solos contaminados (ARQUIVOS BRASILEIROS DE BIOLOGIA E TECNOLOGIA, 2021).

Notadamente, a *Baccharis dracunculifolia* é capaz de colonizar áreas de rejeito de mineração, tendo sido encontrada em abundância nas áreas ricas em arsênio nas proximidades de áreas mineradas em Nova Lima, fixando o elemento em suas raízes evitando que o componente chegue até as partes aéreas e sejam repassados para animais e/ou pessoas que utilizam ou consomem suas folhas, o que revela uma grande capacidade de adaptação dessa espécie vegetal (CABRAL, 2022).

## 6. MATERIAIS E MÉTODOS

Baseado em revisões bibliográficas de artigos científicos, trabalhos de conclusão de curso, dissertações de mestrado, teses de doutorado, e análises laboratoriais já existentes, esta pesquisa teve como meta responder alguns questionamentos sobre o uso do Alecrim do campo *Baccharis dracunculifolia* como recurso fitorremediador em solos de mineração de ferro para aplicação no quadrilátero ferrífero. Na figura 5, foi elaborado o fluxograma problemático do trabalho.

Figura 5 - Fluxograma problemático do trabalho.



Fonte: Autoria própria.

A figura 6 apresenta, o fluxograma metodológico para elaboração do presente trabalho.

Figura 6 - Fluxograma metodológico elaboração do trabalho.



Fonte: Autoria própria.

O desenvolvimento do fluxograma teve como finalidade, entender como o “Alecrim do campo” *Baccharis dracunculifolia*, poderia ser utilizado como recurso fitorremediador a partir da compreensão das suas estratégias fisiológicas, necessidades nutricionais, climáticas, a sua geolocalização preferencial e topografia, a fim de compreender a sua ocorrência natural em solos degradados pela mineração.

Além disso, a pesquisa também teve como objetivo avaliar as características de suas raízes em relação ao solo de formação e como a planta consegue se adaptar a exposição a quantidades excessivas de metais pesados presente no meio onde ele está se desenvolvendo avaliando assim, as possíveis estratégias adaptativas elaboradas pela planta para garantir a sua sobrevivência.

Dessa forma, foi possível elencar algumas características do solo de ocorrência da *Baccharis dracunculifolia* e compreender quais recursos minerais são utilizados pela planta, bem como elucidar possíveis estratégias de adaptação a escassez de recursos hídricos, deficiências minerais e ou cargas elevadas de minerais potencialmente tóxicos ao seu desenvolvimento.

Em relação às peculiaridades físicas, relacionar as exigências da planta em condições de temperatura e pressão. Considerando a *Baccharis dracunculifolia* como uma planta invasora o entendimento dessas variáveis em relação às exigências básicas do vegetal, poderá elucidar as condições ideais para o melhor desenvolvimento em solos potencialmente degradados pela atividade minerária no quadrilátero ferrífero.

Adicionalmente, o conhecimento das estratégias metabólicas e fisiológicas da planta para o processamento de cargas de metais tóxicos já mensurados em pesquisas anteriores e reunidos em uma revisão bibliográfica, permitirá mensurar o potencial regional e de aplicação desta planta bem como avaliar condições necessárias e medir o potencial do uso da planta como recurso fitorremediador.

### **6.1. Local de estudo**

O presente trabalho foi realizado na região centro-meridional do estado de Minas Gerais, popularmente conhecida como Quadrilátero ferrífero. o local tem por características serras alongadas que corresponde uma área aproximada de 7.000 Km<sup>2</sup>, sendo que sua altitude varia de 600 metros até 2.100 metros (COSTA, 2003). Nessa região estão situados alguns pontos turísticos como serra do curral Del Rei, serra do Caraça, serra de Ouro Branco, como também algumas empresas que têm interferência direta na questão socioeconômica da região (CÂNDIDO, 2018).

É na região do quadrilátero ferrífero que se situa umas das mais intensas atividades minerárias do Brasil, isso porque as características da região se propõem umas das maiores lavras do país com alto grau de pureza e alto teor do material minerado (COSTA, 2003).

## 7. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Samarco Mineração é uma empresa de capital fechado uma "joint venture" de propriedade da Vale e BHP Billiton, que deu início em 1973, vindo de uma fusão das seguintes empresas: Marcona Corporation e S/A Mineração Trindade (Samitri) que surgidas em 1971. Atualmente a Samarco tem seu escritório principal situado em Belo Horizonte-MG e sua principal atividade são as pelotas de minério de ferro (SAMARCO, 2023). Como um dos seus principais objetivos é fazer uma mineração de forma segura e sustentável, a empresa objetiva o desenvolvimento de projetos inovadores e que causam menor impacto ao meio ambiente (CAETANO, 2021).

De forma a implementar uma solução inovadora para o processo de estocagem de rejeito, a Samarco propõe usar o processo de rejeito de mineração a seco, utilizando o PDER (Pilha de Disposição de Estéril e Rejeitos Filtrados) Figura 7, que se baseia na seguinte proposta. Os rejeitos são filtrados e empilhados a seco, sendo que 80% é disposto no PDER sendo que os outros 20% são considerados lama, estocados na Cava Sul ou no pátio Q (CAETANO, 2021).

[?](#)

Figura 7 - Esquema simplificado P.D.E.R.



Fonte: Estruturas Geotécnicas - Samarco Mineração

## **7.1. CARACTERIZAÇÃO FÍSICA E QUÍMICA DAS AMOSTRAS DE SOLO DE MINERAÇÃO DE FERRO, ONDE SÃO DEPOSITADOS OS REJEITOS DA MINERAÇÃO NO PDER ALEGRIA SUL (PILHA DE DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITOS FILTRADOS).**

### **7.1.1. Tipos de solo**

Segundo Fidalgo (2013), pode-se definir o solo como material solto e macio encontrado na superfície terrestre. O qual se constitui em vários tipos em função de diversas características, como: Cor, quantidade, organização das partículas (argila, silte e areia), quantidade de água entre outras propriedades.

Quanto às suas funções, podemos classificá-lo em cinco principais atributos, sendo eles: crescimento das plantas, destinação da água, reciclagem de nutrientes, porosidade, fundação de base para construções (FIDALGO, 2013).

No Brasil, em função da grande extensão territorial, o solo apresenta características químicas, físicas e morfológicas distintas em cada região do País. Por isso podemos classificar os solos em 13 classes segundo o sistema brasileiro de classificação de solos (SiBCS). Os solos que predominam no país são: Argissolos, Latossolos e Neossolos que em geral se distribuem em 70% dos solos brasileiros. (EMBRAPA, 2023).

Latossolos e Argissolos são solos profundos, altamente intemperizados, ácidos, baixa fertilidade natural e alguns casos alta saturação por alumínio e ocupam cerca de 58% da área do Brasil. Tem-se também Neossolos, Luvisolos, Planossolos, Nitossolos, Chernossolos e Cambissolos, que ocorrem de média alta fertilidade e por baixo grau de intemperismo ocorrem em poucas profundidades (EMBRAPA, 2023).

Afloramento de rochas constituem tipos de terreno não propriamente denominados de solo. Têm presença marcante na região do quadrilátero ferrífero representado por lateritas ferruginosas (VIANA, 1994).

### **7.1.2. Caracterização do solo típico da mineração de ferro**

Quanto aos solos da região de estudo podemos classificar como vários tipos, temos solos com baixos e altos potenciais nutricionais. Podendo classificá-los como cambissolos, latossolos e neossolos. No local de estudo, temos um atributo peculiar, os solos constituídos por Itabirito cuja constituição é caracterizada por expressiva presença de ferro e hematita, responsáveis pela magnetização elevada (COSTA, 2003).

É de predominância na mineração de ferro, rochas que têm por natureza minerais como hematita e magnetita e uma das rochas que possui essa característica é encontrada na região chamada de Itabirito (COSTA 2003). Entre as principais características dos substratos de mineração, os teores de Ca e Mg trocáveis geralmente são muito baixos. Essa baixa disponibilidade pode levar as plantas a situações de deficiência. No caso do Ca, a carência desse nutriente afeta principalmente as raízes, limitando o seu crescimento. Além disso, também se observa sintomas de deficiência nas folhas e tecidos mais jovens da planta, os quais podem apresentar aspecto gelatinoso na ponta das folhas e, dependendo da severidade da deficiência, acarretar na morte dos pontos de crescimento. Já para o Mg, os sintomas de deficiência desse nutriente são observados nas folhas mais velhas, as quais adotam uma coloração amarelada, bronzeada ou avermelhada e as nervuras das folhas continuam verdes (SILVA, 2019).

### **7.1.3. Caracterização do solo PDER**

O PDER (Pilha de Disposição de Estéril e Rejeitos Filtrados) é o material obtido após a filtragem da porção líquida do rejeito da mineração de ferro, que posteriormente

é empilhada em forma de rejeito sem água, chamado de rejeito a seco da mineração de ferro, porém com essa tecnologia ainda não foi capaz de remover 100% da água do rejeito, o restante, cerca 20% desse rejeito com água, é devolvido para a lavra da mineração. Contudo, essa forma de disposição de estéril, elimina a necessidade de construir novas barragens, com isso conseguimos diminuir o risco de contaminação dos rios e da natureza em geral por rompimento de novas barragens de mineração de ferro, com essa tecnologia de pilhas de rejeito a seco. (CAETANO, 2021).

A análise de fertilidade do solo do PDER foi feita pelo laboratório de química agropecuária (Figura 8), e foi assinada pelo engenheiro agrônomo Welder Limeres, responsável técnico pelas coletas. As propriedades químicas e físicas do solo foram determinadas, bem como os teores nutricionais, acidez, porcentagem de silte, argila e areia os quais podem ter interferência direta nas condições de fertilidade do solo. (FIDALGO, 2013).

Figura 8 - Amostra do solo PDER sendo coletada para análise laboratorial.



Fonte: Relatório hexágono engenharia.

Segundo o estudo feito pelo laboratório, foi possível identificar quais as principais características do solo, e com isso verificar se a calagem, adubação e alguma outra recomendação para esse tipo de solo seria necessária.

## **8. AVALIAÇÃO DAS NECESSIDADES NUTRICIONAIS, AS EXIGÊNCIAS CLIMÁTICAS E CONDIÇÕES GEOGRÁFICAS DE OCORRÊNCIA DA *BACCHARIS DRACUNCULIFOLIA* \*(ALECRIM DO CAMPO) NA REGIÃO DO QUADRILÁTERO FERRÍFERO**

### **8.1. Locais onde a planta tem maior facilidade de ocorrência**

A planta tem a capacidade de sobreviver em solos com altas concentrações de metais tóxicos, embora sejam mais comumente encontradas em solos não metálicos, sendo denominadas de pseudo-metalófitas. Por outro lado, as metalófitas são normalmente endêmicas de áreas ricas em metais, o que resulta no desenvolvimento de mecanismos de resistência e tolerância bem desenvolvidos. A maioria das metalófitas apresenta mecanismos que limitam o transporte dos metais para as partes aéreas, concentrando-os nas raízes, o que é conhecido como mecanismo de exclusão. No entanto, existem espécies capazes de absorver concentrações extremamente altas de metais e acumulá-las nas partes aéreas, sendo chamadas de hiperacumuladoras (CASAGRANDEA, 2018).

Segundo Instituto Nacional de Tecnologia Agropecuária,(INTA, 2022) temos alguns vegetais que conseguem bioacumular Cobre(Cu),Cádmio(Cd), Zinco(Zn) e Arsênio(As), são os seguintes: *Bulnesia retama*, *P. tetraantha*, *L. cuneifolia* e *P. flexuosa*, foi identificado que *P. tetraantha*, *L. cuneifolia* e *P. flexuosa* como bioacumuladores de As; todas as quatro espécies como bioacumuladoras de Cu; *P. tetraantha* como único bioacumulador de Cd; e *P. flexuosa*, *P. tetraantha* e *L. cuneifolia* como bioacumuladores de Zn.

De fato, a *Baccharis dracunculifolia* possui uma distribuição abrangente em biótopos que estão sujeitos a diferentes graus de perturbação antrópica e poluição atmosférica. Isso faz dela uma candidata interessante em projetos de recuperação de solos contaminados (RODRIGUES, 2017).

É notável que as plantas que crescem nas proximidades de áreas de mineração têm a capacidade de desenvolver mecanismos que lhes permitem sobreviver, mesmo quando expostas a altas concentrações de metais que são prejudiciais para a maioria das outras plantas. Essas plantas, chamadas de metalófilas, formam comunidades vegetais que possuem a habilidade de tolerar ou absorver metais tóxicos, armazenando-os em seus tecidos (CASAGRANDEA, 2018).

## **8.2. Condições nutricionais e climáticas para o desenvolvimento da planta**

Considerando o arsênio (As) como um exemplo de metal altamente tóxico, vamos utilizá-lo como referência para analisar o desenvolvimento do alecrim do campo como uma planta fitorremediadora para solo contaminados com algum tipo de metal altamente tóxico.

Segundo (INTA, 2022), o arsênio é altamente prejudicial para a maioria das plantas, pois interfere em processos vitais, como a fosforilação oxidativa, resultando na redução da produção de adenosina trifosfato (ATP) e na inibição da absorção de fósforo. Em concentrações elevadas, o arsênio pode afetar negativamente os processos metabólicos, inibindo o crescimento e, em casos mais graves, causando a morte das plantas. Além disso, o arsênio pode induzir estresse oxidativo, gerando espécies reativas de oxigênio que danificam proteínas, aminoácidos e ácidos

nucleicos, comprometendo os mecanismos de defesa da planta. Adicionalmente, o acúmulo de arsênio nos tecidos vegetais pode estimular a atividade da enzima peroxidase durante as fases iniciais do desenvolvimento da planta.

Com o objetivo de entender como a presença de arsênio afeta a germinação das sementes de *B. dracunculifolia*, várias medidas foram utilizadas neste estudo, como publicado por Gilbert (2012). Além disso, foram examinados parâmetros de crescimento para analisar a influência do arsênio nas fases iniciais de desenvolvimento das plântulas. Avaliar essas características é importante, pois permite prever o nível de sucesso e a capacidade de adaptação e germinação em ambientes estressantes, possibilitando o recrutamento e o desenvolvimento das plantas (Ranal & Santana, 2006). A hipótese é que o arsênio tem efeitos negativos em todos os parâmetros analisados, e esses efeitos são amplificados à medida que a concentração de arsênio aumenta.

A taxa de germinabilidade (G) foi determinada pelo percentual de sementes germinadas em cada tratamento, conforme descrito por Santana & Ranal (2000) e Ranal et al. (2009). O tempo médio de germinação (TMG) foi calculado usando a fórmula proposta por Tompsett & Pritchard (1998):

$$\text{TMG} = \frac{\sum_{i=1}^k n_i t_i}{\sum_{i=1}^k n_i}$$

Onde: tempo entre o início do experimento e a *i*-ésima observação (dia ou hora), *n<sub>i</sub>*: número de sementes que germinam no tempo *t<sub>i</sub>* (não o número acumulado, mas o número referido para a *i*-ésima observação) e *k*: último dia da observação.

A fórmula usada para o cálculo do índice de velocidade de emergência da radícula (IVE) foi (Santana & Ranal 2000):

$$IVE = \frac{\text{no. de plântulas normais}}{\text{dias até a primeira contagem}} + \dots + \frac{\text{no. de plântulas normais}}{\text{dias até a contagem final}}$$

E para calcular o índice de sincronização (E), utilizou-se a fórmula (Santana & Ranal 2000, Ranal et al. 2009):

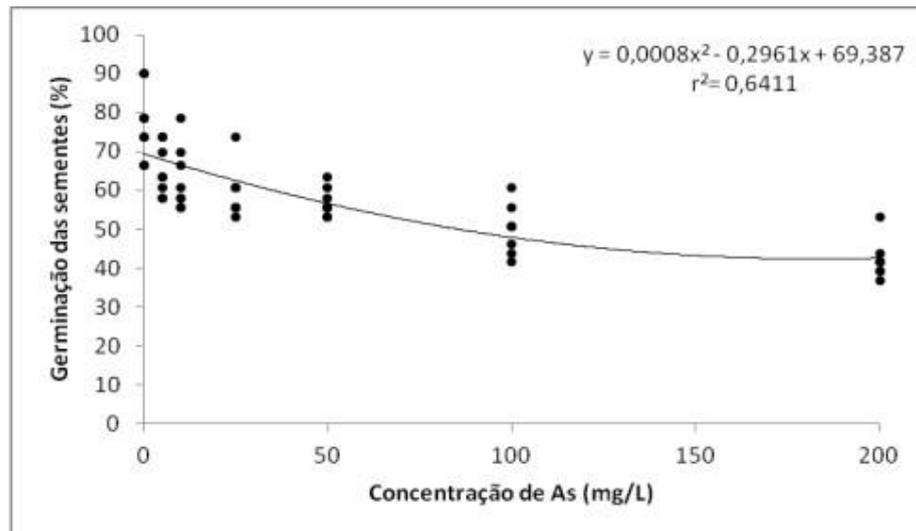
$$\bar{E} = -\sum_{i=1}^k f_i \log_2 f_i \quad \text{sendo:} \quad f_i = n_i / \sum_{i=1}^k n_i$$

onde:  $f_i$ : frequência relativa de germinação,  $n_i$ : número de sementes germinadas no dia  $i$  e  $k$ : último dia da observação.

### 8.3. Análise desenvolvimento da planta na presença de metal tóxico

A taxa de germinação de *B. dracunculifolia* apresentou uma redução significativa conforme a concentração de arsênio aumentou (Figura 9). No grupo controle, 93% das sementes germinaram. Com um aumento de apenas 5 mg/L de arsênio, a germinação das sementes diminuiu em 11,5%, indicando um efeito perceptível nesse processo crucial das plantas. Nas concentrações de 10, 25, 50, 100 e 200 mg/L de arsênio (MANFREDA, 2020).

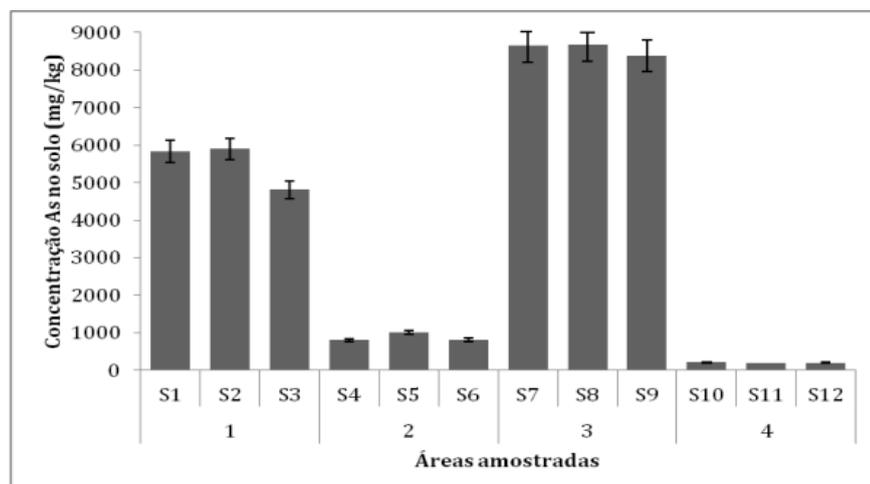
Figura 9 - Porcentagem de germinação de sementes de *B. Dracunculifolia* em diferentes concentrações de arsênio.



Fonte: (GILBERT,2012).

Todas as amostras revelaram a presença de arsênio, com variações de conteúdo que variaram de 194 a 8.667 mg/kg as Fig. 10. A área 3, exibiu os mais altos níveis de arsênio no solo, com uma média de 8.563 mg/kg As. Por outro lado, a área 4 apresentou os menores teores de arsênio, com uma média de 202 mg/kg As. A área 1, também apresentou teores elevados de arsênio no solo, com uma média de 5.896 mg/kg as, já a área 2, apresentou uma média de 876 mg/kg as (GILBERT, 2012).

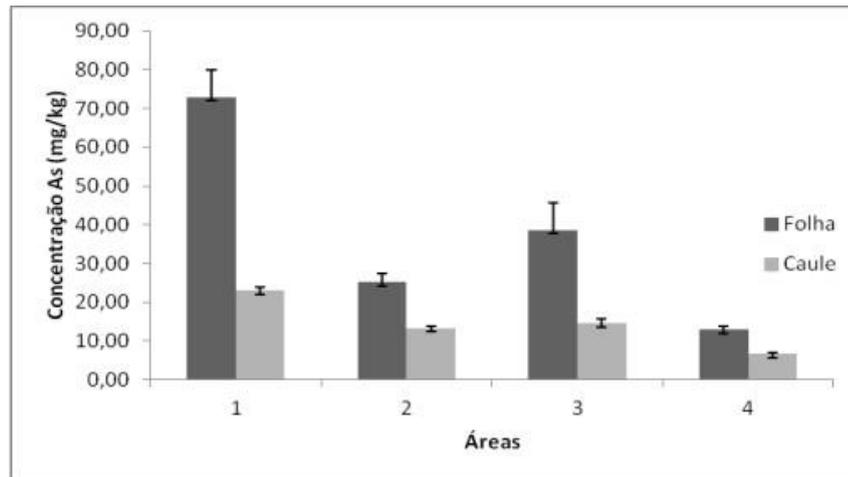
Figura 10 - Análise de arsênio total em áreas amostradas em Nova Lima - MG.



Fonte: (GILBERT,2012)

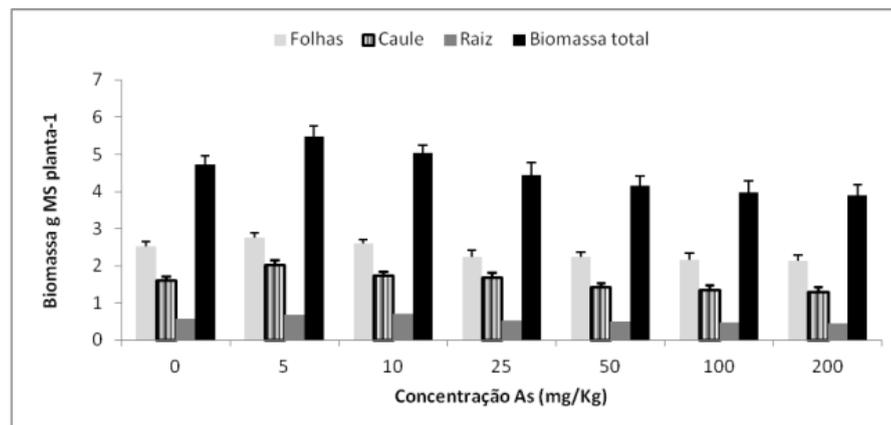
Podemos observar dados de como foi o desenvolvimento das plantas nas figuras 11 e 12 e natabela 2 abaixo.

Figura 11 - Concentração de As folhas e caule.



Fonte: (GILBERT,2012)

Figura 12 - Variação da biomassa de folhas, caule, raízes e biomassa total das plantas de *Baccharis dracunculifolia* cultivadas sob diferentes concentrações de arsênio (médias e erro padrão).



Fonte: (GILBERT,2012)

Tabela 2 - Biomassa (g) das folhas, caules, raízes e massa seca total das plantas de *Baccharis dracunculifolia* submetidas a diferentes tratamentos com As. Os valores apresentam as médias  $\pm$  erro padrão. Médias seguidas por letras diferentes diferem entre si pelo teste Tukey ( $p < 0,05$ ) ( $n = 5$ ). ns= não significativo ( $p > 0,05$ ).

Tabela 2 - Biomassa da planta.

As (mg/Kg)	Folhas	Caule	Raiz	Massa seca total
0	2,52 $\pm$ 0,13 <sup>a</sup>	1,62 $\pm$ 0,11 <sup>a</sup>	0,58 $\pm$ 0,03 <sup>a</sup>	4,72 $\pm$ 0,25 <sup>a</sup>
5	2,75 $\pm$ 0,14 <sup>ns</sup>	2,02 $\pm$ 0,14 <sup>ns</sup>	0,69 $\pm$ 0,05 <sup>a</sup>	5,47 $\pm$ 0,30 <sup>a</sup>
10	2,60 $\pm$ 0,11 <sup>ns</sup>	1,74 $\pm$ 0,12 <sup>ns</sup>	0,7 $\pm$ 0,07 <sup>ab</sup>	5,03 $\pm$ 0,22 <sup>ab</sup>
25	2,24 $\pm$ 0,17 <sup>ns</sup>	1,70 $\pm$ 0,13 <sup>ns</sup>	0,51 $\pm$ 0,05 <sup>ab</sup>	4,45 $\pm$ 0,33 <sup>abc</sup>
50	2,23 $\pm$ 0,14 <sup>ns</sup>	1,43 $\pm$ 0,09 <sup>b</sup>	0,49 $\pm$ 0,05 <sup>ac</sup>	4,15 $\pm$ 0,25 <sup>bc</sup>
100	2,15 $\pm$ 0,18 <sup>b</sup>	1,34 $\pm$ 0,13 <sup>b</sup>	0,48 $\pm$ 0,04 <sup>c</sup>	3,98 $\pm$ 0,32 <sup>c</sup>
200	2,13 $\pm$ 0,15 <sup>b</sup>	1,31 $\pm$ 0,13 <sup>b</sup>	0,44 $\pm$ 0,08 <sup>c</sup>	3,88 $\pm$ 0,29 <sup>c</sup>

Fonte: (GILBERT,2012)

#### 8.4. Características da planta quando exposta a metais altamente tóxicos

De acordo com (Rahman et al. 2008), A alta concentração de arsênio presente no solo afeta negativamente a maioria das espécies devido à sua toxicidade. Esse elemento tem um efeito prejudicial no metabolismo das plantas, influenciando seu crescimento e desenvolvimento. Os sintomas mais comuns associados à fitotoxicidade do arsênio incluem uma taxa reduzida de germinação, diminuição do crescimento tanto das raízes quanto da parte aérea, resultando em plantas mais baixas, redução do número de folhas e produção de massa seca. As espécies de plantas sensíveis ao arsênio sofrem um estresse considerável quando expostas a ele, apresentando sintomas que variam desde uma redução no crescimento até a morte.

É comum que as raízes apresentem níveis mais altos de arsênio em comparação com o caule, folhas e frutos como mostra a figura 13. Isso ocorre devido à limitação no transporte do arsênio para a parte aérea da planta. Acredita-se que essa limitação seja resultado da rápida conversão do arsenato para arsenito, que é então complexado com tíóis e possivelmente armazenado nos vacúolos das células radiculares. Essa característica é de grande importância, uma vez que o arsênio fica praticamente retido em um órgão da planta, reduzindo a chance de sua transferência para outros níveis tróficos e, assim, evitando a contaminação da comunidade de organismos e das cadeias alimentares associadas (ZHAO, 2008).

É comum que plantas tolerantes ao arsênio apresentem um aumento na biomassa quando expostas a concentrações mais baixas do elemento. No entanto, o crescimento das plantas nem sempre é sustentado e, em algumas situações, é apenas temporário. Após um período de exposição ao arsênio, pode ocorrer uma redução no comprimento das plantas, sendo esse um dos sintomas mais comumente observados em condições de estresse ambiental para as plantas. (KABATA, 2011).

Apesar de ter mostrado redução em alguns parâmetros de crescimento e apresentado sintomas de toxicidade, como necrose e clorose foliar, em função do aumento da concentração de arsênio no solo, a *B. dracunculifolia* demonstrou possuir mecanismos de resistência que lhe permitiram manter o crescimento quase inalterado. Além disso, os indivíduos dessa espécie produziram novas ramificações e folhas mesmo em concentrações elevadas de arsênio. Notavelmente, a *B. dracunculifolia* não mostrou sensibilidade nas raízes em relação a esse elemento tóxico. A maior redução no comprimento das raízes, observada na maior dose de arsênio utilizada (200 mg/kg), foi de apenas 5% em comparação com o grupo controle. Essas observações reforçam a hipótese de que essa planta é tolerante a esse elemento tóxico, uma vez que não apresentou os sintomas severos de injúria no sistema

radicular geralmente causados pelo arsênio (Abedin & Meharg 2002, Wang et al. 2010).

Além de manter seu crescimento, todos os indivíduos da espécie *Baccharis dracunculifolia* conseguiram armazenar o arsênio em seus tecidos. É importante destacar que os níveis de arsênio nas plantas aumentaram de forma gradual conforme a concentração desse elemento no solo foi elevada. Isso indica uma relação direta entre a disponibilidade de arsênio no ambiente e sua absorção e acumulação pela planta. Esse padrão de acumulação também pode ser observado em outras espécies, como é o caso do *Sesuvium portulacastrum* (LOKHANDE, 2010). Foram conduzidos estudos no Quadrilátero Ferrífero envolvendo a espécie *Baccharis trimera*, a qual apresentou baixas concentrações de arsênio em seus tecidos, inferiores a  $15\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$  do peso seco da planta. Segundo Carbonell-Barrachina (1997) foi demonstrado que quando expostas a menos de  $10\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$  de arsênio, as plantas de *Phaseolus vulgaris* L. exibiram sintomas de toxicidade, resultando na morte das plantas nessa concentração.

Já *Baccharis dracunculifolia* foi capaz de armazenar  $177,1\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$  de As total e tolerar até  $200\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ As no solo. Os resultados obtidos sugerem que a *Baccharis dracunculifolia* possui mecanismos adaptativos que lhe conferem resistência ao arsênio. Esses mecanismos podem incluir a supressão do sistema de absorção de fósforo de alta afinidade e a síntese de compostos que promovem a desintoxicação intracelular do arsênio absorvido. Um desses mecanismos é a síntese de fitoquelatinas, que foram identificadas em estudos anteriores com várias espécies expostas ao arsênio (Schmoger, 2000). Essas descobertas destacam a capacidade da *B. dracunculifolia* em lidar com a toxicidade do arsênio e fornecem insights sobre os mecanismos moleculares envolvidos em sua resistência.

Indivíduos de *B. dracunculifolia* foram capazes de armazenar, em média, 79% do arsênio em suas raízes. Estudos semelhantes realizados com *Oryza sativa* também mostraram que a espécie tende a acumular a maior parte do arsênio em suas

raízes. Em *Lycopersicon esculentum*, observou-se que 83,2% do arsênio ficou retido nas raízes, enquanto apenas 7,3% foi translocado para as folhas. Com exceção das plantas hiperacumuladoras, o arsênio geralmente apresenta baixa mobilidade e tem dificuldade em se mover das raízes para a parte aérea das plantas. Esses resultados ressaltam a capacidade da *B. dracunculifolia* de restringir o arsênio às raízes, evitando sua translocação para outras partes da planta (CARBONELL-BARRACHINA, 1997).

Figura 13 - Efeito geral do Arsênio nas folhas de *Baccharis Dracunculifolia*.



Fonte: Boletim da UFMG.

#### **8.5. Avaliação do potencial de fitorremediação dos cultivares de Alecrim do campo nos solos da mineração de ferro.**

É notável que a *Baccharis dracunculifolia* tem a capacidade de se estabelecer em áreas afetadas pela mineração, sendo encontrada em abundância em locais com altos níveis de arsênio nas proximidades de áreas mineradas no quadrilátero ferrífero, como mostra a figura 14 uma possível ocorrência natural da planta no local de estudo no PDER da Samarco. Essa planta é capaz de fixar o elemento em suas raízes, impedindo que ele seja transportado para as partes aéreas da planta e, conseqüentemente, evitando sua transferência para animais ou pessoas que possam

utilizar ou consumir suas folhas. Essa habilidade demonstra uma notável capacidade de adaptação por parte dessa espécie vegetal (RODRIGUES, 2017).

Figura 14 - Possível ocorrência de *Baccharis Dracunculifolia* no PDER Samarco.



Fonte: Autoria própria.

Essa espécie é uma planta nativa e tem a capacidade de colonizar ambientes perturbados, ela demonstra um alto potencial de crescimento natural e possui uma distribuição ampla em habitats sujeitos a diferentes níveis de perturbação antrópica e poluição atmosférica. Devido a confluência das características determinadas como o clima e temperatura do local de estudo podemos inferir que o vegetal tem uma grande chance de se estabelecer e conseguir o objetivo final de fitorremediar o solo degradado pela mineração de ferro, com isso, a *Baccharis dracunculifolia* se tornaria uma candidata interessante em projetos de recuperação de solos degradados e contaminados nas áreas da mineração de ferro. (Barroso 1976, Espírito Santo et al. 2003, Fagundes et al. 2005).

Os estudos apresentados destacam o crescente interesse e utilização de plantas como agentes de remediação em áreas degradadas por metais altamente tóxicos como Alumínio (Al), Arsênio (As), Cádmio (Cd) e Cobre (Cu) no país. As

espécies arbóreas utilizadas nessa pesquisa são diversas, não havendo uma preferência por uma espécie específica em relação a um determinado contaminante. A maioria dos estudos concentra-se na análise do solo, havendo poucas pesquisas realizadas até o momento com efluentes líquidos (PETERSEN, 2023).

Os parâmetros físico químicos do solo do local do estudo o PDER podem ser estudados a partir da Tabela 3, onde pode-se ver a composição do local.

Tabela 3 - Interpretação da análise do solo.

<b>Dados da análise de solo</b>		
pH	6,00	Acidez média
C.O. (dag/kg)	1,16	Baixo
Argila (%)	8,85	Arenoso
K disp. (mg/dm <sup>3</sup> )	14,00	Muito baixo
Na disp. (mg/dm <sup>3</sup> )	0,00	-
Ca (cmolc/dm <sup>3</sup> )	0,38	Muito baixo
Mg (cmolc/dm <sup>3</sup> )	0,11	Muito baixo
Al (cmolc/dm <sup>3</sup> )	0,03	Muito baixo
H + Al (cmolc/dm <sup>3</sup> )	0,85	Muito baixo
t (cmolc/dm <sup>3</sup> )	0,55	Muito baixo
T (cmolc/dm <sup>3</sup> )	1,37	Muito baixo
SB (cmolc/dm <sup>3</sup> )	0,52	Muito baixo
V (%)	37,95	Baixo
m (%)	5,63	Muito baixo

Fonte: Relatório Hexágono Engenharia.

Observando o resultado da análise do solo do PDER, consideramos de fato o que foi dito por Silva (2019), que os teores de Ca e Mg trocáveis são geralmente muito baixos nesse tipo de solo, sendo que o Ph é considerado médio e o solo dito arenoso, sendo 46,90% de areia total, 44,25% de silte e 8,85% de argila, os níveis de Cálcio, Alumínio e Manganês são considerados muito baixos, respectivamente 0,38%, 0,11% e 0,03%. H + Al também é considerado muito baixo, cerca de 0,85%.

Captação efetiva de troca de cátions (t), Captação de troca de cátions (T), soma de bases (SB) todos esses parâmetros são considerados muito baixos, respectivamente 0,55%, 1,37% e 0,52%, já o valor de V, que é o índice de saturação de bases é considerado baixo, cerca de 37,95% em que é índice de saturação por alumínio é considerado muito baixo cerca de 5,63%.

Os metais altamente tóxicos, como cobre (Cu), zinco (Zn), chumbo (Pb), arsênio (As), níquel (Ni) e Manganês (Mg), têm despertado uma considerável preocupação no que diz respeito ao meio ambiente, devido às suas propriedades mutagênicas e cancerígenas, além de serem persistentes, ou seja, permanecerem por um longo período de tempo no ambiente. Essas características têm levantado grandes preocupações em relação aos impactos negativos que esses metais podem causar na saúde humana e na ecologia.

Segundo Instituto Nacional de Tecnologia Agropecuária, (INTA,2022) tem-se alguns vegetais que conseguem bioacumular Cobre (Cu), Cádmiio (Cd), Zinco (Zn) e Arsênio (As), Manganês (Mg) entre outros metais, a *Baccharis dracunculifolia* é um desses vegetais e como mostra a tabela 4 os metais altamente tóxicos presentes no solo do PDER são Mg, Zn e Cu.

Tabela 4 - Dados metais altamente tóxicos e de ferro PDER Samarco.

<b>Dados de metais altamente tóxicos e de ferro PDER</b>		
Cobre (Cu)	0,30%	Muito baixo
Manganês (Mg)	19,60%	Médio
Zinco (Zn)	0,60%	Muito baixo
Ferro (Fe)	60,70%	Alto

Fonte: Relatório Hexágono Engenharia.

O solo do PDER da Samarco na sua maioria de metais altamente tóxicos apresenta 19,60% de Manganês, 0,60% de Zinco e 0,30% de Cobre, sendo que com essa quantidade é considerada baixa para com que a planta pode suportar segundo estudos comparados com Arsênio, a planta consegue suportar quantidades significativas cerca de 200 mg/kg do metal (MANFREDA, 2020).

Com essas características certamente a ocorrência da *Baccharis dracunculifolia* é dada como certa na região do quadrilátero ferrífero em Minas Gerais, tendo assim todas as propriedades exigidas pela planta para a sobrevivência da mesma na região.

A *Baccharis dracunculifolia* é uma planta que tem a capacidade de colonizar áreas de rejeitos de mineração e seu crescimento rápido e alta taxa de propagação foi um dos aspectos favoráveis para sua utilização. A planta foi identificada em grande quantidade em regiões ricas em metais altamente tóxicos nas proximidades de áreas mineradas em Minas Gerais. Devido às várias características mencionadas durante o presente estudo, a *Baccharis dracunculifolia* se destaca por seu rápido crescimento natural e ampla distribuição em diferentes tipos de biótopos sujeitos a diversos graus de distúrbios antrópicos e poluição atmosférica. Por essas razões, ela se torna uma candidata interessante para ser utilizada em estratégias de fitorremediação em projetos de recuperação de solos contaminados (MANFREDA, 2020).

Por essas características a hipótese de usar a *Baccharis dracunculifolia* como um agente fitorremediador é validada em locais perturbados por mineração de ferro

na região do quadrilátero ferrífero e não apenas para o Arsênio, por suas características pode-se dizer que a planta consegue fitorremediar, ou seja, adsorver metais altamente tóxicos de quase todos os tipos e fitoextrair os mesmos nas suas raízes e folhas, esses mecanismos podem abranger a supressão do sistema de absorção de fósforo de alta afinidade e a síntese de compostos que facilitam a desintoxicação intracelular dos metais absorvidos. Um exemplo desses mecanismos é a síntese de fitoquelatinas, que foram identificadas em estudos anteriores envolvendo várias espécies expostas ao arsênio. Essas fitoquelatinas desempenham um papel importante na ligação e na inativação do arsênio, ajudando a minimizar os efeitos tóxicos deste metal nas células vegetais.

#### **8.6. Características gerais do local de estudo PDER Alegria Sul (Pilha de Disposição de Estéril e Rejeitos Filtrados).**

Abaixo segue a figura 15 com dados da localização do PDER Alegria Sul (Google Earth, 2023), na Mina de Germano, com as seguintes coordenadas geográficas: Latitude: 20°11'32''S e Longitude: 43°30'09''W.

Figura 15 - Localização PDER Samarco.



Fonte: Relatório Hexágono Engenharia.

A Samarco optou pela Cava de Alegria Sul como a opção mais segura para a disposição da lama gerada, durante o beneficiamento, eliminando a necessidade de utilizar barragens. A quantidade de lama destinada à cava corresponde a cerca de 20% do rejeito total produzido na usina, a capacidade da cava é de 9,7 milhões de metros cúbicos, o que proporciona uma vida útil de aproximadamente 9 anos para a disposição do material. Após o processo de filtragem, o rejeito arenoso é empilhado a seco, enquanto a água do processo é tratada e reutilizada na indústria, evitando desperdícios e contribuindo para a sustentabilidade do processo (Home - Samarco Mineração).

As obras civis de infraestrutura realizadas na Cava Sul como mostra a figura 16, ocorreram entre outubro de 2018 e março de 2019, sendo concluídas sem qualquer acidente.

Figura 16 - Cava Sul da Samarco Mineração.



Fonte: (CAETANO, 2021)

Conforme demonstrado no esquema apresentado na figura 8 aproximadamente 80% do rejeito total, composto pelo rejeito arenoso adensado proveniente do espessador de rejeito localizado na área do concentrador 3, é transportado por meio de bombeamento para a planta de filtragem como mostra a figura 18 (CAETANO, 2021)

Segundo mesmo autor, na planta de filtragem, a polpa adensada é alimentada por gravidade em dois distribuidores de polpa, esses distribuidores por sua vez, fornecem a alimentação para seis filtros de disco a vácuo, cujo objetivo é garantir uma eficiente separação do material sólido e líquido, possibilitando um adequado desaguamento do rejeito. Essa etapa é fundamental para reduzir a quantidade de água presente no material e facilitar o manuseio e destinação adequada do rejeito resultante do processo de beneficiamento.

De acordo com o esquema apresentado na figura 8, cerca de 80% do rejeito total, o rejeito arenoso adensado advindo do espessador de rejeito, localizado na área do concentrador 3 (C3), é bombeado para a Planta da Filtragem (figura 17), onde a polpa adensada alimenta dois distribuidores de polpa por gravidade. Sendo que esses distribuidores por gravidade alimentam seis filtros de disco a vácuo a fim de garantir um bom desaguamento do material.

Figura 17 - Prédio de filtragem.



Fonte: (CAETANO 2021).

## 9. RESUMO DE RESULTADOS

*Baccharis dracunculifolia* é considerada uma planta com potencial fitorremediador para solo de rejeitos da mineração de ferro no quadrilátero ferrífero, o vegetal consegue por meio de mecanismos específicos adsorver os metais altamente tóxicos principalmente para suas raízes e folhas podendo assim utilizar o solo antes contaminado para outros serviços.

O solo do PDER da Samarco tem pouca presença de metais altamente tóxicos, porém a presença é comprovada por meio de análise laboratorial feitas pelo IMA (Instituto Mineiro de Agropecuária) e por isso torna-se o estudo viável da utilização da planta como agente fitorremediador no local estudo.

A região é propícia para o crescimento rápido, bom ciclo de vida, alta taxa de propagação e habilidade de acumular grandes quantidades de biomassa na região do quadrilátero ferrífero pela característica físicas exigidas pela planta como temperatura e exigências nutricionais.

A capacidade de *Baccharis dracunculifolia* em evitar o acúmulo de metais altamente tóxicos em suas raízes a torna uma planta exclusora nos solos da mineração de ferro. Essa característica é de grande interesse para a utilização dessa espécie em técnicas de fitoestabilização. A fitoestabilização é uma abordagem empregada na recuperação de áreas contaminadas, utilizando plantas capazes de sobreviver nesses locais e que promovem a estabilização do poluente por meio de sua imobilização no sistema radicular. Essas plantas contribuem para o restabelecimento da cobertura vegetal, criando um substrato adequado para a colonização e sobrevivência de outras espécies. Além disso, elas ajudam a prevenir a erosão e o transporte do poluente por meio de processos de lixiviação, evitando assim a contaminação de aquíferos e a entrada desses metais na cadeia produtiva.

O uso de pilhas de rejeito a seco pode ser uma alternativa mais segura para o descarte de rejeitos de mineração de ferro em comparação às barragens tradicionais. No entanto, sua implementação deve ser acompanhada por medidas de controle rigorosas e práticas de gestão responsáveis para garantir a proteção ambiental e a segurança das comunidades próximas às operações de mineração. É importante que as empresas adotem tecnologias e processos avançados, bem como sigam as regulamentações vigentes, a fim de mitigar os riscos e maximizar os benefícios ambientais do uso de pilhas de rejeito.

O PDER (Pilha de Disposição de estéril e rejeito) da Samarco é um local onde a empresa leva o estéril e o rejeito a seco depois de passar por todos os processos físicos e químicos citados anteriormente, com isso não se faz necessário a instalação de barragens de rejeitos a montante e a jusante, assim diminuindo o risco de impactos ambientais de longo alcance.

A *Baccharis dracunculifolia* poderá vir a ser implementada como estratégia de cobertura verde em projetos experimentais futuros, utilizando a pilha de disposição de estéril como substrato para o seu desenvolvimento. Além disso, a cobertura de alecrim do campo, poderá ser associada a uma tecnologia social como a apicultura por exemplo, cuja a própolis verde é obtida a partir da coleta da resina dos brotos dessa planta pelas abelhas, a exemplo do que está sendo realizado pelo grupo de pesquisas APICRIM CNPq.

## **10. CONCLUSÃO**

As amostras de solo do PDER Alegria Sul (Pilha de Disposição de Estéril e Rejeitos Filtrados) da Samarco apontam a presença de metais altamente tóxicos, como Cobre, Manganês e Zinco, porém em baixas concentrações no local.

As condições geográficas, as condições climáticas e os constituintes encontrados no solo da área de estudo, atendem às necessidades nutricionais, às exigências climáticas e estão adequadas as condições de desenvolvimento da planta, cuja identificação já foi constatada *in loco* na área de estudo.

A *Baccharis Dracunculifolia* é capaz, por suas características próprias, fitorremediar o solo estudado, conforme demonstrado nos dados bibliográficos armazenando os metais pesados estudados e presentes no solo em um processo específico denominado fitoestabilização.

O PDER tem por suas características ser um local de grande presença de areia e silte e alguns metais altamente tóxicos, pois ali se estoca a maioria dos rejeitos a seco da empresa.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

DIÁRIO OFICIAL DA UNIÃO. **Planalto.gov.br**. Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras providências. [S.l.]. Diário Oficial da União, 1981. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/leis/l6938.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l6938.htm)>. Acesso em: 21 mar. 2023.

BATISTA, Bianco Gotelipe Gomes. **O boom do minério de ferro na economia brasileira: Houve dutch disease**. Orientador: Marco Antonio Furtado e Wilson Trigueiro de Souza. 2009. 99 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Mineral, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2009. Disponível em: [chromeextension://efaidnbmnnnibpcajpcgltclfeindmkaj/https://www.repositorio.ufop.br/bitstream/123456789/2348/1/DISSERTA%C3%87%C3%83O\\_BoomMin%C3%A9rio Ferro.pdf](chromeextension://efaidnbmnnnibpcajpcgltclfeindmkaj/https://www.repositorio.ufop.br/bitstream/123456789/2348/1/DISSERTA%C3%87%C3%83O_BoomMin%C3%A9rio%20Ferro.pdf). acesso em: 24 jul. 2023.

SANTOS, Cristiano Figueiredo dos; NOVAK, Elaine. PLANTAS NATIVAS DO CERRADO E POSSIBILIDADES EM FITORREMEDIAÇÃO. **Revista de ciências ambientais - rca (issn 1981-8858)**, Mato Grosso do Sul, ano 2013, 1 jul.2013. Semanal.

CAMILA BOEHM. **Agência Brasil**. Água do Rio Doce está imprópria para consumo dois anos após tragédia de Mariana. São Paulo: Camila Boehm, 2017. Disponível em: <https://agenciabrasil.ebc.com.br/geral/noticia/2017-11/aguas-do-rio-doce-estao-improprias-para-consumo-2-anos-apos-tragedia-em#:~:text=As%20%C3%A1guas%20da%20bacia%20do,h%C3%A1%20dois%20anos%2C%20no%20munic%C3%ADpio>. Acesso em: 21 mar. 2023.

SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES SOBRE SEGURANÇA DE BARRAGENS. **snisb.gov.b**. Informações sobre barragens no Brasil. [S.l.]. Sistema Nacional de Informações sobre Segurança de Barragens, 2010. Disponível em: <https://www.snisb.gov.br/portal-snisb/inicio>. Acesso em: 17 mar. 2023.

VIANA, João Paulo. **Os pescadores da bacia do rio doce: subsídios para a mitigação dos impactos socioambientais do desastre da samarco em mariana, minas gerais.** 11. ed. Brasília: ipea, 2016.

RUSSO, Camila Carvalheiro. ASPECTOS DE RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS. **aspectos de recuperação de áreas degradadas**, São Paulo, 2014.

GERALDINO, Carlos Francisco Gerencsez. **Uma definição de meio ambiente.** 2. ed. São Paulo: geousp, v. 18, 2014.

BASTOS, Esther Margarida Alves Ferreira. **Origem botânica e indicadores de qualidade da própolis verde produzida no Estado de Minas Gerais, Brasil.** 2001. Tese (Doutorado) – Universidade de São Paulo, Ribeirão Preto, 2001. Disponível em: <http://hygeia.fsp.usp.br/laudio/mp3/teses/2006/bas001.mp3>. Acesso em: 20 mai. 2023.

BARROSO, Graziela Maciel. **Compositae-sub-tribo Baccharidinae Hoffmann: Estudo das espécies ocorrentes no Brasil.** 1973. Tese (Doutorado) - Curso de Doutorado, Universidade Estadual de Campinas. Instituto de Biologia, Campinas, 1973.

SOUZA, Juliana M. O. *et al.* **Arsênio e arroz: toxicidade, metabolismo e segurança alimentar.** 2014. Tese (Doutorado) - Curso de Doutorado, Universidade Estadual de Campinas. Instituto de Biologia, Campinas, 2015.

SAMARCO MINERAÇÃO. Prontidão Operacional. **Restart Plan.** Mariana, 2019. 88 p.

SIMMONS, G. C. Canga Caves in the Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brazil. The National Speleological Society Bulletin v. 25 6672, 1963. (Traduzido por Augusto Auler).

ESPÍRITO-SANTO, M.M., MADEIRA, B.G., NEVES, F.S., FARIA, M.L., FAGUNDES, M. & FERNANDES, G.W. 2003. Sexual differences in reproductive phenology and their consequences to the demography of *Baccharis dracunculifolia* (Asteraceae), a dioecious tropical shrub. *Annals of Botany*, 91: 13–19.

FAGUNDES, Marcílio; NEVES, Frederico; FERNANDES, G. Wilson. Direct and indirect interactions involving ants, insectherbivores, parasitoids, and the host plant *Baccharis dracunculifolia* (Asteraceae). **Direct and indirect interactions involving ants, insectherbivores, parasitoids, and the host plant *Baccharis dracunculifolia* (Asteraceae)**, [s. l.], 2005.

RODRIGUES, Debora Munhoz. **Baccharis dracunculifolia: Formação de pasto apícola, estudo das interações com *Apis mellifera* e insetos galhadores na produção de própolis verde**. Orientador: Jairo Kenupp Bastos. 2017. Dissertação (Mestrado) - Curso de Ciências Farmacêuticas, Faculdade de Ciências Farmacêuticas de Ribeirão Preto, Ribeirão Preto, 2017.

TAVARES, Sílvio Roberto de Lucena. **Fitorremediação em solo e água de áreas contaminadas por metais pesados provenientes da disposição de resíduos perigosos**. Orientador: Cláudio Fernando Mahler. 2009. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2009.

CARBONELL-BARRACHINA, A.A... *et al.* **The influence of arsenite concentration on arsenic accumulation in tomato and bean plants.** Horticultural Scientia: Elsevier, v. 71, 1997.

Lokhande VH, Srivastava S, Patade VY, Dwivedi S, Tripathi RD, Nikam TD, Suprasanna P. Investigação do acúmulo de arsênio e potencial de tolerância de *Sesuvium portulacastrum* (L.) L. Quimiosfera. Janeiro de 2011;82(4):529-34. DOI: 10.1016/j.chemosphere.2010.10.059. EPub 2010 11 de novembro. PMID: 21074240.

SEHNEM, Simone; ROSSETTO, Adriana Marques. **Estratégia ambiental e desempenho econ mico e ambiental: um modelo de análise para o setor de frigoríficos.** 2014. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/0104-530X834-11>. Acesso em: 05 jul. 2023.

JULIANO, Ester Feche Guimarães de Arruda; MALHEIROS, Tadeu Fabrício; MARQUES, Rui Cunha. **Lideranças comunitárias e o cuidado com a saúde, o meio ambiente e o saneamento nas áreas de vulnerabilidade social.** Disponível em: <https://www.scielo.br/j/csc/a/3CfNnrcwjhqD3gmNpnGsqrL/>. Acesso em: 03 ago. 2023.

ANDRADE, Maurício Gomes de; MELO, Vander de Freitas; GABARDO, Juarez; SOUZA, Luiz Cláudio de Paula; REISSMANN, Carlos Bruno. **Metais pesados em solos de área de minera o e metalurgia de chumbo. i - fitoextra o.** 2009. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbcs/a/hNLjRp8byHZMW3cLfKFFPJz/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 14 maio 2023.

AGUIAR, Felipe Leonardo de. **Redu o do Impacto Ambiental através da recupera o dos ultrafinos de minério de ferro:** uma revisão. 2013. 59 f. Monografia (Especializa o) - Curso de Engenharia de Recursos Minerais, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, Minas Gerais, 2013.

BITAR, Omar Yazbek. **Avaliação da recuperação de áreas degradadas por mineração na região metropolitana de São Paulo**. 1997. 184 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Mineral, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 1997.

CÂNDIDO, Fabrícia Aparecida de Souza. **Um estudo sobre os impactos socioeconômicos da paralisação das atividades da Samarco para a cidade de Mariana**. 2018. 29 f. Monografia (Especialização) - Curso de Administração, Universidade Federal de Ouro Preto, Mariana, Minas Gerais, 2018.

CAETANO, Melyna Lara. **Os desafios da retomada operacional da samarco: caso: complexo germano**. 2021. 61 f. Monografia (Especialização) - Curso de Engenharia de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, Minas Gerais, 2021.

SILVA, Gilson Pereira; FONTES, Maurício Paulo Ferreira; COSTA, Liovando Marciano da; VENEGAS3, Victor Hugo Alvarez. **Potencialidade de plantas para revegetação de estéreis e rejeito da mineração de ferro da mina de alegria, mariana-mg**. 2006. Disponível em: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=253020206004>. Acesso em: 17 mar. 2023.

CAMARGO; KLAMT; KAUFFMAN. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 1987. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/1092741/1/SistemaBrasileirodeClassificacaodeSolos1987BInfSBCS.pdf>. Acesso em: 17 mar. 2023.

COSTA, Samuel Ângelo Diógenes da. **Caracterização química, física, mineralógica e classificação de solos ricos em ferro do quadrilátero ferrífero**. 2003. 70 f. Tese (Doutorado) - Curso de Pós Graduação de Solos e Nutrição de Plantas, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, Minas Gerais, 2003.

LARA, Rodrigo de Oliveira; PEREIRA, Israel Marinho; SILVA, Michele Aparecida Pereira da. **Caracterização química, física e elementar de substratos oriundos da mineração de ferro em conceição do mato dentro – mg**. 2017. Disponível em: <http://www.conhecer.org.br/Agrarian%20Academy/2017b/caracterizacao%20quimica%20fisica.pdf>. Acesso em: 25 maio 2023.

SIDRIM, Luna Leite. **Crescimento de plantas em solos e estéreis de área de mineração de ferro**. 2019. 50 f. Monografia (Especialização) - Curso de Engenharia Ambiental e Energias Renováveis, Universidade Federal Rural da Amazônia, Belém, 2019.

COELHO, Maurício Rizzato; FIDALGO, Elaine Cristina; SANTOS, Humberto Gonçalves dos; BREFIN, Maria de Lourdes Mendonça Santos; PÉREZ, Daniel Vidal. **Solos: tipos, suas funções no ambiente, como se formam e sua relação com o crescimento das plantas**. Disponível em: <https://www.bibliotecaagptea.org.br/agricultura/solos/livros/SOLOS%20CRESCIMENTOS%20DE%20PLANTAS.pdf>. Acesso em: 22 jul. 2023.

GILBERTI, Livia Horta. **Potencial para o uso da espécie nativa, baccharis dracunculifolia dc (asteraceae) na fitorremediação de áreas contaminadas por arsênio**. 2012. 68 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Mestre em Biologia Vegetal, Área de Concentração Botânica Aplicada, Instituto de Ciências Biológicas da Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, Minas Gerais, 2012.

KABATA-PENDIAS, Alina. **Trace Elements in Soils and Plants**. 2010. Disponível em: <https://doi.org/10.1201/b10158>. Acesso em: 05 ago. 2023.

CASAGRANDE, Maira. **Influência do tempo, temperatura e solvente na extração de compostos bioativos de Baccharis dracunculifolia : atividade antioxidante in vitro potencial antimicrobiano e quantificação de compostos fenólicos**. 2018. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0926669018307878>. Acesso em: 14 maio 2023.

SFORCIN, José Maurício et al. **Baccharis dracunculifolia: uma das principais fontes vegetais da própolis brasileira**. São Paulo: Editora Unesp, 2012. ISBN 9788539303762 Disponível em: <<http://hdl.handle.net/11449/113675>>. Acesso em: 17.maio.2023.

BUDEL; DUARTE; SANTOS; FARAGO; MATZENBACHER. **O progresso da pesquisa sobre o gênero Baccharis, Asteraceae: I - Estudos botânicos**. 2005. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbfar/a/QFzmnTKJNx3tMx4QZXMg3yS/>. Acesso em: 11 jun. 2023.

RANALI, Marli A.; SANTANA, Denise Garcia de; FERREIRA, Wanessa Resende; MENDES-RODRIGUES, Clesnan. **Calculando medidas de germinação e organizando planilhas eletrônicas**. 2009. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbb/a/Ybz4PfzG4kVdQZHnKmxvbd/>. Acesso em: 22 maio 2023.

PETERSEN, Brunna Castilhos; SOUZA, Débora Machado de; SCHNEIDER, Joice Brochier; SILVA, Jenifer Lima da; LUDWIG, Larissa da Costa; MODOLO, Regina Célia Espinosa; EVALDT, Daiane Calheiro; MORAES, Carlos Alberto Mendes. **USO DA FITORREMEDIAÇÃO COMO TRATAMENTO PARA RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS**. *Revista Foco*, [S.L.], v. 16, n. 02, p. 01-15, 10 fev. 2023. South Florida Publishing LLC. <http://dx.doi.org/10.54751/revistafoco.v16n2-112>.

MANFREDA, Vilma Teresa; ALCARAZ, María Luciana; SCARAMUZZINO, Rosa Lourdes. **Germinación de Baccharis dracunculifolia subsp. tandilensis: caracterización basada en la temperatura, la luz y la salinidad**. 2020. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rod/a/jqCTvNpGCKb5khSdyXXqHxx/?format=pdf&lang=en>. Acesso em: 26 mar. 2023.

BELINI, Camila Moreira Batista. **Baccharis dracunculifolia DC. (Asteraceae): COMPOSIÇÃO DO ÓLEO ESSENCIAL, DIVERSIDADE E PARÂMETROS GENÉTICOS**. 2015. 91 f. Tese (Doutorado) - Curso de Doutor em Agronomia, Faculdade de Ciências Agrônômicas da Unesp, Botucatu - Sp, 2015.

VIDEIRA, Sandy Sampaio; CUNHA, Cláudia Duarte da. **Biorremediação de solos multicontaminados e de áreas impactadas pela mineração: Acessando a diversidade microbiana através do sequenciamento de nova geração**. 2018. Disponível em: <http://mineralis.cetem.gov.br/bitstream/cetem/2226/1/STA-105.pdf>. Acesso em: 18 jul. 2023.

FABRI; NOGUEIRA; DUTRA; BOUZADA. **Potencial antioxidante e antimicrobiano de espécies da família Asteraceae**. 2011. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbpm/a/kRx5PNhfjqM4Y3xWzpk9TSg/#>. Acesso em: 11 ago. 2023.

FERRONATTO, Regina; MARCHESAN, Eli Danieli; PEZENTI, Emanuelli; BEDNARSKI, Franciela; ONOFRE, Sideney Becker. **Atividade antimicrobiana de óleos essenciais produzidos por Baccharis dracunculifolia D.C. e Baccharis uncinella D.C. (Asteraceae).** 2007. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbfar/a/LNJHHxfgBxPTvWTR64SRh3x/?lang=pt>. Acesso em: 08 ago. 2023.

PIRES. **Fitorremediação de solos contaminados com herbicidas:** fitorremediação de solos contaminados com herbicidas. Fitorremediação de solos contaminados com herbicidas. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0100-83582003000200020>. Acesso em: 22 mar. 2023.

REIS, Andressa B. Esteves dos; FERNANDES, Bruno L.; ALVES, Natália. **Fitorremediação de solos contaminados.** Juiz de Fora, Mg: Sonoro Vídeo, 2012. 40 slides, color.

AMÉRICO, Ricardo Henrique Barbosa. **Proposta de requalificação do cavouco utilizando o processo de fitorremediação.** 2023. 168 f. Monografia (Especialização) - Curso de Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, Pernambuco, 2023.

TAVARES, Sílvio Roberto de Lucena. **Fitorremediação em solo e água de áreas contaminadas por metais pesados provenientes da disposição de resíduos perigosos.** 2009. 371 f. Tese (Doutorado) - Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Coppe, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2009.

SILVA, Renato Ferreira da. **Análise dos impactos ambientais da Urbanização sobre os recursos hídricos na sub-bacia do Córrego Vargem Grande em Montes Claros-MG.** 2016. Disponível em: <http://periodicos.pucminas.br/index.php/geografia/article/view/p.2318-2962.2016v26n47p966/10148>. Acesso em: 22 mar. 2023.

GOMIDE, Caroline Siqueira; COELHO, Tadzio Peters; TROCATE, Charles; MILANEZ, Bruno; WANDERLEY, Luiz Jardim de Moraes. **DICIONÁRIO CRÍTICO DA MINERAÇÃO.** Marabá: Iguana, 2018.

HONAISSER, Thais Medeiros P.. **Licenciamento ambiental e sua importancia.** Disponível em: <http://intertemas.toledoprudente.edu.br/index.php/ETIC/article/viewFile/2569/2201#:~:text=Neste%20sentido%20contribuem%20para%20preven%C3%A7%C3%A3o,social%20e%20a%20qualidade%20ambiental..> Acesso em: 17 abr. 2023.

PRADO FILHO, José Francisco do; SOUZA, Marcelo Pereira de. O LICENCIAMENTO AMBIENTAL DA MINERAÇÃO NO QUADRILÁTERO FERRÍFERO DE MINAS GERAIS – UMA ANÁLISE DA IMPLEMENTAÇÃO DE MEDIDAS DE CONTROLE AMBIENTAL FORMULADAS EM EIAS/RIMAS. **Eng Sanit Ambient**, Campo Grande - Ms, v. 9, n. 4, p. 343-349, 05 ago. 2023.

SÁNCHEZ, Lu/S Enr/Que. Gerenciamento ambiental e a, indústria de mineração. **Revista de Administração**, São Paulo, v. 29, n. 1, p. 67-75, 01 jan. 1994.

VIEIRA, Elias Antonio. A (in) sustentabilidade da indústria da mineração no Brasil. **Estação Científica (Unifap)**, Macapá, v. 1, n. 2, p. 1-15, 12 set. 2011.

BRASIL. **Legislação Básica Aplicada À Recuperação Ambiental.** Ilheus, Bahia: Uesc, p. 32-39.

BRANDI, Iuri Viana. **Estudo da efetividade dos Planos de Recuperação de Áreas Degradadas (PRADs) de atividades de exploração de minério de ferro na região do Quadrilátero Ferrífero - MG.** 1994. 114 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Ciências da Engenharia Ambiental, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos,, São Carlos, Sp, 1994.

PAIXÃO, Marina Damasceno; WILKEN, Adriana Alves Pereira. ALTERNATIVAS PARA LA DISPOSICIÓN DE RESIDUOS MINEROS EN LA EVALUACIÓN DE IMPACTO AMBIENTAL EN EL ESTADO DE MINAS GERAIS. **Revista Geografica Acadêmica - Rga**, Roraima, v. 15, n. 1, p. 33-56, 13 jul. 2021.

GOMES, Ana Cláudia Franca. **Estudo de aproveitamento de rejeito de mineração.** 2017. 84 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Metalúrgica, Materiais e de Minas, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, Minas Gerais, 2017.

SILVA, Gilson Pereira; FONTES, Maurício Paulo Ferreira; COSTA, Liovando Marciano da; BARROS, Nairam Félix de. **Caracterização química, física e mineralógica de estéreis e rejeito da mineração de ferro da mina de alegria, mariana-mg.** 2006. Disponível em: <file:///C:/Users/comer/Downloads/2171-Texto%20do%20artigo-8658-9292-10-20071027.pdf>. Acesso em: 14 jun. 2023.

LOPES, L. M. N. O rompimento da barragem de Mariana e seus impactos socioambientais. **Sinapse Múltipla**, v. 5, n. 1, p. 1, 14 jul. 2016.

PRATES, Caroline Duarte. **Transformação de rejeitos da mineração de ferro e serpentinito em silicatos e outros produtos de valor agregado.** 2022. 148 f. Tese (Doutorado) - Curso de Doutor em Ciências - Química, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, Minas Gerais, 2023.