



UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA  
ICIAG – INSTITUTO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS



ALEXANDRE RAMOS PEREIRA

**Espécies de plantas nativas brasileiras com potencial de fitorremediação de metais: uma  
revisão de literatura.**

Uberlândia

2022

ALEXANDRE RAMOS PEREIRA

**Espécies de plantas nativas brasileiras com potencial de fitorremediação de metais: uma  
revisão de literatura.**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Instituto de Ciências Agrárias da Universidade Federal de Uberlândia como requisito parcial para obtenção do título de bacharel, em Engenharia Ambiental.

Orientador: Prof. Dr. Lucas Carvalho Basílio de Azevedo

Uberlândia

2022

Ficha Catalográfica Online do Sistema de Bibliotecas da  
UFU com dados informados pelo(a) próprio(a)  
autor(a).

P436 Pereira, Alexandre Ramos, 1989-  
2022 Espécies de plantas nativas brasileiras com  
potencial de fitorremediação de metais [recurso  
eletrônico] : Uma revisão de literatura. /  
Alexandre Ramos Pereira. - 2022.

Orientadora: Lucas Carvalho Basílio de  
Azevedo. Trabalho de Conclusão de Curso  
(graduação) -  
Universidade Federal de Uberlândia, Graduação  
em Engenharia Ambiental.

Modo de acesso:  
Internet. Inclui  
bibliografia.  
Inclui ilustrações.

1. Engenharia ambiental. I. Azevedo, Lucas  
Carvalho Basílio de, 1980-, (Orient.). II.

Bibliotecários responsáveis pela estrutura de acordo com o  
AACR2: Gizele Cristine Nunes do Couto - CRB6/2091  
Nelson Marcos Ferreira - CRB6/3074

ALEXANDRE RAMOS PEREIRA

**Espécies de plantas nativas brasileiras com potencial de fitorremediação de metais:  
uma revisão de literatura.**

Trabalho de Conclusão de Curso  
apresentado ao Instituto de Ciências  
Agrárias da Universidade Federal de  
Uberlândia como requisito parcial para  
obtenção do título de bacharel, em  
Engenharia Ambiental.

Orientador: Prof. Dr. Lucas Carvalho Basílio  
de Azevedo

Uberlândia, 2022  
Banca Examinadora:

---

Prof. Dr. Lucas Carvalho Basílio de Azevedo.  
Presidente da Banca  
Universidade Federal de Uberlândia

---

Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup> Ana Sílvia Franco Pinheiro Moreira  
Membro interno  
Universidade Federal de Uberlândia

---

Mestranda Maria Clara de Andrade Pereira da Silva  
Membro externo  
Instituto Federal Goiano

Dedico este trabalho à todas as pessoas que acreditaram em meu potencial e que me deram apoio, em especial à minha mãe Edir e aos meus padrinhos, Adelina e Lenito pelo abrigo, estímulo, paciência e compreensão. À Deus, por me abençoar com determinação e por me manter firme nos meus propósitos.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço ao professor Lucas Carvalho Basílio de Azevedo pelo incentivo, motivação e orientação nesta caminhada acadêmica. Ao meu colega de pesquisa, Luiz Campos pelo trabalho em equipe no desenvolvimento desta revisão, aos meus pais, irmãos e amigos pelo encorajamento. À Deus por tornar tudo isso possível.

## RESUMO

A Fitorremediação (*phyto* = planta; *remedium* = cura, restauração) é o processo no qual se utilizam plantas para descontaminação ambiental, por meio de remoção, redução, degradação e contenção do contaminante. Neste processo, podendo ser usadas diversas plantas, inclusive as aquáticas e as algas. As estratégias de fitorremediação têm potencial de tratar um amplo espectro de contaminantes. O Brasil possui grande potencial para utilizar a fitorremediação no tratamento de áreas contaminadas devido a sua elevada biodiversidade e clima, que são favoráveis aos processos biológicos para remoção de contaminantes. A técnica é frequentemente utilizada na remediação de metais pesados, radionuclídeos, bem como poluentes orgânicos recalcitrantes. Para um desempenho satisfatório na remediação de metais, é desejável que as plantas que possuam tolerância ao contaminante, boa capacidade de absorção ou adsorção do metal, alta taxa de crescimento, sistema radicular profundo, fácil colheita. O conhecimento de espécies vegetais potencialmente fitorremediadoras é um passo inicial e fundamental para estudos e projetos de descontaminação. Então, considerando a grande diversidade vegetal do Brasil, esta revisão objetivou o levantamento de espécies da flora brasileira potencialmente fitorremediadoras de metais pesados. Para isso, foi investigada na literatura, a capacidade e tolerância, assim como o processo de fitorremediação predominante na descontaminação de metais pesados por diferentes espécies e famílias botânicas nativas do Brasil. Foram encontradas 108 espécies de plantas nativas empregadas em estudos de fitorremediação de metais. As espécies identificadas pertencem a 42 famílias botânicas distintas. Com 19 espécies, a família Fabaceae é a mais representada nos estudos, mostrando possuir potencial em fitorremediar 8 metais pesados. Também se destacaram a Asteraceae com 9 espécies remediando 4 tipos de metais, e Poaceae com 5 espécies estudadas remediando 6 metais. Em relação aos metais, percebe-se que a maioria dos estudos de fitorremediação, utilizaram o cobre e o zinco como alvo de descontaminação. Embora haja muito a se explorar quanto ao uso de espécies provenientes da flora brasileira, os resultados são satisfatórios, contribuem para o avanço do conhecimento, e já oferece uma quantidade significativa de possíveis espécies vegetais para a remediação metais.

**Palavras chave:** Biorremediação. Fitoextração. Hiperacumulador. Fitoestabilização. . Contaminantes do solo. Metais pesados. Elementos traço. Descontaminação do solo. Plantas brasileiras.

### ABSTRACT

Phytoremediation (*phyto* = plant; *remedium* = cure, restoration) is the process in which plants are used for environmental decontamination, through removal, reduction, degradation and containment of the contaminant. In this process, different plants can be used, including aquatic plants and algae. Phytoremediation strategies have the potential to treat a broad spectrum of contaminants. Brazil has great potential to use phytoremediation in the treatment of contaminated areas due to its high biodiversity and climate, which are favorable to biological processes to remove contaminants. The technique is frequently used in the remediation of heavy metals, radionuclides, as well as recalcitrant organic pollutants. For a satisfactory performance in the remediation of metals, it is desirable that the plants have tolerance to the contaminant, good capacity of absorption or adsorption of the metal, high growth rate, deep root system, easy harvest. The knowledge of potentially phytoremediating plant species is an initial and fundamental step for decontamination studies and projects. So, considering the great plant diversity of Brazil, this review aimed to survey species of Brazilian flora potentially phytoremediators of heavy metals. For this, the capacity and tolerance, as well as the predominant phytoremediation process in the decontamination of heavy metals by different species and botanical families native to Brazil, were investigated in the literature. We found 108 species of native plants used in metal phytoremediation studies. The identified species belong to 42 distinct botanical families. With 19 species, the Fabaceae family is the most represented in the studies, showing potential to phytoremediate 8 heavy metals. Asteraceae also stood out with 9 species remediating 4 types of metals, and Poaceae with 5 species studied remediating 6 metals. Regarding metals, it is clear that most phytoremediation studies used copper and zinc as decontamination targets. Although there is much to be explored regarding the use of species from the Brazilian flora, the results are satisfactory, contribute to the advancement of knowledge, and already offer a significant amount of possible plant species for metals remediation.

**Keywords:** Bioremediation. Phytoextraction. Hyperaccumulator. Phytostabilization. Soil contaminants. Heavy metals. Dash elements. Soil decontamination. Brazilian plants.



## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> - Número de espécies vegetais de ocorrências nativas, cultivadas e naturalizadas no Brasil, de acordo com os grupos (herbário Refflora, Flora e Funga do Brasil, 2022. )..	13
<b>Figura 2</b> - Mecanismos de fitoextração. ....	15
<b>Figura 3</b> – Rizofiltração.....	16
<b>Figura 4</b> –Remoção e volatilização para a atmosfera. ....	17
<b>Figura 5</b> - Resumo das técnicas da Fitorremediação. ....	18
<b>Figura 6</b> -Evolução panorâmica da fitorremediação. ....	21
<b>Figura 7</b> - Inventário das famílias e o número de indivíduos encontrados.....	20
<b>Figura 8</b> - Relação de indivíduos por contaminantes .....	26
<b>Figura 9</b> – Relação da quantidade de plantas e os processos de fitorremediação envolvidos.....	27

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1</b> - Resumo das técnicas de fitorremediação.....	18
<b>Tabela 2</b> -Espécies nativas do Brasil verificadas e prospectadas na fitorremediação de metais pesados. ....	21

**LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS**

As – Arsênio

Cd – Cádmio

CNCFlora - Centro Nacional de Conservação da Flora

Cr – Cromo

Cu – Cobre

FT – Fitoestabilização

FX – Fitoextração

FV – Fitovolatilização

Hg - Mercúrio

IBF – Instituto Brasileiro de Florestas

Mn - Manganês

MMA – Ministério do Meio Ambiente

Ni – Níquel

Pb – Chumbo

RZ - Rizofiltração

SiBBr - Sistema de Informação sobre a Biodiversidade Brasileira

UFU - Universidade Federal de Uberlândia

Zn - Zinco

## SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO .....	10
1.1	Diversidade vegetal brasileira .....	12
1.2	Metais pesados como poluentes .....	13
1.3	Plantas metalólicas .....	14
2.	TÉCNICAS DE FITORREMEDIAÇÃO DE METAIS.....	14
2.1	Fitoextração .....	15
2.2	Rizofiltração .....	16
2.3	Fitoestabilização .....	16
2.4	Fitovolatilização .....	17
2.5	Resumo das estratégias de fitorremediação.....	18
2.6	Características dos vegetais para a fitorremediação .....	19
3.	METODOLOGIA.....	19
4.	RESULTADOS .....	20
5.	DISCUSSÃO.....	27
5.1	Zinco (Zn) e Cobre (Cu):.....	27
5.2	Cádmio (Cd), Cromo (Cr), Mercúrio (Hg) e Chumbo (Pb): .....	28
5.4	Mercúrio – Hg: .....	29
6.	CONCLUSÃO.....	29

## 1 INTRODUÇÃO

Em todo o mundo, a preocupação com a degradação do ambiente tem despertado a procura por alternativas de descontaminação e recuperação visando recompro as funções ecossistêmicas (Braun et al., 2019). A contaminação do solo com poluentes orgânicos e inorgânicos diversos, provenientes das atividades antrópicas, tem chamado atenção em virtude dos impactos para a qualidade do solo, da água, dos ecossistemas e da saúde humana (Jones e Anselmo 2005).

O solo e a água são dois importantes recursos naturais que possuem funções e usos múltiplos para os ecossistemas e atividades humanas (Pereira et al., 2018). Os solos definem-se como corpos tridimensionais inconsolidados, complexos e dinâmicos, mas organizados, compostos por componentes minerais, orgânicos (inclusive seres vivos), gases e solução aquosa (Santos et.; 2018), e que funciona como um sistema aberto. Nesse sentido, solos têm funções essenciais para a produtividade primária de ecossistemas de terra firme, para a produção de alimentos, para o estoque de carbono, para diversidade e atividade microbiológica, para os ciclos biogeoquímicos, são base para infraestrutura e participam de forma essencial no ciclo hidrológico. Dessa forma, os solos possuem funções ecossistêmicas, tecnológicas, e para a promoção da saúde humana e do bem social.

A água é um bem natural essencial à vida. Mineral presente na natureza nos estados sólido, líquido e gasoso. É um recurso que se renova pelos processos físicos do ciclo hidrológico, decorrente da ação do calor do sol e das forças da gravidade. É, ainda, parte integrante dos seres vivos. Na hidrosfera, a água flui por compartimentos, completando o ciclo hidrológico (Machado et. Al, 2010). Dentro deste ciclo, os solos têm função primordial como receptor, filtro e emissor gradual de água. Nesse contexto, é importante que os solos apresentem os atributos preservados para recepção, infiltração, absorção e drenagem da água. Portanto, para garantir a qualidade da água, é também essencial que os solos estejam limpos. Contrariamente, a poluição do solo gera uma cascata de impactos no ecossistema.

Uma classe de poluentes é a de metais pesados, onde a maioria ocorre naturalmente em baixas concentrações. No entanto, o aumento das atividades antropogênicas devido à industrialização e desenvolvimento tecnológico, somado às crescentes urbanização e população mundial, resulta em aumento dos casos de

contaminação de solos e águas. No Brasil, assim como em outros países, as principais causas da contaminação do solo por algum metal é a mineração. Para acessar o minério, a mineração pode alterar drasticamente a paisagem. O processo envolve a remoção de grandes quantidades de rocha e solo, com uso intensivo de água, o que acaba gerando rejeitos, com metais potencialmente tóxicos. Em casos de rompimentos de barragens, os rejeitos liberados poluem os solos, rios, plantas, a biota associada e populações humanas locais (Burritt e Christ, 2018). Além da mineração, as atividades de siderurgia, metalurgia e galvanoplastia, queima de combustíveis, tratamento de resíduos e efluentes industriais podem ser listados como os principais fatores para a poluição por metais (DONG, et al., 2010). A agricultura também pode eventualmente poluir o solo com metais pesados. Aplicações de fertilizantes, pesticidas e lamas das estações de tratamento de esgoto pode poluir tanto o solo como águas superficiais e subterrâneas (European Environment Agency, 2000).

Além de poluir o ar, o solo e a água, muitos são os impactos gerados pelos metais pesados, como por exemplo, seu efeito bioacumulativo nas cadeias tróficas. Nos organismos, podem desregular as funções de outros metais cofatores enzimáticos, desnaturar proteínas e, conseqüentemente, afetar o funcionamento celular (MUNIZ & OLIVEIRA-FILHO, 2006). Isso causa morte, diminuição de atividade, quantidade e diversidade biológica.

Em vista do impacto das contaminações por metais sobre o ecossistema, atividades socioeconômicas e saúde humana, há o interesse no desenvolvimento de estratégias de remediação, as quais visam reduzir a concentração, a toxidez e os riscos de poluições. Dentre as formas de remediação, há um grupo de ações que recebem o nome de biorremediação por usarem seres vivos ou seus processos na descontaminação. Uma das alternativas é o uso de plantas, que estão aptas a acumular alguns tipos de metais pesados que são essenciais ao seu desenvolvimento, como o Cu, Fe, Mn, Mo, Ni e Zn.

Os metais podem influenciar significativamente as atividades fisiológicas das plantas, como a fotossíntese; o transporte de água; a absorção de elementos essenciais; clorose; distúrbios fisiológicos, como crescimento de plantas atrofiadas e mudanças na taxa de reprodução (Shahid et al., 2017; Zhang et al., 2017). No entanto, algumas plantas podem se adaptar a essas condições e tolerar altas concentrações de metais em sua biomassa, portanto, são úteis na restauração ambiental e na remediação (Prasad, 2015;

Lam et al., 2017, 2018). Nesse sentido, dentre a diversidade vegetal, algumas podem acumular, adsorver ou estimular a precipitação na rizosfera de metais contaminantes, como Cd, Cr, Pb, Ag, Se e Hg. De uma forma geral, estes poluentes são imobilizados, ou removidos do solo e da água pelas plantas e podem se concentrar na rizosfera, na superfície da raiz, dentro das raízes ou na parte aérea. Isso se deve, principalmente, pela capacidade fisiológica e bioquímica que as plantas apresentam ao se adaptar as diferentes condições do ambiente e de estimular processos no solo próximo às raízes (SOUZA, 2010). Portanto, a fitorremediação é um processo de biorremediação indireta, no qual se utilizam as plantas para auxiliar na remoção ou estabilização dos poluentes. No caso de fitorremediação de metais pesados, existem basicamente quatro técnicas utilizadas para tal fim: fitoextração, rizofiltração ou fitofiltração, fitoestabilização e fitovolatilização, cada uma com seu mecanismo específico a ser detalhado nas próximas seções deste estudo.

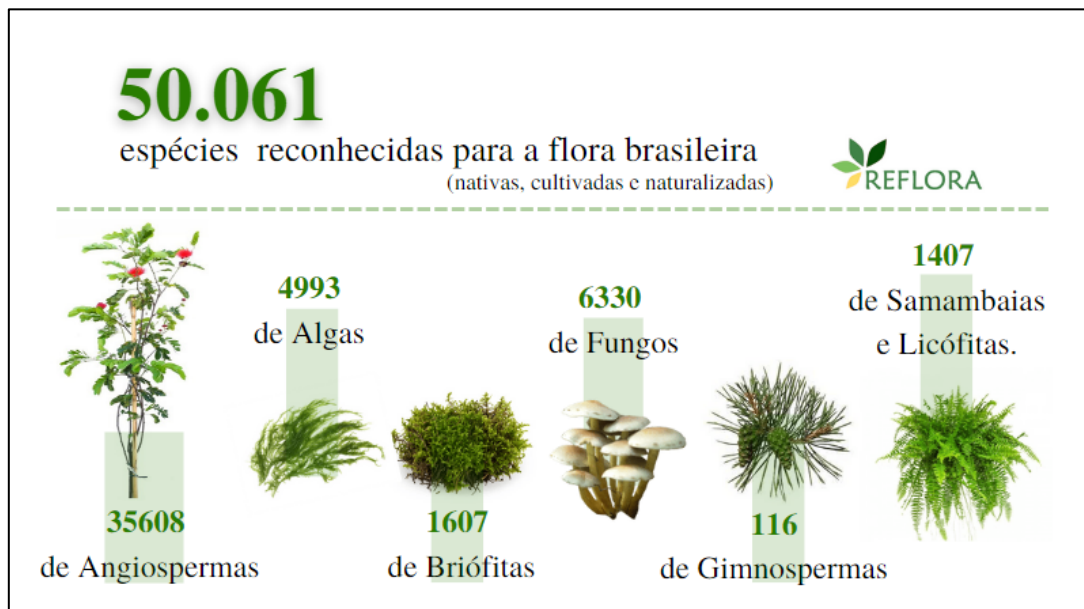
As plantas empregadas para fins de fitorremediação idealmente devem possuir algumas características específicas, como tolerâncias ao contaminante, à baixa fertilidade, a pragas e doenças, crescimento rápido, sistema radicular denso e capacidade de acumular ou imobilizar os contaminantes (Prabakaran et al, 2019). Por isso, a busca e o reconhecimento de plantas adaptadas ao clima e ao solo e que sejam eficientes para descontaminação é importante para se ter mais opções no momento de seleção do vegetal para a fitorremediação.

Dessa forma, considerando o crescente número de casos de contaminação por metais, considerando a importância do conhecimento de espécies úteis para a descontaminação, e considerando o Brasil como um detentor de grande diversidade vegetal, o objetivo deste trabalho consistiu em prospectar na literatura científica espécies nativas da flora brasileira, endêmicas ou não endêmicas e levantar sua potencialidade quanto a capacidade de fitorremediação de metais pesados.

### **1.1 Diversidade vegetal brasileira**

O Brasil possui grande potencial para utilizar tanto a biorremediação como a fitorremediação no tratamento de áreas contaminadas pelo fato de o país apresentar à elevada biodiversidade e climas favoráveis aos processos biológicos (Heemann et al, 2018). O País conta com uma das floras mais diversas do mundo, com mais de 50 mil espécies conhecidas, correspondendo a cerca de 20% do total mundial (BRASIL, MMA, 2002). De acordo com o herbário virtual Re flora, são reconhecidas 50.061 espécies para

a flora brasileira (nativas, cultivadas e naturalizadas), sendo 4.993 Algas, 35.608 Angiospermas, 1.607 Briófitas, 6.330 Fungos, 116 Gimnospermas e 1.407 Samambaias e Licófitas (Figura 1).



**Figura 1** - Número de espécies vegetais de ocorrências nativas, cultivadas e naturalizadas no Brasil, de acordo com os grupos (herbário Reflora, Flora e Funga do Brasil, 2022. ). **Fonte:** Elaborado pelo autor, Reflora.

## 1.2 Metais pesados como poluentes

Os metais pesados ocorrem naturalmente na crosta terrestre. Um dos principais conceitos para “Metais pesados” é baseado na densidade da forma elementar do metal, Carolin (2017), classifica “metais pesados” como aqueles metais com densidades elementares acima de  $5 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$ . Porém, ressalta-se a confusão desta definição, já que, nem todos são densos e nem inteiramente metálicos. Portanto, outros critérios são utilizados como a massa atômica e o número atômico além de outras propriedades químicas e toxicológicas.

Os metais são comumente utilizados nos processos industriais e são genericamente tóxicos para animais aeróbios e anaeróbios. Incluem -se no grupo: As, Cd, Cr, Cu, Mn, Pb, Hg, Ni e Zn. Porém, se altamente concentrados, podem ser tóxicos para os seres vivos. Os metais podem ocorrer em moléculas orgânicas, mas normalmente se apresentam como substâncias inorgânicas. Devido a essa característica, a maioria dos metais pesados se diferenciam dos demais agentes tóxicos por não serem biodegradáveis.(Barros et al. 2021).

### **1.3 Plantas metalófitas**

As espécies vegetais usadas para a fitorremediação de metais pesados são chamadas de metalófitas, que possuem boa tolerância a elevados níveis de metais. Outra definição é que são as plantas que se especificaram, se adaptaram e ainda prosperaram em solos ricos em metais pesados (Bothe et al., 2011, Sheoran et al., 2011).

As metalófitas são divididas em três categorias: exclusoras de metais, indicadoras de metal e hiperacumuladoras de metal. As exclusoras, acumulam os metais pesados do substrato em suas raízes, mas restringem seu transporte e entrada em suas partes. As indicadoras acumulam metais pesados em outras partes aéreas. As hiperacumuladoras são plantas, que podem concentrar metais em seus tecidos acima do solo a níveis muito superiores aos presentes no solo (Malik e Biswas, 2012).

## **2. TÉCNICAS DE FITORREMEDIAÇÃO DE METAIS**

A maioria das espécies vegetais possuem a capacidade de absorção, translocação, imobilização e/ou degradação de contaminantes (Cunningham & Ow, 1996), podendo assim, reparar ambientes contaminados. As plantas atuam de tal forma que conseguem modificar as propriedades físicas e químicas dos contaminantes no solo pela liberação de exsudatos pelas raízes. Estas estratégias que permitem a fitorremediação, podem ocorrer por um único ou pela combinação dos seguintes mecanismos básicos: remoção, acúmulo e retirada do contaminante com a remoção da planta; remoção e degradação do contaminante; remoção e volatilização para a atmosfera; ou facilitação do tratamento do solo (acúmulo, imobilização e estímulo da microbiota da rizosfera). Dessa forma, os tipos de fitorremediação realizados por plantas adaptadas a presença de metais pesados, podem ser classificados como fitoextração, rizofiltração, fitoestabilização e fitovolatilização.

Quanto às vantagens a fitorremediação de destaca por: possuir boa aceitação do público, baixo custo, por pode ser empregada em grandes áreas; por ser um processo natural e que exige pouco trabalho mecânico e por tornar o local mais agradável. Levando em conta essas características e o baixo custo esperado, a fitorremediação pode ser usada em maior escala do que seria possível no caso de outros métodos (Pires et al. 2003).

Mesmo sendo uma técnica promissora, existem algumas limitações, inclusive, ela requer ação conjunta de profissionais de diferentes áreas, para chegar nas espécies capazes de atuar na fitorremediação de solos, considerando as condições edafoclimáticas brasileiras.



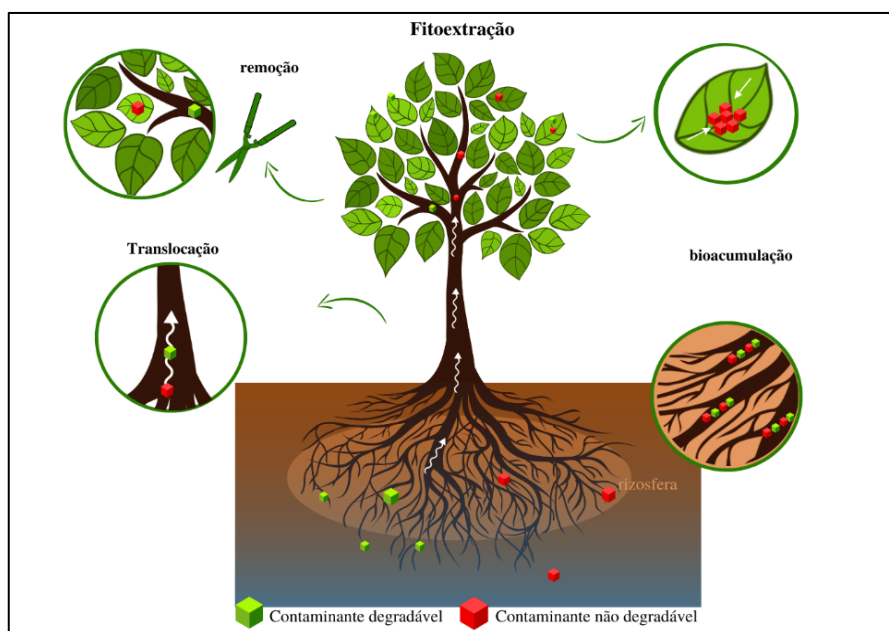
O tempo requerido geralmente é longo em decorrência do ciclo de crescimento e desenvolvimento da planta. Existe a possibilidade de contaminação da cadeia alimentar, o composto tóxico fitodegradado pode se tornar um composto ainda mais tóxico (Lamego e Vidal 2007, Procópio et al., 2009).

Se o tempo do processo de tratamento será mais célere ou moroso, dependerá de alguns fatores ou condições como a espécie e número de plantas; os fatores (físicos, químicos e biológicos) do solo; o clima; a rizosfera; o tipo e concentração do contaminante. O tamanho e profundidade da área contaminada, também influenciam.

## 2.1 Fitoextração

A fitoextração consiste na planta remover o contaminante do solo, água e sedimento. Esta técnica é a mais utilizada para a remoção de metais, que são absorvidos pelas raízes e transportados, geralmente, para as partes aéreas se acumulando no caule e nas folhas (figura 2). Posteriormente, essa planta deve ser retirada do ambiente. É indicada para plantas hiperacumuladoras e tolerantes ao material poluente. A tolerância da planta ocorre pela presença de mecanismos bioquímicos e fisiológicos de adaptação (Silva et al., 2019).

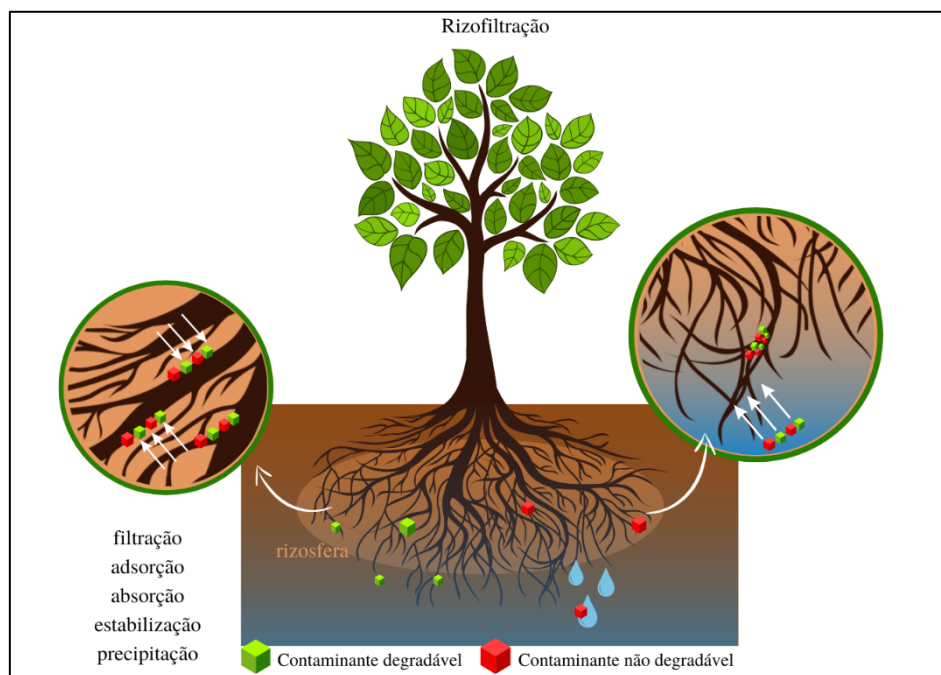
A hiperacumulação é a capacidade de que alguns vegetais têm de acumular os metais pesados geralmente na biomassa da parte aérea, quando eles se desenvolvem na água ou em solos contaminados com estes (Khan et al., 2000).



**Figura 2** - Mecanismos de fitoextração. Neste mecanismo, o contaminante é removido do solo, passando pela raiz e tronco em direção à parte aérea, podendo se acumular em qualquer uma dessas partes dependendo do tipo de planta. Posteriormente essa planta contendo o contaminante é removida do ambiente. **Fonte:** Elaborado pelo autor, 2022.

## 2.2 Rizofiltração

No processo de rizofiltração, o contaminante presente na água, sedimento ou no solo, é filtrado, precipitado, absorvido ou adsorvido pelo sistema radicular da planta (Kristanti, Risky Ayu et al. 2021). A técnica pode ser aplicada utilizando plantas terrestres ou macrófitas de sistemas radiculares complexos, em casos em que há baixa concentração de contaminantes na água, por exemplo. (Figura 3).



**Figura 3** – Rizofiltração. Neste mecanismo ocorre a filtração, absorção e adsorção e estabilização do contaminante na rizosfera. **Fonte:** Elaborado pelo autor, 2022.

## 2.3 Fitoestabilização

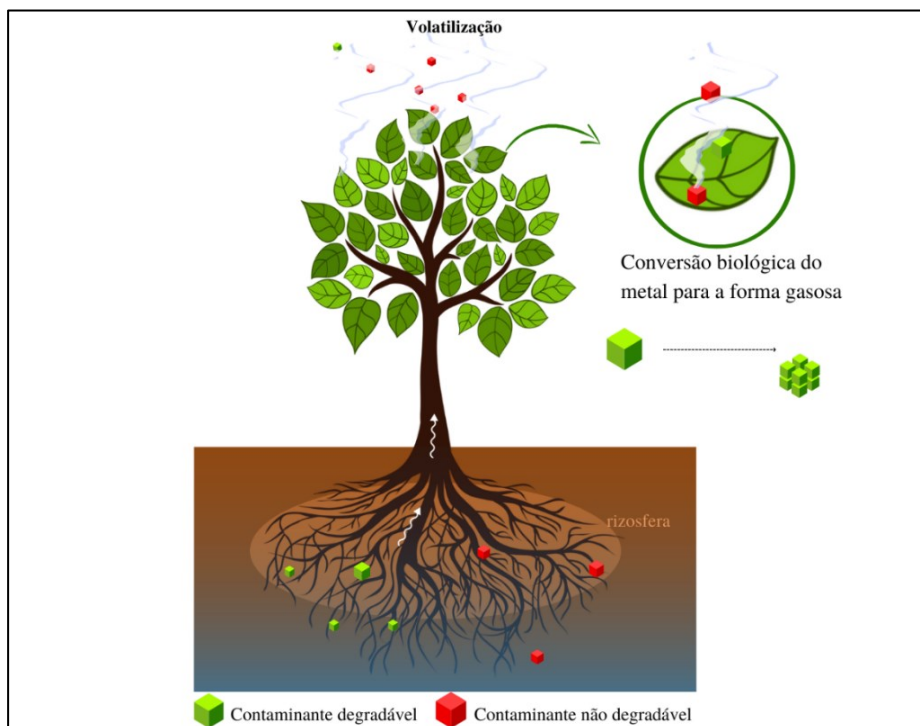
A fitoestabilização é usada para plantas que acumulam e estabilizam o contaminante na parte aérea ou nas raízes, sem necessidade de retirar a planta do local. Basicamente, ocorre os mecanismos relatados na fitoextração e rizofiltração, mas não se retira as plantas do local. Na fitoestabilização, algumas espécies são utilizadas para imobilizar determinados contaminantes, pela absorção e acumulação nas raízes, por adsorção, precipitação e complexação na zona radicular; podendo reduzir a valência do metal e estabilização física em solos (Wuana e Okieimen, 2011; Ali et al., 2013).

Essa estratégia reduz a mobilidade dos contaminantes no solo e evita que sejam transportados para o lençol freático ou para a atmosfera. Além disso, essa técnica pode diminuir a toxidez ou o volume de solo contaminado e, assim, ajudar a restaurar a cobertura vegetal em áreas onde a vegetação natural é escassa devido às altas concentrações de metais. (Tordoff et al., 2000).

A granulometria de textura fina dos solos e o alto teor de matéria orgânica, tornam a fitoestabilização mais eficiente em locais com essas características, pois, quanto mais fina a textura do solo, maior é a superfície efetiva exposta por suas partículas, retendo água, cátions, ânions e nutrientes (Schaetzl, Randall, e Sharon Anderson. [s.d.]). Entretanto, se esse local estiver altamente contaminado, pode não ser adequado seu uso pois pode dificultar o crescimento e a sobrevivência das plantas, ainda que tolerantes (Berti e Cunningham, 2000).

## 2.4 Fitovolatilização

A fitovolatilização usa plantas que absorvem ou incorporam poluentes em seu tecido, para posteriormente serem liberados sob a forma gasosa (Figura 4). Quando se consideram os contaminantes inorgânicos, ela pode ser aplicada para o arsênio (As), selênio (Se) e o mercúrio (Hg) (Hansen et al., 1998; Rugh et al, 1996)). Esses contaminantes metálicos podem existir no estado gasoso no ambiente. A fitovolatilização é o processo de absorção destes poluentes promovendo sua conversão biológica para forma volátil e posterior liberação na atmosfera. Neste mecanismo é possível que a planta consiga volatilizar pela transpiração tanto o contaminante, quanto o produto da metabolização, ou seja, o composto degradado.



**Figura 4**–Remoção do contaminante do solo promovendo a conversão para a forma gasosa com posterior volatilização para a atmosfera. Fonte: Elaborado pelo autor, 2022.

## 2.5 Resumo das estratégias de fitorremediação.

Para que todos estes mecanismos anteriormente apresentados aconteçam, é necessário que haja uma associação entre as plantas e a comunidade microbiana presente na rizosfera, além da interface solo/água. Tabela 1, relaciona e descreve as diferentes estratégias de fitorremediação representadas na figura 5.

Tabela 1 - Resumo das técnicas de fitorremediação.

Resumo das diferentes técnicas de fitorremediação.	
Técnica	descrição
Fitoextração	Acúmulo de poluentes na biomassa colhível, ou seja, pode retirada.
Fitoestabilização	Limita a mobilidade e biodisponibilidade dos contaminantes no solo através das raízes.
Fitoestimulação	Estimula a planta para a biodegradação microbiana dos contaminantes, mediante exsudatos radiculares e/ou fornecimento de tecidos vegetais.
Fitovolatilização	Conversão de poluentes para a forma volátil e posterior liberação para a atmosfera.
Rizofiltração	Absorção e adsorção de contaminantes na rizosfera por microorganismos rizosféricos.

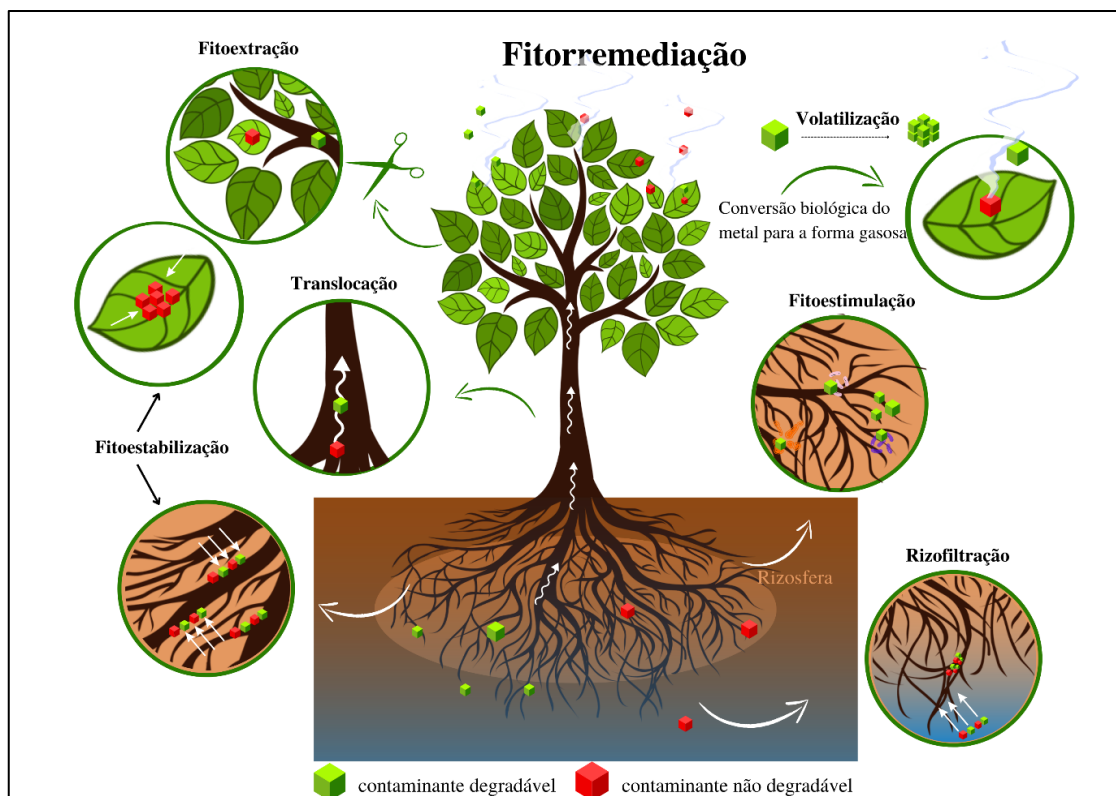


Figura 5- Resumo das técnicas da Fitorremediação. Fonte: Elaborado e adaptado pelo autor, 2022.

## 2.6 Características dos vegetais para a fitorremediação

Ao selecionar algumas plantas que possuam capacidade de fitorremediação, é desejável que apresentem algumas características indicadoras (Pires et al. 2003). É pouco provável que uma espécie ou variedade reúna todas essas características, porém, deve-se buscar as que reúnam o maior número de atributos desejáveis (Miller, 1996). As principais características desejáveis são: adequação ao clima (temperatura e umidade), tolerância ao contaminante; resistência a pragas e doenças; a capacidade de absorver, concentrar e/ou metabolizar o contaminante; a retenção do contaminante nas raízes (fitoestabilização); rápido crescimento e produção de biomassa; praticidade na colheita, se necessária a remoção; facilidade de aquisição ou propagação; facilidade para controle ou erradicação; estímulo à biota do solo; profundidade do sistema radicular; ocorrência natural em áreas contaminadas (Cunningham et al., 1996; Newman et al., 1998; Accioly e Siqueira, 2004;).

A importância dos estudos de plantas nativas, seja de âmbito local e regional, deve-se ao fato de que elas já estão adaptadas ao clima e as propriedades químicas do solo, como por exemplo, os solos ácidos do Brasil, típicos do bioma Cerrado. As espécies vegetais nativas e exóticas são classificadas de acordo com sua origem. De acordo com o IBF – Instituto Brasileiro de Florestas, uma espécie nativa é definida como sendo, a planta que é natural, originária da região em que vive, ou seja, que cresce dentro dos seus limites naturais incluindo a sua área potencial de dispersão.

Levando em consideração o exposto e todos os aspectos apresentados, o trabalho segue para o levantamento das espécies nativas e os respectivos metais que elas conseguem tratar através dos mecanismos informados.

## 3. METODOLOGIA

Para o desenvolvimento deste trabalho, foi realizada uma revisão bibliográfica, com a busca de publicações científicas, preferencialmente entre os anos de 2018 a 2022. Os artigos relevantes foram rastreados utilizando e combinando palavras chaves, relacionando-as com a fitorremediação de metais pesados. As palavras chaves utilizadas foram: Bioremediation, Phytoextraction, Hyperaccumulator, Phytostabilization, Soil contaminant, Heavy metals, Dash elements. Soil decontamination, indigenous plants, brazilian plants.

Para isso, buscou-se detalhar espécies vegetais de ocorrência natural no Brasil com potencial para fitorremediação de metais pesados, e o mecanismo observado na

descontaminação. As buscas e verificação das plantas nativas foram auxiliadas por consultas ao acervo do Centro Nacional de Conservação da Flora (CNCFlora - <http://cncflora.jbrj.gov.br/portal>) à página da internet da ReFlora do Brasil (<https://floradobrasil.jbrj.gov.br/>), ambos do Instituto de Pesquisas Jardim Botânico do Rio de Janeiro, do governo federal. O material bibliográfico utilizado, foi por buscas na Biblioteca Eletrônica Científica Online, Scielo, no site Web of Science, e no Google Acadêmico. As pesquisas no Portal Capes, também foram realizadas remotamente por intermédio da Comunidade Acadêmica Federada (CAFe).

As informações encontradas compuseram uma planilha, contendo as espécies fitorremediadoras, sua origem, endemia, sucessão ecológica e o metal contaminante que foi relatado na fitorremediação. As espécies de natureza exótica ou naturalizadas não foram quantificadas. Portanto, foram computadas somente àquelas que verificadas como sendo nativas, mesmo que não endêmicas do Brasil.

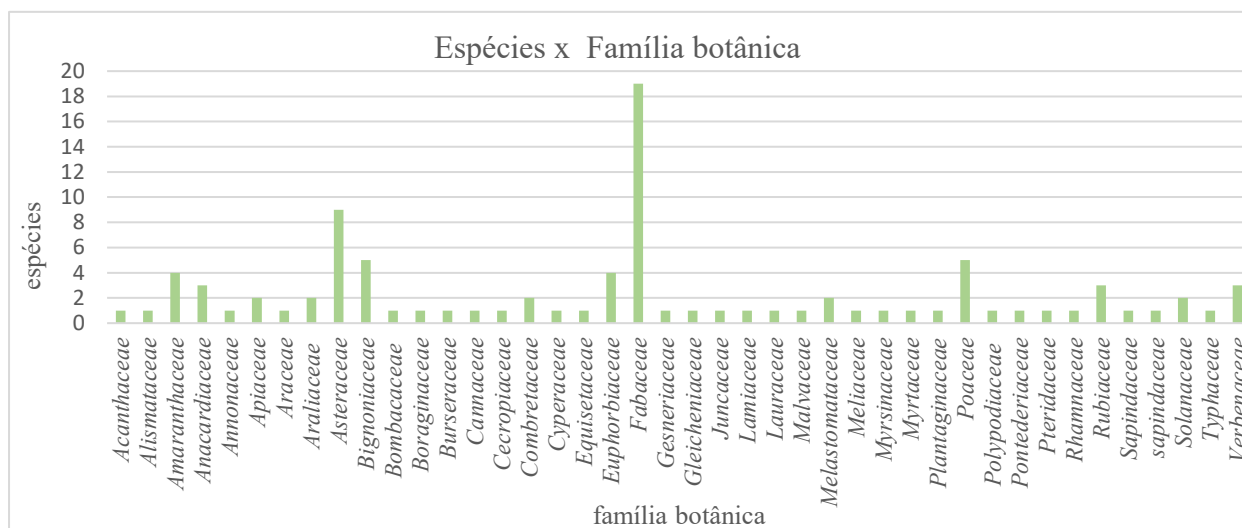
#### 4. RESULTADOS

No Brasil, a fitorremediação com plantas nativas ainda que considerada incipiente, vem se tornando de interesse crescente (Figura 6). Os estudos no país relacionados a essa prática, começaram na década de 1990 e a utilização do termo “fitorremediação” é utilizado desde 1991 (Vidali, 2021). A figura 6 apresenta a quantidade de espécies estudadas por ano de publicação dos estudos. A partir de 2010, houve um crescimento significativo na quantidade de espécies estudadas.



**Figura 6** - Evolução panorâmica dos estudos sobre a fitorremediação desde a década de 90 até o presente.

Foram encontradas pelo menos 108 espécies de plantas nativas empregadas em testes de fitorremediação de metais (Tabela 2). As espécies identificadas pertencem a 42 famílias botânicas distintas (Figura 7) e estão compostas por diferentes grupos ecológicos, tendo representantes em todos os biomas brasileiros.



**Figura 7** - Número de espécies por família botânica de ocorrência natural no Brasil e com potencial de remediação de metais pesados. Dados levantados a partir de busca de literatura científica nas bases de dados da CNCflora, Flora do Brasil, Scielo, Web of Science, e do Google Acadêmico.

A maioria dos estudos levantados, utilizaram plantas muito comuns no país, porém exóticas, introduzidas e naturalizadas há bastante tempo. Isso é comum principalmente com as plantas do gênero *Brassica* em razão de que muitos estudos abordaram o potencial fitorremediador da espécie *Brássica juncea* (mostarda). Outras espécies recorrentes foram a *Canavalia ensiformis* (feijão de porco), *Helianthus annuus* (girassol) e *Zea mays* (milho). Estas espécies exóticas não foram consideradas nas análises a seguir. As espécies nativas verificadas e prospectadas estão listadas na Tabela 2.

**Tabela 2** -Espécies nativas do Brasil verificadas e prospectadas na literatura científica para a fitorremediação de metais pesados.

Nº Sp.	Nome científico	Nome comum	Contaminantes	Técnica	Referências.
1	<i>Achyrocline albicans</i>	macela	Mn	FX	Schettini et al., 2017.
2	<i>Alchornea iricurana</i>	taipeira	Cd, Cr, Ni e Zn	FX	Oliveira et al., 2010.
3	<i>Alibertia edulis</i>	marmelada-do-cerrado, marmelada-preta;	Fe, Cu, Co, Cd, Pb e Ni	FX	Raskin et al., 1994.
4	<i>Anadenanthera Peregrina</i>	angico vermelho	As	FX	Gomes at al., 2012.

5	<i>Andropogon fastigiatus</i>	capim andropogon	Cr	FX	Srivastava at al., 2021
6	<i>Annona exsucca</i>	araticum salgado	Fe, Cu, Co, Cd, Ni e Zn;	FX	Accioly, (2000).
7	<i>Astronium graveolens</i>	gonçalo-alves	Pb	FX	Araujo et al., 2020
8	<i>Avicennia schaueriana</i>	mangue-preto	Mn, Zn	FX	Flores et al., 2022
9	<i>Baccharis dracunculifolia</i>	alecrim-do-campo	Pb, Cu, Zn	FT, FX, RZ	Afonso et al., 2022.
10	<i>Baccharis latifolia</i>	planta vassoura	Pb	FX	Menezes et al., 2015.
11	<i>baccharis reticularia</i>	---	Mn	FX	Schettini et al., 2017.
12	<i>Baccharis trimera</i>	carqueja	Cu,Zn,Cr ,Ni e Cd	FT, FX, RZ	Afonso et al., 2022.
13	<i>Bauhinia forficata</i>	pata de vaca	Cu	FX	Silva et al., 2018.
14	<i>Bidens pilosa</i>	picão preto	Cu	FX	Andreazza et al., 2015.
15	<i>Bulbostylis fimbriata,</i>	---	Mn	FX	Schettini et al., 2017.
16	<i>Canna indica L.</i>	caeté vermelho	Cr	FX	Srivastava at al., 2021.
17	<i>Cassia grandis</i>	cassia gigante	As	FX	Guimarães et al., 2022.
18	<i>Cecropia Sp.</i>	embaúba	Cu, Ni, Pb, Cd e Zn	FX, RZ	Irie et al., 2008, V. Asensio, 2019.
19	<i>Cedrela fissilis</i>	cedro rosa	Cu	FX	Covre et al., 2020, Caires, 2005.
20	<i>Centrosema coriaceum</i>	jequitirana	Mn	FX	Schettini et al., 2017.
21	<i>Citharexylon myrianthum</i>	pau tucano	Cd, Cr, Ni e Zn	FX	Oliveira et al, 2010
22	<i>Commelina erecta</i>	trapoeraba azul	Cr, Pb e Zn	FX	Castro (2007).
23	<i>Commiphora leptophlocos</i>	imburana, umburana.	Zn, Cu e Pb,	FX	Souza (2010).
24	<i>Copaifera langsdorffii</i>	copaibeira	Cu	FT, RZ, FX	V. Asensio et al., 2019.
25	<i>Cordia glabrata</i>	louro preto	Cd, Cr, Ni e Zn	FX	Oliveira et al., 2010.
26	<i>Croton urucurana</i>	tangra d'água	Cd, Cr, Ni e Zn	FX	Oliveira et al., 2010.
27	<i>Cyperus surinamensis</i>	---	Cr, Pb e Zn	FX	Castro (2007).
28	<i>Cytharexylon myrianthum</i>	pau viola	Cd, Cr, Ni e Zn	FX	Oliveira et al., 2010.
29	<i>Dahlstedtia muehlbergiana</i>	embira de sapo	Pb	FX	Oliveira et al., 2021.
30	<i>Dendropanax cuneatum</i>	maria mole	Cd, Cr, Ni e Zn	FX	Oliveira et al., 2010.
31	<i>Desmanthus virgatus</i>	jureminha	Pb	FX	Alves et al., 2008.
32	<i>Dicranopteris nervosa</i>	samambaia do mato	As	FT, RZ	Boechat et al., 2016.
33	<i>Dipteryx alata Vogel</i>	baru	Mn	FX	Niedack at al., 2021.



34	<i>echinochloa crus-galli l.</i>	capim arroz	Zn, Cu, Cr, Ni, Pb e Cd	FX	Santos et al., 2021.
35	<i>Eichhornia crassipes</i>	aguapé	As, Cd, Hg, Pb, Ni, Zn	FX	Li et al., 2016.
36	<i>Enterolobium contortisiliquum</i>	tamboril, timbaúva, orelha de macaco	Zn, Cu, Cd	FX	Silva et al., 2018.
37	<i>Equisetum giganteum L.</i>	cavalinha	Cu, Zn, Mn e Ni	FT, FX, RZ	Afonso et al., 2020.
38	<i>Eremanthus incanus</i>	candeia	Mn	FX	Schettini et al., 2017.
39	<i>Eryngium caucasicum</i>	eryngo	Pb	FX	Hassanpour et al., 2020.
40	<i>Eryngium horridum Malme</i>	gravatá	As, Cu, Cd, Pb e Ni	FT, FX	Afonso et al, 2020, Boechat et al., 2016.
41	<i>Erythrina crista-galli</i>	corticeira	Cu	FX, RZ, FT	Andreazza et al., 2015.
42	<i>Erythrina falcata</i>	mulungu	Cd, Cr, Ni e Zn	FX	Oliveira et al., 2010.
43	<i>Erythrina speciosa</i>	mulungu	Pb, Zn	FX	IRIE et al., 2008.
44	<i>Eugenia dysenterica</i>	cagaiteira	Zn	FX	S. Meyer (2016).
45	<i>Euterpe oleracea</i>	açáizeiro	Mn, Cu e Pb	FX	Souza et al., 2022,
46	<i>Galianthe grandifolia</i>	---	Cd,	FX	Vilhalva ( 2008).
47	<i>Gazuma ulmifolia</i>	mutambo	Cd, Cr, Ni e Zn	FX	Oliveira et al., 2010.
48	<i>Genipa americana, L.</i>	jenipapo	Pb	FX	Loureiro et al., 2013.
49	<i>Gomphrena celosioides</i>	perpétua brava	Cr	FX	Srivastava at al., 2021.
50	<i>Gomphrena claussenii Moq.</i>	perpétua brava	Zn e Cd	FX	Almeida et al., 2022.
51	<i>Handroanthus serratifolius</i>	pau-d'arco-amarelo	Cu	FT, RZ, FX	V. Asensio et al., 2019.
52	<i>Handroanthus impetiginosus</i>	ipê roxo	Cu Zn	FX	S. Meyer, 2016, Caires 2005.
53	<i>Hydrocotyle ranunculoides</i>	chapéu-de-sapo	As, Cu, Cd, Cr, Co, Mn, Ni, Pb e Zn	Fx	Demarco et al., 2018.
54	<i>Hydrocotyle umbellata</i>	acariçoba	Cr	FX	Srivastava at al., 2021.
55	<i>Hymenaea courbaril</i>	jatobá, jataí,	Cu	FX	Santos 2018, V. Asensio et al., 2019.
56	<i>Hyptis brevipes</i>	hortelã do mato	As, Cu, Cd, Pb e Ni	FT, RZ	Boechat et al., 2016.
57	<i>imperata brasiliensis</i>	sapê	Zn	FX	Almeida (2012).
58	<i>Inga comunnis</i>	ingá comum	Cd, Cr, Ni e Zn	FX	Oliveira et al., 2010.
59	<i>Inga laurina</i>	ingá branco	Zn	FX	S. Meyer (2016).
60	<i>Jacaranda mimosifolia</i>	jacarandá mimoso	Cu, Mn e Zn	FX, RZ, FT	Farias et al., 2020

61	<i>Juncus sp.</i>	juncos	Cu, Zn, Mn e Ni	FT, FX	Afonso et al., 2020.
62	<i>Justicia lanstyakii</i>	justícia do cerrado	Ni	FX	Nascimento et al., 2021.
63	<i>Laguncularia racemosa</i>	mangue-branco	Cd, Cr, Cu, Pb e Zn	FX	Santos (2018).
64	<i>Lantana fucata</i>	lantana	Mn	FX	Schettini et al., 2018.
65	<i>Leersia hexandra</i>	capim andrequicé	Cr	FX	Srivastava et al., 2021.
66	<i>Lippia lupulina</i>	erva cidreira	Ni	FX	Nascimento et al., 2021.
67	<i>Lytoneuron ornithopus</i> (Doryopteris)	---	Mn	FX	Schettini et al., 2017.
68	<i>Mabea fistulifera</i>	mamoninha do cerrado	Pb, Zn, As	FX	Barroso et al., 2021.
69	<i>Matayba marginata</i>	batabaíba	Mn	FX	Schettini et al., 2018.
70	<i>Mentha aquatica</i> L.	hortelã da água	Pb	FX	Hassanpour et al., 2020.
71	<i>Mimosa caesalpiniiifolia</i> Benth.	sansão do campo, sabiá	As, Cu	FX	Pinto 2016, V. Asensio et al., 2019.
72	<i>Mimosa sepriaria</i>	maricá	Cd, Cr, Ni e Zn	FX	Oliveira et al., 2010.
73	<i>Monotagma laxum</i>	---	Cr, Pb e Zn	FX	Castro (2007).
74	<i>Myracrodruon urundeuva</i> .	aroeira preta	Cu	FT, RZ, FX	V. Asensio et al., 2019.
75	<i>Nectandra lanceolata</i>	canela amarela	Cd, Cr, Ni e Zn	FX	Oliveira et al., 2010.
76	<i>Nematanthus strigillosus</i>	columéia peixinho	Mn	FX	Schettini et al., 2017.
77	<i>Nephrolepis biserrata</i>	---	Cr, Pb e Zn	FX	Castro (2007).
78	<i>P. rigida</i>	angico vermelho	Cu	FX	Bicalho et al., 2018.
79	<i>Paliavana sericiflora</i>	---	MN	FX	Schettini et al., 2017.
80	<i>Paspalum notatum</i>	grama batatais	Cu	FX	Silva et al. 2022, Vendruscolo et al., 2018.
81	<i>Pfaffia sp.</i>	ginseng-brasileiro	Zn e Cd	FX	Khan et al., 2000.
82	<i>Philodendron bipinnatifidum</i> Schott	banana-de-bugre, imbé, guaimbé	Zn	FX	Almeida (2012).
83	<i>Plantago tomentosa</i> Lam.	Tanchagem	Cu, Zn, Mn e Ni	FT, FX	Afonso et al., 2020.
84	<i>Pleopeltis hirsutissima</i>	pleopeltes-peluda.	Mn	FX	Schettini et al., 2017.
85	<i>Pseudobombax longiflorum</i>	imbiçu	Cd, Cr, Ni e Zn	FX	Oliveira et al., 2010.
86	<i>Psyllocarpus laricoides</i>	---	Mn	FX	Schettini et al., 2017.

87	<i>Pterogyne nitens</i> Tul	amendoim bravo	Cu Zn	FX	Silva et al., 2018.
88	<i>Rapanea guianensis</i>	capororoca branca	Cd, Cr, Ni e Zn	FX	Oliveira et al., 2010.
89	<i>Rapanea guianensis</i>	pau pombo	Cd, Cr, Ni e Zn	FX	Oliveira et al., 2010.
90	<i>Sagittaria montevidensis</i>	aguapé de flexa	Cr, Cu, Pb, Ni e Zn	FX, RZ	Demarco et al., 2019 ,Ferrer et al., 2017.
91	<i>Sapium glandulatum</i>	pau de leite	Cd, Cr, Ni e Zn	FX	Oliveira et al., 2010.
92	<i>Schizolobium parahyba</i>	guapuruvu	Pb	FX	Souza et al., 2012.
93	<i>Schizolobium parahyba</i> var. <i>amazonicum</i>	guapuruvu, canafístula	As	FX	Carvalho (2004).
94	<i>Senecio brasiliensis</i>	flor das almas	Cu, Cd	FT, RZ	Boechat et al., 2016.
95	<i>Senecio leptolobus</i>	---	Pb, Zn	FX	Boechat et al., 2016.
96	<i>Senna multijuga</i>	pau-cigarra, angico-branco, árvore-da-cigarra	Cu	FX, RZ	Marco et al., 2017.
97	<i>Senna obtusifolia</i>	fedegoso branco	Cr	FX	Srivastava at al., 2021.
98	<i>Sesbania virgata</i>	sesbania, feijãozinho	Zn, Cd, Pb e Cu	FX	Trannin et al., 2001.
99	<i>Solanum granuloso-leprosum</i> Dunal	fumo-bravo, fumeiro	Zn, Mn, Cr e Pb	FT, FX	Afonso et al., 2019.
100	<i>Solanum paniculatum</i>	jurubeba		FX	Accioly (2000).
101	<i>Solanum viarum</i>	joá bravo	Zn, Mn, Cr e Pb	FT, FX	Afonso et al., 2019.
102	<i>Tabebuia roseo-alba</i> (Ridl.) Sandwith	ipê-branco	Cu, Zn	FX	Gai et al.,2017, Caires, 2005.
103	<i>Tibouchina granulosa</i>	quaresmeira	As	FX	Silva et al., 2018.
104	<i>tibouchina heteromalla</i>	orelha de onça	Mn	FX	Schettini et al., 2017.
105	<i>Typha domingensis</i>	taboa	Hg	FX	Gomes at al., 2012.
106	<i>Vismia guianensis</i>	---	Cu, Co, Cd e Ni	FX	Raskin et al., 1994.
107	<i>Vismia japurensis</i>	---	Fe, Cu, Co, Cd, Pb e Ni;	FX	Raskin et al., 1994.
108	<i>Zeyheria tuberculosa</i>	ipê felpudo	Pb, Zn, As	FX	Barroso et al., 2021.

Fitoextração (FX) – Rizofiltração (RZ) – Fitoestabilização (FT) – Fitovolatilização (FV)

Em relação aos metais, percebe-se que a maioria dos estudos usam o cobre (34 estudos) e o zinco (42 estudos) como alvo de descontaminação (Figura 8). Logo a seguir, vêm o chumbo (29 estudos), o cádmio (25 estudos), o cromo (24 estudos), o manganês (20 estudos), o níquel (19 estudos) e o arsênio (13 estudos).

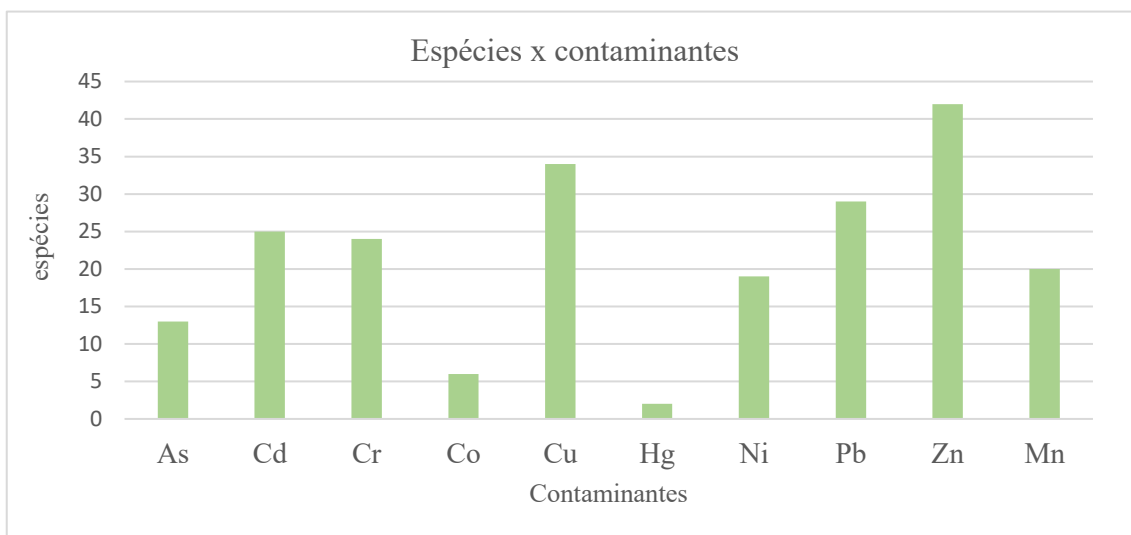


Figura 6 - Relação da quantidade de espécies por contaminantes

Dentre as técnicas, a Fitoextração (FT) foi a mais aplicada nos estudos, pois, pelo 107 espécies puderam acumular em seus tecidos os contaminantes extraídos do solo, sedimentos ou da água. Esta técnica que é mencionada como uma das mais comuns, consiste na absorção dos contaminantes através das raízes com posterior translocação destes para as folhas através do xilema da planta. De forma geral a técnica de fitoextração é mais comumente utilizada pelas plantas hiperacumuladoras ou metalófitas.

Em seguida, a técnica de Fitoestabilização (FT) foi utilizada por pelo menos 16 espécies. Nesta técnica, a planta imobiliza o contaminante no meio, evitando assim, sua migração. A técnica de Rizofiltração (RZ) foi utilizada por 15 espécies, onde a concentração dos metais pesados se acumulou principalmente nas raízes. Já para a Fitovolatilização (FV), não foi identificada nenhuma aplicação, durante a realização deste estudo.

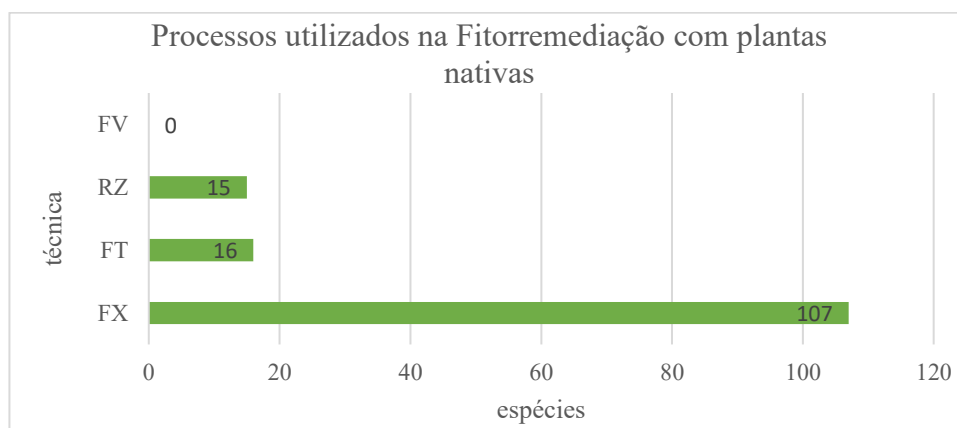


Figura 9 – Relação da quantidade de plantas e os processos de fitorremediação envolvidos.

## 5. DISCUSSÃO

Com base na revisão da literatura realizada, são apresentados resultados da aplicabilidade da fitorremediação para contaminações por metais pesados. Em relação aos metais, percebe-se que a maioria dos estudos usam o cobre e o zinco como alvo de descontaminação. Isso se deve provavelmente, por serem dos metais com maior concentração natureza, e pela facilidade na determinação, já que são nutrientes minerais e compõem o grupo de elementos rotineiramente avaliados em fertilidade do solo. Logo a seguir, vêm o chumbo, cromo, cádmio e o arsênio. As informações obtidas foram apresentadas em subitens envolvendo metais específicos para melhor organização do trabalho.

### 5.1 Zinco (Zn) e Cobre (Cu):

Das espécies testadas em solos contaminados com Zn e Cu, a timbaúva (*Enterolobium contortisiliquum*) evidenciou menor redução da massa seca total com a elevação das doses de cobre no solo indicando ser uma espécie capaz de diminuir a translocação do metal para a parte aérea e tolerar doses de até 236 mg kg<sup>-1</sup> do metal no solo (Silva et al. 2018). As mudas de timbaúva foram mais tolerantes à contaminação do solo com cobre que as de amendoim bravo (*Pterogyne nitens* Tul) e pata-de-vaca (*Bauhinia forficata*).

O picão preto (*Bidens pilosa*) cresceu vigorosamente em solos contaminados com Cu (Andreazza et al. 2015). Porém em áreas de rejeito de mineração com altos teores deste metal, seu crescimento foi limitado a 4 cm, considerando que em ambiente natural a planta atinge de 40 a 120 cm. O cedro rosa (*Cedrela fissilis*) possui mais tolerância ao zinco que o ipê roxo (*Handroanthus impetiginosus*), e este possui mais tolerância ao

cobre que o cedro rosa (Caires, 2005). Em ambas as espécies, a raiz foi o local de maior armazenamento de Zinco. O cedro rosa apresentou maiores teores na parte aérea em relação ao ipê roxo (Caires, 2005).

## 5.2 Cádmio (Cd), Cromo (Cr), Mercúrio (Hg) e Chumbo (Pb):

A *Eichhornia crassipes*, popularmente conhecida como água-pé é uma planta macrófita nativa, citada em muitos estudos sobre a descontaminação de águas. É uma espécie eficaz em acumular metais pesados, como por exemplo, a concentração de mercúrio em seu tecido foliar (Li et al., 2016). Também se verifica a remoção de chumbo, cádmio e cromo (Li et al., 2016).

Os estudos com a embaúba (*Cecropia* Sp.) associada a microrganismos de sua rizosfera, mostraram que a espécie é capaz de acumular principalmente em suas raízes, metais do solo como cobre, cromo, níquel e zinco, apresentando pouca translocação para outros tecidos. O mulungu (*Erythrina speciosa*) também é mencionado nos estudos envolvendo o Pb como poluente (IRIE et al., 2008).

No estudo da fitorremediação de solos contaminados por Cromo, Chumbo e Zinco, as espécies amazônicas *Commelina erecta*, *Montagma laxum*, *Borria capitata*, *Panicum maximum*, *Cyperus surinamensis*, e *Nephrolepis biserrata*. Apresentaram potencial fitoextrator. Sendo mais eficiente na remoção e retenção dos metais as espécies: *Cyperus surinamensis* > *Borreia capitata* > *Monotagma laxum* > *Panicum maximum* > *Nephrolepis biserrata* > *Commelina erecta*, todas com afinidade para Cr, exceto a *Borreia capitata* (Castro,2007).

Os estudos evidenciaram que *Sagittaria montevidensis* promoveu um mecanismo natural de rizofiltração e, portanto, mostrou uma importância ecológica nesta área, destacando o potencial de rizofiltração para, manganês, alumínio, arsênio, cobre, magnésio, zinco, sódio, chumbo, cádmio, níquel e cromo (Demarco et al. 2019).

## 5.3 Arsênio (As):

Segundo Carvalho, o paricá ou guapuruvu (*Schizolobium parahyba* var. *amazonicum*) apresenta os melhores resultados de produção de biomassa, taxas de crescimento e acúmulo de As comparado com a quaresmeira (*Tibouchina granulosa*) e

com a Juçara (*Euterpe edulis* Mart.) A cássia gigante (*Cassia grandis*) também evidenciou a capacidade de acumulação deste metal (Guimaraes et al., 2017).

A maioria das espécies prospectadas nesta revisão pertencem à família Fabaceae, totalizando 19 plantas remediando 8 metais pesados. As Fabáceas ocorrem com abundância em biomas distintos como a Caatinga, Floresta Amazônica, Mata Atlântica e Cerrado (Flora do Brasil, 2020). O uso da família Fabaceae, como uma forma alternativa de recuperação de ambientes contaminados, pode contribuir satisfatoriamente para o avanço de descontaminação usando a biodiversidade brasileira na fitorremediação, uma vez que dentre as famílias prospectadas, os indivíduos deste grupo se mostraram capazes de bioacumular, imobilizar e volatilizar mais de um tipo de metal.

#### **5.4 Mercúrio – Hg:**

Com exceção do aguapé e da taboa não foram encontradas outras plantas que hiperacumulem naturalmente o Hg, mas sim plantas que podem desenvolver mecanismos para lidar com a presença desse contaminante no meio (Wagner-Döbler, 2013).

Os trabalhos abordando a fitorremediação no Brasil têm crescido. Porém, ainda são escassos os estudos de espécies nativas para a remediação quando se consideram tanto a diversidade de metais contaminantes, como a diversidade vegetal brasileira. Nesta revisão, a maioria dos estudos avaliaram poucos metais, com destaque para o cobre e o zinco.

## **6. CONCLUSÃO**

Estudos relacionados à fitorremediação são importantes para levantamento de espécies com tal potencial, assim como para diagnosticar quais contaminantes que podem ser retirados ou imobilizados no solo, aperfeiçoando cada vez mais esta tecnologia. O uso de plantas nativas para recuperação de áreas contaminadas com metais pesados tem sido promissor, pois, mostraram ser capazes de reduzir os teores dos contaminantes a níveis menos tóxicos.

Neste trabalho, foram levantadas 108 espécies de ocorrência natural no Brasil com potencial de remediação de metais pesados. A maior parte das espécies estudadas pertencem à família Fabaceae. E dentre os metais estudados, os de maior frequência foram o zinco e o cobre. As plantas da família Fabaceae possuem ampla distribuição geográfica, ocorrendo praticamente em todos os continentes e mostraram um resultado satisfatório, o

que contribui para o avanço de estudos usando a biodiversidade brasileira na fitorremediação.

Dentre as espécies nativas que possuem potencial para fitorremediação de solos contaminados, destacam-se fitoextrair metais pesados: o ipê-roxo (*Tabebuia impetiginosa*), o cedro rosa (*Cedrela fissilis*), a canafistula (*Peltophorum dubium*), a embaúba (*Cecropia pachystachya*), o angico (*Parapiptadenia rigida*) e a timbaúva (*Enterolobium contortisiliquum*).

Ainda, conclui-se que mesmo existindo trabalhos que envolvam fitorremediação no Brasil, os mesmos ainda são escassos quando se tratam de espécies nativas e em sua maioria envolvem metais como cobre e zinco.



## REFERÊNCIAS

- ACCIOLY, A. M. A.; SIQUEIRA, J. O. Contaminação química e biorremediação do solo. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ V.; V. H.; SCHAEFER, C. E. G. R. *Tópicos em ciência do solo* Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2000. v. 1. p. 299-352.
- ACCIOLY, A. M. A.; SIQUEIRA, J. O.; CURI, N.; MOREIRA, F.M.S. Amenização do Calcário na Toxidez de Zinco e Cádmio para Mudas de *Eucalyptus Camaldulensis* Cultivadas Em Solo Contaminado. *Revista Brasileira de Ciência do solo*, v. 28, p. 775-783, 2004.
- AFONSO, T.F., DEMARCO, C.F., Pieniz, S. *et al.* Potential of *Solanum viarum* Dunal in use for phytoremediation of heavy metals to mining areas, southern Brazil. *Environ Sci Pollut Res* 26, 24132–24142 (2019).
- AFONSO, T.F., DEMARCO, C.F., PIENIZ, S. *et al.* Analysis of *Baccharis dracunculifolia* and *Baccharis trimera* for Phytoremediation of Heavy Metals in Copper Mining Tailings Area in Southern Brazil. *Appl Biochem Biotechnol* **194**, 694–708 (2022).
- ANDREAZZA, R., L. BORTOLON, S. Pieniz, F. M. Bento, e F. a. O. CAMARGO. 2015. “Evaluation of Two Brazilian Indigenous Plants for Phytostabilization and Phytoremediation of Copper-Contaminated Soils”. *Brazilian Journal of Biology* 75 (novembro).
- ANSELMO, A. L. F.; JONES, C. M. – Fitorremediação de solos contaminados- o estado da arte. *XXV Encontro Nac. de Eng. De Produção* – Porto Alegre, RS, nov. de 2005.
- BARROS, Alexandre Bomfim, Joaquim Alexandre Moreira Azevedo, Adelmo Lima Bastos, e Velber Xavier Nascimento. 2021. "Caracterização e biodisponibilidade de metais no mangue da Foz do Rio Meirim, Maceió-AL/ Characterization and bioavailability of metals in the mangrove of the Meirim River Mouth, Maceió-AL". *Brazilian Journal of Development* 7 (2): 20133–47. <https://doi.org/10.34117/bjdv7n2-586>.
- BARROSO, Gabriela Madureira et al. *Mabea fistulifera* and *Zeyheria tuberculosa* can be indicated for phytoremediation programs of soils contaminated with hormonal herbicides. *International Journal of Phytoremediation*, p. 1-8, 2021.
- BERTI, W. R.; CUNNINGHAM, S. D. Phytostabilization of metals. In: RASKIN, I. e ENSLEY, B. D. (Eds.). *Phytoremediation of toxic metals: Using plants to clean-up the environment*. New York: Wiley, 2000. p. 71-88.
- BOECHAT, C.L., Pistóia, V.C., Gianelo, C. *et al.* Accumulation and translocation of heavy metal by spontaneous plants growing on multi-metal-contaminated site in the Southeast of Rio Grande do Sul state, Brazil. *Environ Sci Pollut Res* **23**, 2371–2380 (2016).
- BOTHE, H., 2011. Plants in heavy metal soils. In: Sherameti, I., Varma, A. (Eds.), *Detoxification of Heavy Metals, Soil Biology*, vol. 30. *Springer-Verlag*, Berlin Heidelberg, pp. 35–57.

- BRASIL. Biodiversidade: riqueza de espécies. *Ministério do Meio Ambiente*. 2002. Disponível em: <https://www.gov.br/mma/pt-br/assuntos/biodiversidade> Acessado em: 18/06/2022.
- BRAUN, A. B., da Silva Trentin, A. W., Visentin, C., & Thome, A. (2019). Sustainable remediation through the risk management perspective and stakeholder involvement: A systematic and bibliometric view of the literature. *Environmental Pollution*, 255, 113221.
- BURRITT, R.L., Christ, K.L., 2018. *Water risk in mining: analysis of the Samarco dam failure*. *J. Clean. Prod.* 178, 196–205. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.01.042>.
- C.F. Carolin, P.S. Kumar, A. Saravanan, G.J. Joshiba, M. Naushad, Efficient techniques for the removal of toxic heavy metals from aquatic environment: a review, *J. Environ. Chem. Eng.* 5 (2017) 2782–2799.
- CAIRES, Sandro Marcelo de. 2005. “*Comportamento de mudas de espécies florestais nativas na fitorremediação de solo contaminado com zinco e cobre*”, fevereiro.
- CARVALHO, J. G.; VIEGAS, I. J. M. Caracterização de sintomas de deficiências de nutrientes em paricá (*Schizolobium amazonicum* Huber ex. Ducke). Belém: EMBRAPA-CPATU, 2004. 6 p. (*Circular Técnica*, n. 37).
- CASSELLA RJ, Wagener A, de LR, Santelli RE, Wagener K, Tavares LY. 2007. Distribution of copper in the vicinity of a deactivated mining site at Carajas in the Amazon region of Brazil. *J Hazard Mater.* 142(1–2):543–549.
- CASTRO, R. F. de. Fitorremediação de Solos Contaminados por Crômio, Chumbo e Zinco utilizando as espécies amazônicas *Commelina erecta*, *Montagma laxum*, *Borria capitata*, *Panicum maximum*, *Cyperus surinamensis* e *Nephrolepis biserrata*. 2007. 170 f. Tese de Doutorado. Universidade Federal do Amazonas, Manaus. 2007.
- COUTINHO, H.C.; BARBOSA, A.R. Fitorremediação: considerações gerais e características de utilização. *Silva Lusitana*, Lisboa, v. 15, n. 1, p. 103-117, 2007
- CUNNINGHAM, S. D., & Ow, D. W. (1996). Promises and prospects of Phytoremediation. *Plant Physiology*, 110, 715- 719. PMID:12226213.
- DEMARCO, C.F., Afonso, T.F., Pieniz, S. *et al.* In situ phytoremediation characterization of heavy metals promoted by *Hydrocotyle ranunculoides* at Santa Bárbara stream, an anthropogenic polluted site in southern of Brazil. *Environ Sci Pollut Res* 25, 28312–28321 (2018).
- DEMARCO CF, Afonso TF, Pieniz S, Quadro MS, Camargo FAO, Andrezza R. Phytoremediation of heavy metals and nutrients by the *Sagittaria montevidensis* into an anthropogenic contaminated site at Southern of Brazil. *Int J Phytoremediation*. 2019;21(11):1145-1152.
- DONG, X.; LI, C.; LI, J.; WANG, J.; LIU, S.; Ye, B. A novel approach for soil contamination assessment from heavy metal pollution: a linkage between discharge and adsorption. *J Hazard Mater*, v.175 p. 1022-1030, 2010.
- “Down to Earth: Soil Degradation and Sustainable Development in Europe - A Challenge for the 21st Century — *European Environment Agency*”. [s.d.]. Publication.

Acessado 3 de novembro de 2021.

[https://www.eea.europa.eu/publications/Environmental\\_issue\\_series\\_16](https://www.eea.europa.eu/publications/Environmental_issue_series_16).

DUFFUS, JOHN H. "HEAVY M-TALS" - A MEANINGLESS TERM? (IUPAC Technical Report). *Pure Appl. Chem.*, Vol. 74, No. 5, pp. 793–807, 2002

FARIAS, C.P., ALVES, G.S., OLIVEIRA, D.C., DE MELO, E.I. and AZEVEDO, L.C.B., 2020. A consortium of fungal isolates and biochar improved the phytoremediation potential of Jacaranda mimosifolia D. Don and reduced copper, manganese, and zinc leaching. *Journal of Soils and Sediments*, 20(1), pp.260-271.

FLORA DO BRASIL 2020. *Jardim Botânico do Rio de Janeiro*. Disponível em: <<http://floradobrasil.jbrj.gov.br/>>. Acesso em: 06 jan. 2022

FLORES, V.R., BERBERT, L.C., SUCCAR, J.B. *et al.* *Avicennia schaueriana* as a highly efficient accumulator for Manganese in Sepetiba Bay, Brazil. *Int. J. Environ. Sci. Technol.* **19**, 6863–6868 (2022).

GAI, Ana Paula Camargo; DOS SANTOS, Daniela Soares; VIEIRA, Evandro Alves. Effects of zinc excess on antioxidant metabolism, mineral content and initial growth of *Handroanthus impetiginosus* (Mart. ex DC.) Mattos and *Tabebuia roseoalba* (Ridl.) Sandwith. *Environmental and Experimental Botany*, v. 144, p. 88-99, 2017.

GOMES, Marcos Vinícius Teles; de SOUZA, Roberto Rodrigues; TELES, Vinícius Silva; ARAÚJO Mendes, Érica (2014). Phytoremediation of water contaminated with mercury using *Typha domingensis* in constructed wetland. *Chemosphere*, 103(), 228–233. doi:10.1016/j.chemosphere.2013.11.071

HANSEN D, Duda PJ, Zayed A, Terry N. Selenium removal by constructed wetlands: Role of biological volatilization. *Environmental Science and Technology*. 1988; 32:591-597

HASSANPOUR, R., ZAFARIAN, F., REZVANI, M., JALILI, B. (2020). 'Growth Ability and Phytoremediation of Water Mint (*Mentha aquatica*), *Eryngo* (*Eryngium caucasicum*) and *Froriepia* (*Froriepia subpinnata*) in Soil Contaminated with Lead', *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production*, 30(4), pp. 229-247. doi: 10.22034/saps.2020.12314

HEEMANN, Tagliane Puhl, et al. "Phytoremediation capacity of forest species to herbicides in two types of soils." *Floresta e Ambiente* 25 (2018).

IBF – Instituto Brasileiro de Florestas – *Espécie Nativa*. Disponível em <https://www.ibflorestas.org.br/conteudo/especies-nativas-e-exoticas>. Acesso em 25/09/2021.

JAISWAL, A., Verma, A., & Jaiswal, P. (2018). Detrimental effects of heavy metals in soil, plants, and aquatic ecosystems and in humans. *Journal of Environmental Pathology, Toxicology and Oncology*, 37(3).

JONES, Cleveland, e André Anselmo. 2005. *Fitorremediação de Solos Contaminados – O Estado da Arte*.

KHAN, A. G.; KUEK, C.; CHAUDHRY, T. M.; KHOO, C. S.; HAYES, N. J. Role of plants, mycorrhizae and phytochelators in heavy metal contaminated land remediation. *Chemosphere*, v. 41, p. 197-207, 2000.

- KRISTANTI, Risky Ayu et al. Rhizofiltration for removal of inorganic and organic pollutants in groundwater: a review. *Biointerafce Res. Appl. Chem*, v. 4, p. 12326-12347, 2021.
- LI, Q.; ZHAN, J.; CHEN, B; MENG, X.; PAN, X. Removal of Pb, Zn, Cu, and Cd by Two Types of *Eichhornia crassipes*. *Environmental Engineering Science*, v. 33, n. 2, p. 88–97, 2016.
- M. P. Gomes, M. CARVALHO, G. S. CARVALHO, T. C. L. L. S. M. MARQUES, Q. S. GARCIA, L. R. G. Guilherme & A. M. Soares (2013) Phosphorus Improves Arsenic Phytoremediation by *Anadenanthera Peregrina* by Alleviating Induced Oxidative Stress, *International Journal of Phytoremediation*, 15:7, 633- 646.
- MALIK, N., BISWAS, A.K., 2012. Role of higher plants in remediation of metal contaminated sites. *Sci. Rev. Chem. Commun.* 2, 141–146.
- MARQUES, Marcia, Christiane Rosas Chafim Aguiar, e Jonatas José Luiz Soares da Silva. 2011. “Desafios técnicos e barreiras sociais, econômicas e regulatórias na fitorremediação de solos contaminados”. *Revista Brasileira de Ciência do Solo* 35 (fevereiro): 1–11.
- MARQUES, T. C. L. S. M.; SIQUEIRA, J. O.; MOREIRA, F. M. S. Crescimento e teor de metais de mudas de espécies arbóreas cultivadas em solo contaminado com metais pesados. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 35, n. 1, p. 121-132, 2000.
- MAYCON A. Araujo, Marilaine C.M. Leite, Liliane S. Camargos, Aline R. Martins, Tolerance evaluation and morphophysiological responses of *Astronium graveolens*, a native brazilian Cerrado, to addition of lead in soil., *Ecotoxicology and Environmental Safety*, Volume 195, 2020, 110524.
- MILLER R.R. Phytoremediation. Pittsburgh: Ground-Water Remediation Technologies Analysis Center, 1996.
- NASCIMENTO, Clístenes Williams Araújo do et al. Using plants to remediate or manage metal-polluted soils: an overview on the current state of phytotechnologies. *Acta Scientiarum. Agronomy* [online]. 2021, v. 43 [Accessed 25 July 2022], e58283. Available from: <<https://doi.org/10.4025/actasciagron.v43i1.58283>>. Epub 22 Sept 2021. ISSN 1807-8621.
- NEWMAN, L. A.; DOTY, S. L.; GERY, K. L.; HEILMAN, P. E.; MUIZNIEKS, I; Q. T. SHANG, Q. T.; SIEMIENIEC, S. T.; STRAND, S. E.; WANG, X.; WILSON, A. M. GORDON, M. P. Phytoremediation of organic contaminants: A review of phytoremediation research at the University of Washington. *Journal of Soil Contamination*, Seattle, v.7, p.531-542, 1998.
- OLIVEIRA, Fernando Claret. Avaliação de plantas metalófitas nativas da mata ciliar do rio tietê para recuperação de áreas degradadas – 2010. 84f
- OLIVEIRA, .G., Carvalho, M.E.A., Silva, H.F. et al. *Lonchocarpus cultratus*, a Brazilian savanna tree, endures high soil Pb levels. *Environ Sci Pollut Res* 28, 50931–50940 (2021).

FERREIRA, Paulo Ademar Avelar, LOPES, Guilherme, SANTANA, Natielo Almeida, MARCHEZAN Carina, SOARES, Claudio Roberto Fonsêca Sousa, GUILHERME, Luiz Roberto Guimarães, Soil amendments affect the potential of *Gomphrena clausenii* for phytoremediation of a Zn- and Cd-contaminated soil, *Chemosphere*, Volume 288, Part 2, 2022 132508 ISSN 0045-6535,

PEREIRA BFF (2005) Potencial fitorremediador das culturas de feijão de-porco, girassol e milho cultivadas em latossolo vermelho contaminado com chumbo. Dissertação de Mestrado. Curso de Pós Graduação em Agricultura Tropical e Subtropical, *Instituto Agronômico (IAC)*, Campinas, SP.

PEREIRA, P., Bogunovic, I., Muñoz-Rojas, M., & Brevik, E. C. (2018). Soil ecosystem services, sustainability, valuation and management. *Current Opinion in Environmental Science & Health*, 5, 7-13.

PERLATTI F, FERREIRA T.O., ROMERO, R.E., COSTA, M.C.G., OTERO, X.L., 2015. Copper accumulation and changes in soil physical–chemical properties promoted by native plants in an abandoned mine site in northeastern Brazil: implications for restoration of mine sites. *Ecol Eng.* 82:103–111.

PIMENTEL, P.M. et al. Caracterização e uso de xisto para adsorção de chumbo (II) em solução. *Cerâmica*, São Paulo, v. 52, p.194-199, 2006.

PIRES, F. R., C. M. SOUZA, A. A. Silva, S. O. PROCÓPIO, e L. R. FERREIRA. 2003. “Fitorremediação de solos contaminados com herbicidas”. *Planta Daninha* 21 (agosto): 335–41. <https://doi.org/10.1590/S0100-83582003000200020>.

PRABAKARAN K, Li J, Anandkumar A, Leng Z, Zou CB, Du D. Managing environmental contamination through phytoremediation by invasive plants: A review. *Ecological Engineering*. 2019 Nov 1;138:28-37.

PRASSAD, M.N.V., 2015. Geobotany-biogeochemical prospecting. *Paleobotanist* 64, 113–116.

PROCÓPIO S.O. et al. Potencial de espécies vegetais para a remediação do herbicida trifloxysulfuron-sodium. *Planta Daninha*. 2005; 23:9-16.

RASKIN, I.; KUMAR, P. B. A. N.; DUSHENKOV, S.; SALT, D. E. Bioconcentration of heavy metals by plants. *Current Opinion Biotechnology*, London, v. 5, p. 285-290, 1994.

RUGH CL, Wilde HD, Stack NM, Thompson DM, Summers AO, Meagher RB. Mercuric ion reduction and resistance in transgenic *Arabidopsis thaliana* plants expressing a modified bacterial *merA* gene. *Proceeding National Academic Science USA*. 1996; 93:3182-3187

SCHAETZL, Randall J, e Sharon Anderson. [s.d.]. “*Soils: Genesis and Geomorphology*”, 833.

SCHETTINI, Antonella T.; Leite, Mariangela G.P.; Messias, Maria Cristina T.B.; Gauthier, Arnaud; Li, Haixiao; Kozovits, Alessandra R. (2017). Exploring Al, Mn and Fe phytoextraction in 27 ferruginous rocky outcrops plant species. *Flora*, (), S0367253017332139–. doi:10.1016/j.flora.2017.05.004

SHAHID, M., Dumat, C., Khalid, S., Schereck, E., Xiong, T., Niazi, N.K., 2017. Foliar heavy metal uptake, toxicity and detoxification in plants: a comparison of foliar and root metal uptake. *J. Hazard Mater.* 325, 36–58.

SILVA, Rodrigo Ferreira da, Zaida Ines Antonioli, André Luis Grolli, Douglas Leandro Scheid, Gilvan Moises Bertollo, e Evandro Luis Missio. 2018. “Crescimento e tolerância de mudas de *Enterolobium contortisiliquum* Vell. cultivadas em solo contaminado com zinco”. *Ciência Florestal* 28 (3): 979–86.

SILVA, Tiago J. da et al. Fitorremediação de solos contaminados com metais: Panorama atual e perspectivas de uso de espécies florestais. *Revista Virtual de Química*, v. 11, n. 1, p. 18-34, 2019.

SOUZA, M. R. F. Fitorremediação de solo contaminado por metais pesados. Belo Horizonte, 2010. 30 p. Trabalho de Conclusão de Curso, Curso de Ciências Biológicas, *Centro Universitário Metodista Izabela*, 2010.

SOUZA, Sarah Caroline Ribeiro de, Sara Adrián López de Andrade, Lucas Anjos de Souza, Marlene Aparecida Schiavinato, Lead tolerance and phytoremediation potential of Brazilian leguminous tree species at the seedling stage, *Journal of Environmental Management*, Volume 110, 2012, Pages 299-307.

SOUZA, Natalia Dias de et al. A Brazilian Amazon Species with High Potential to Phytoextract Potential Toxic Elements. *Floresta e Ambiente* [online]. 2022, v. 29, n. 1 [Accessed 25 July 2022], e20210076. Available from: <<https://doi.org/10.1590/2179-8087-FLORAM-2021-0076>>. Epub 28 Mar 2022. ISSN 2179-8087.

SRIVASTAVA Dipali,;Madhu Tiwari;Prasanna Dutta;Puja Singh;Khushboo Chawda;Monica Kumari;Debasis Chakrabarty; (2021). *Chromium Stress in Plants: Toxicity, Tolerance and Phytoremediation . Sustainability*, (), – . doi:10.3390/su13094629

TORDOFF, G. M.; BAKER, A. J. M.; WILLIS, A. J. Current approaches to the revegetation and reclamation of metalliferous mine wastes. *Chemosphere*, v. 41, n. 1-2, p. 219-228, 2000. USEPA. Introduction to Phytoremediation. Washington

V. Asensio F. G. Flórido, F. Ruiz, F. Perlatti, X. L. Otero & T. O. Ferreira (2018) Screening of native tropical trees for phytoremediation in copper-polluted soils, *International Journal of Phytoremediation*, 20:14, 1456-1463

VIDALI, M. Bioremediation. An overview. *Pure and Applied Chemistry*, v. 73, n. 7, p. 1163–1172, 2001.

VILHALVA, Divina Aparecida Anunciação. Estudo morfofisiológico do desenvolvimento das espécies *Galianthe grandifolia* E. L. Cabral (Rubiaceae) e *Campuloclinium chlorolepis* Baker (Asteraceae) submetidas a diferentes concentrações de cádmio / Divina Aparecida Anunciação Vilhalva. – Campinas, SP: [s.n.], 2008

WAGNER-Döbler I (2013) Bioremediation of mercury. Current research and industrial applications. *Norfolk: Caister Scientific Press*, 143p.

Watilla Pereira Covre, Wendel Valter da Silveira Pereira, Deyvison Andrey Medrado Gonçalves, Orivan Maria Marques Teixeira, Cristine Bastos do Amarante, Antonio Rodrigues Fernandes, Phytoremediation potential of *Khaya ivorensis* and *Cedrela*

fissilis in copper contaminated soil, *Journal of Environmental Management*, Volume 268, 2020, 110733, ISSN 0301-4797,

WUANA, R. A.; OKIEIMEN, F. E. Heavy Metals in Contaminated Soils: A Review of Sources, Chemistry, Risks and Best Available Strategies for Remediation. *ISRN Ecology*, v. 2011, p. 20, 2011.