

**CENTRO ESTADUAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA PAULA
SOUZA**

ETEC TRAJANO CAMARGO

ENSINO MÉDIO INTEGRADO AO TÉCNICO EM QUÍMICA

JÚLIA ESCARCINI DO NASCIMENTO

JÚLIA SILVESTRE DE LIMA

**ANÁLISE DO POTENCIAL FITORREMEIADOR DA *Cyperus
rotundus* EM ÁREAS CONTAMINADAS POR RESÍDUOS DE
INDÚSTRIAS GALVÂNICAS**

LIMEIRA - SP

2022

JÚLIA ESCARCINI DO NASCIMENTO

JÚLIA SILVESTRE DE LIMA

**Análise do Potencial Fitorremediador da *Cyperus rotundus* em
Áreas Contaminadas por Resíduos de Indústrias Galvânicas**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Banca Examinadora, como exigência parcial para a obtenção de título de Técnico em Química, da Escola Técnica Trajano Camargo de Limeira, sob orientação da professora Jéssica Carolina Paschoal de Macedo e coorientado pela professora Dra. Gislaine Aparecida Barana Delbianco.

Limeira – SP

2022

Dedicamos este trabalho às nossas mães, que nos inspiram a prosperar academicamente, e aos nossos amigos, que nos incentivaram e apoiaram emocionalmente até o fim dessa etapa de nossas vidas acadêmicas.

“Nós sempre nos definimos pela capacidade de superar o impossível”.

(Interestelar)

AGRADECIMENTOS

A nossos familiares e amigos, que sempre permaneceram ao nosso lado, por todo suporte emocional e amizade incondicional durante o período que dedicamos à realização deste trabalho.

Aos professores, pelas orientações e ensinamentos que se fizeram indispensáveis para um melhor desenvolvimento de nosso processo de formação acadêmica e pessoal, e conselhos que certamente impactaram positivamente a elaboração deste projeto científico.

À instituição de ensino Trajano Camargo, por fornecer instrumentos e mecanismos basilares para a concretização do trabalho.

RESUMO

A contaminação dos solos por metais pesados derivados de resíduos de indústrias pode causar muitos danos às propriedades do solo e à saúde humana, e a preservação e tratamento tornam-se de extrema importância. No trabalho apresentado será desenvolvido a análise da técnica de fitorremediação de solos contaminados por Sulfato de Cobre (CuSO_4), para além disso será apontada uma forma mais viável para o tratamento destes solos. Dito isso, uma das maiores preocupações com a contaminação de solo é as consequências à saúde humana, sobretudo devido ao contato contínuo dos seres humanos com o meio ambiente, tornando sua saúde mais vulnerável aos danos causados por metais pesados, provocando o contágio de doenças. A poluição do solo pode torná-lo inutilizável para diversas funções, como o plantio alimentos, por exemplo, e o tratamento se faz necessário. Na busca de tratar esses solos de forma adequada, o trabalho foi desenvolvido através do uso da técnica de fitorremediação, que consiste no plantio de mudas de determinada espécie de plantas que possuem potencial fitorremediador (absorver metais pesados) no solo contaminado para que essas plantas absorvam a substância. Esse método é considerado efetivo pois além de diminuir a contaminação do solo, o mantém produtivo, não impedindo que atividades sejam realizadas nele.

Palavras-chave: Fitorremediação. *Cyperus rotundus*. Solo. Descontaminação. Sulfato de Cobre.

ABSTRACT

Soil contamination by heavy metals derived from industrial waste can cause a lot of damage to soil properties and human health, and preservation and treatment are extremely important. In the work presented, the analysis of the technique of phytoremediation of soils contaminated by Copper Sulfate (CuSO_4) will be developed, in addition, a more viable way for the treatment of these soils will be pointed out. Having said that, one of the biggest concerns with soil contamination is the consequences for human health, especially due to the continuous contact of human beings with the environment, making their health more vulnerable to damage caused by heavy metals, causing the contagion of diseases. Soil pollution can make it unusable for various functions, such as growing food, for example, and treatment is necessary. In the quest to treat these soils appropriately, the work was carried out using the phytoremediation technique, which consists of planting seedlings of a certain species of plants that have phytoremediation potential (absorbing metals) in the contaminated soil so that these plants absorb the substance. This method is considered effective because, in addition to reducing soil contamination, it keeps it productive, not preventing activities from being carried out on it.

Keywords: Phytoremediation. *Cyperus Rotundus*. Soil. Decontamination. Copper.

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVA	9
2.	OBJETIVO	11
2.1.	Objetivo Geral	11
2.2.	Objetivos Específicos	11
3.	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	12
3.1.	Fitorremediação.....	12
3.2.	A Importância do Solo.....	15
3.3.	Metais Pesados no Solo.....	17
3.4.	O Cobre no Solo	18
3.5.	As Plantas Daninhas	19
3.6.	<i>Cyperus rotundus</i>	20
4.	MATERIAIS E MÉTODOS	23
4.1	Preparo do Solo com Adição de Sulfato de Cobre (CuSO_4).	23
4.2	Retirada e Plantio das Mudanças de <i>Cyperus rotundus</i>	24
4.3	Análise Visual ao Longo dos Dias	24
4.4	Comparação dos Resultados Obtidos Qualitativamente com Resultados Quantitativos de Trabalhos Pré-Existentes	24
5.	DISCUSSÃO DE RESULTADOS.....	26
5.1.	Preparo do Solo com Adição de Sulfato de Cobre (CuSO_4)	26
5.2.	Retirada e Plantio das Mudanças de <i>Cyperus rotundus</i>	28
5.3.	Análise Visual ao Longo dos Dias	28
5.4.	Comparação dos Resultados Obtidos Qualitativamente com Resultados Quantitativos de Trabalhos Pré-Existentes	31
6.	CONSIDERAÇÕES FINAIS	35
	REFERÊNCIAS.....	37

1. INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVA

Segundo Gili (2015), a atividade humana, seja ela industrial ou não, é um grande agente gerador de poluentes. Corantes, óleos, graxas e muitos outros subprodutos acarretam diversos problemas ao meio ambiente, sendo que uma importante parcela do processo de contaminação pode ser atribuída às atividades das refinarias de petróleo, das indústrias químicas, têxteis, farmacêuticas, da agricultura, esgotos sanitários e resíduos domésticos.

A preocupação com a poluição do solo deriva necessariamente dos riscos que proporciona à saúde e manutenção de todo organismo vivente na área, bem como o possível contato humano diretamente com o meio, com os vapores do agente contaminante e contaminação presente na área. Em várias ocasiões o ser humano está à mercê de um contato com a poluição infiltrada no solo, permitindo a propagação de doenças (OLIVEIRA, 2014).

O município de Limeira, situado no interior de São Paulo, é conhecido pela sua produção de joias e bijuterias e é considerada a capital nacional da joia folheada. Um dos processos da fabricação de joias é o revestimento de peças (banho metálico) que geram efluentes contendo metais, sendo os mais utilizados o Cromo (Cr), Níquel (Ni), Zinco (Zn), Cádmio (Cd) e Cobre (Cu). Devido ao crescimento do setor na cidade, é comum o uso da mão-de-obra informal nos domicílios e a ocorrência de empresas clandestinas, levando a lançamentos irregulares sem nenhum tipo de tratamento prévio em recursos hídricos e solos (ROMITA; CANTERAS, 2018).

Na busca pela recuperação de solos poluídos por metais pesados, várias técnicas têm sido utilizadas, tais como escavação e substituição do solo ou tratamento químico “ex situ”, que têm sido eficazes em pequenas áreas. Porém, essas técnicas são de alto custo e causam grande impacto visual no meio. A fitorremediação, que utiliza plantas para remediar solos poluídos, tem sido sugerida como alternativa viável às técnicas tradicionais em razão dos menores custos e da maior aceitação pelo público (OLIVEIRA, 2018).

A fitorremediação está entre as principais metodologias atualmente disponíveis para a remediação de solos contaminados e consiste no uso de plantas para remover, imobilizar ou tornar inofensivos ao ecossistema, contaminantes orgânicos e

inorgânicos presentes no solo e na água. As plantas se adaptam a ambientes extremamente diversos, de forma que muitas espécies possuem a capacidade de interagir simbioticamente com outros organismos. Essa interação é determinante para a adaptação em ambientes como solos salinos, ácidos, pobres e ricos em nutrientes ou excessivamente contaminados com metais (SILVA *et al*, 2019).

2. OBJETIVO

2.1. Objetivo Geral

Estudar e analisar o potencial fitorremediador da *Cyperus rotundus* em áreas contaminadas com metais pesados (tais como o Cobre) pelas indústrias galvânicas.

2.2. Objetivos Específicos

- Validar a capacidade que a *Cyperus rotundus* possui para absorver determinados metais do solo;
- Correlacionar o potencial desta planta com a necessidade de tratamento do solo em áreas contaminadas por metais pesados;
- Traçar uma utilidade para essa planta que é considerada daninhas;
- Detectar a adaptação da erva daninha em diferentes ambientes contaminados;
- Estimar a aplicação de técnicas para descontaminação de solos em relação a se tornar um modo mais viável, levando em consideração os custos gerados com outros métodos de tratamento de solo.

3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

3.1. Fitorremediação

De acordo com Biotech (2006), a contaminação de solos por metais pesados emprega uma forma de poluição grave, sendo um dos atos que majoritariamente abalam a saúde pública. Os metais ocorrem naturalmente nos solos, mas quando interagem com as atividades humanas causam diversos danos (BIOTECH, 2006).

A fitorremediação pode ser usada em áreas contaminadas com substâncias orgânicas e/ou inorgânicas. Resultados promissores de fitorremediação já foram obtidos para metais pesados, metaloides, hidrocarbonetos de petróleo, pesticidas, explosivos, solventes clorados e subprodutos tóxicos da indústria (CUNNINGHAN *et al*, 1996). Os aspectos positivos do processo residem no fato de que metais atuando como contaminantes são absorvidos na estrutura da planta, concentrando sua ação tóxica nesse organismo, sendo, portanto, imobilizados, contidos, transformados ou combinados para posterior extração e processamento mecânico ou químico (ACCIOLY; SIQUEIRA, 2000).

Atualmente, é crescente o interesse pela fitorremediação de solos poluídos. Essa técnica objetiva a descontaminação de solo e água utilizando-se plantas como agente descontaminante (NEWMAN *et al*, 1998). A fitorremediação pode ser definida como o processo natural em que as plantas e os microrganismos da rizosfera sequestram, degradam ou imobilizam poluentes do solo (PILON-SMITS, 2005).

Essa técnica, que no Brasil é ainda incipiente, tem seu uso difundido nos Estados Unidos e na Europa, principalmente na remediação de metais pesados, sendo identificadas algumas espécies de comprovada eficiência (RADIN, 2000; ACCIOLY; SIQUEIRA, 2000). A fitorremediação constitui mercado que cresce anualmente nos EUA, na Europa e, mais recentemente, no Brasil. As companhias de consultoria ambiental já incluem a fitorremediação em seus pacotes de tecnologia (PILON-SMITS, 2005).

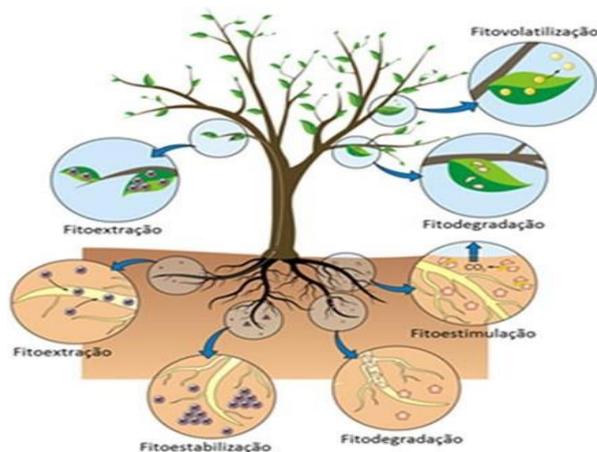
Como afirma Nascimento *et al* (2009), alternativas para a remediação de solos contaminados devem ser estudadas com o resultado de reduzir o risco de contaminação do subsolo, das águas superficiais e subsuperficiais, dos animais e pessoas, além de tentar manter estes solos produtivos, para que as aplicações da

agricultura não sejam impedidas de se manterem como importantes atividades econômicas. A fitorremediação é uma tecnologia recente que entrega a remediação dos solos contaminados com uso de plantas, com custo satisfatório, baixo impacto ambiental e grande aceitação pública (NASCIMENTO *et al*, 2009).

Na busca por alternativas de descontaminação de ambientes poluídos, têm se destacado medidas que englobam: tempo demandado pelo processo, menor custo, eficiência na descontaminação e simplicidade na execução. Neste caso, aumenta o interesse pelas técnicas de biorremediação, processo que tem como objetivo a utilização de organismos vivos, como microrganismos e plantas na descontaminação do solo e água (SANTOS, 2019).

Os mecanismos de fitorremediação mais conhecidos são: fitoextração, fitofiltração, fitoestabilização e fitovolatilização. Neste sentido, a figura 1 apresenta os principais mecanismos de fitorremediação:

Figura 1: Fitorremediação



Fonte: Medeiros, (2015).

No meio desses mecanismos a fitoextração têm apresentado maior interesse dos pesquisadores devido à possibilidade de certas espécies de plantas serem hiperacumuladoras de metais pesados. Na tentativa de maximizar a fitoextração e o corte sucessivo da parte aérea das espécies, plantas com alta capacidade de

rebrotação podem viabilizar a técnica e as novas brotações e folhas jovens atuam como dreno de reservas (TAIZ; ZEIGER 2013).

Diante esse contexto, observamos que a técnica de fitorremediação já sofreu aperfeiçoamentos importantes quanto à natureza dos agentes poluidores e desenvolvimento dos processos envolvidos, destacando-se Fitoextração, Fitoestimulação, Fitotransformação (Fitovolatilização e Fitodegradação), Fitoestabilização e Rizofiltração (CEZAR, 2019).

É necessário, portanto, que as plantas que possuem potencial para fitorremediação possuam algumas características que devam ser usadas como indicativos para sua escolha, sendo essencial então que as plantas fitorremediadoras apresentem determinadas características que são usadas para sua seleção. De modo que essas características devem ser:

- Capacidade de absorção, contração e/ou metabolização e tolerância ao contaminante;
- Sistema radicular profundo e denso;
- Alta taxa de crescimento e produção de biomassa;
- Capacidade transpiratória elevada, especialmente em árvores e plantas perenes;
- Fácil colheita, quando necessária a remoção da planta da área contaminada;
- Elevada taxa de exsudação radicular;
- Resistência a pragas e doenças;
- Fácil aquisição ou multiplicação de propágulo;
- Capacidade de desenvolver-se bem em ambientes diversos;
- Ocorrência natural em áreas poluídas, o que é importante na identificação, porém não é pré-requisito (PASTRE, 2006).

As plantas auxiliam removendo, contendo, transferindo, estabilizando e tornando inofensivos os metais pesados presentes no solo. A fitoextração emprega plantas hiperacumuladoras para remover os metais do solo pela absorção e acúmulo nas raízes e na parte aérea das plantas, que poderão ser posteriormente dispostas em aterros sanitários ou recicladas para a recuperação do metal. Estas plantas são capazes de tolerar, absorver e deslocar altos níveis de determinados metais pesados que seriam tóxicos a qualquer outro organismo (ZEITOUNI, 2003).

3.2. A Importância do Solo

O solo é um sistema biogeoquímico complexo com funções ecológicas, econômicas, sociais e culturais, que desempenha um papel relevante para a atividade humana e para a sobrevivência dos ecossistemas e da vida em geral. O solo pode, assim, ser definido como a camada superior da crosta terrestre, situada entre o substrato rochoso e a superfície, constituída por minerais, matéria orgânica, água, ar e organismos vivos (EP SOLOS E SEDIMENTOS, 2012).

Ribeiro (2013) determina que o solo, enquanto capital natural, disponibiliza abundantes funções, nas quais o pesquisador destaca o fato de o solo fornecer fontes de energia, alimentos e materiais, de conceder o ajuste do clima e da água, de servir como escoadouro para os resíduos e para a contaminação e de absorver gases com efeito de estufa. Acrescenta, ainda, que os atributos do solo possuem influência direta nos ciclos da água, dos nutrientes e do carbono, devido ao fato do solo armazenar, filtrar e transformar múltiplas substâncias (RIBEIRO, 2013).

Doran & Parkin (1994) definem a qualidade do solo como a capacidade do mesmo em funcionar dentro do ecossistema, bem como de sustentar a produtividade biológica, mantendo a qualidade ambiental e promovendo a saúde das plantas e animais, sendo avaliada pelo uso de indicadores físicos, químicos e biológicos (DORAN; PARKIN, 1994).

Em concordância com Ribeiro (2013), é fundamental o reconhecimento da atuação do solo como uma atribuição transversal, uma vez que existe uma abundância de esferas econômicas que fazem uso deste recurso e contribuem para a degradação deles a diferentes níveis. A decorrente diminuição da funcionalidade do solo possui um efeito sobre o meio ambiente de modo geral (RIBEIRO, 2013).

Consoante à afirmação de Jones (2010), a preservação do solo é um tópico importante, não só a nível nacional ou regional, como a nível mundial. O solo não só é a base para aproximadamente 90% de todo o alimento humano, ração animal, fibras e combustível, mas também fornece diversas aplicações produtivas. O solo estabelece uma parte fundamental da paisagem, fazendo parte de uma herança cultural e histórica (JONES, 2010).

Segundo Lourenço (2005), o solo exerce suas funções como um filtro, possuindo a capacidade de descontaminar parte significativa dos poluentes nele dispostos. No

entanto, essa capacidade é escassa, podendo ocorrer mudança da qualidade do solo devido ao efeito cumulativo da deposição de poluentes atmosféricos e resíduos sólidos urbanos, industriais e radioativos, da rejeição de efluentes e da aplicação de fertilizantes e outros produtos agrícolas (LOURENÇO, 2005).

A multifuncionalidade do solo acaba por ser um paradoxo: a sua importância para um vasto leque de atividades humanas, torna-o mais vulnerável aos danos e à exaustão provocadas por tal. O fato de o solo ter as capacidades de tampão, filtração e absorção dos contaminantes, significa que os danos, não são, muitas vezes, detectáveis até que estes já estejam num estado bastante avançado (EEA, 2000).

A contaminação do solo caracteriza-se pela presença de substâncias, produtos químicos, que normalmente não estão presentes ou que existem em menores concentrações ou quantidades no solo ou nos sedimentos, e que podem ocasionar efeitos adversos na saúde humana e/ou no ambiente. Em termos gerais, a contaminação pode ser biológica, quando associada à presença de microrganismos patogênicos (parasitas, vírus, fungos e bactérias); e química, quando relacionada com a presença de substâncias químicas ou compostos indesejáveis. Incluem-se nesta tipologia os contaminantes com propriedades radioativas (EP SOLOS E SEDIMENTOS, 2012).

No âmbito das Ações do Plano Nacional de Ação Ambiente e Saúde (PNAAS), a EP Solo e Sedimentos (2012) estabeleceu como particularmente relevante determinar quatro grandes conjuntos de contaminantes pelos efeitos negativos na saúde humana que podem provir da sua presença: substâncias químicas inorgânicas, compostos orgânicos, elementos radioativos e microrganismos (EP SOLOS E SEDIMENTOS, 2012).

Ainda em concordância com Ribeiro (2013), a preservação do solo como recurso natural é assim, cada vez mais, uma demanda contemporânea e a indispensabilidade de produção de alimentos não é a única justificativa para sua conservação. Diversas outras práticas são também vitais, abrangendo a da produção florestal, o de recreio e o da preservação de espécies biológicas (RIBEIRO, 2013).

3.3. Metais Pesados no Solo

A origem de áreas contaminadas está relacionada ao desconhecimento, em épocas passadas, de procedimentos seguros para o manejo de substâncias perigosas, ao desrespeito a esses procedimentos seguros e a ocorrência de acidentes ou vazamentos durante o desenvolvimento dos processos produtivos, de transporte ou ainda de armazenamento de matérias primas e produtos (CETESB, 2018).

A qualidade da vida humana depende da composição química dos alimentos e do ambiente. O solo é um componente específico da biosfera, pois não é apenas um dissipador geoquímico de contaminantes, mas também age como um amortecedor natural e controla o transporte de elementos químicos e substâncias para atmosfera, hidrosfera e biota. No entanto, a função mais importante do solo é ser um aliado da produtividade agrícola, que é fundamental para a sobrevivência dos seres humanos. Assim a manutenção das funções ecológicas e agrícolas dos solos é responsabilidade da humanidade (KABATA, 2010).

Os metais pesados são elementos que ocorrem naturalmente na crosta terrestre, embora em elevadas concentrações sejam tóxicos aos seres vivos. Por causa dessa característica, os metais pesados diferem de outros agentes tóxicos porque não são sintetizados nem destruídos pelo homem (PIMENTEL, 2006). Muitos metais são essenciais para o crescimento de todos os tipos de organismos, desde bactérias até mesmo seres humanos, mas eles são requeridos em baixas concentrações e podem danificar sistemas biológicos (ÁVILA, 2003).

Segundo afirmações de PadmavathiMma (2007), cinquenta e três elementos se encaixam na categoria de metais pesados e são conhecidos como contaminantes ambientais nas sociedades industrializadas, conforme exposto na Figura 2

Figura 2: Metais pesados no solo



Fonte: <https://bityli.com/yagAeutgd>

A contaminação por metais pesados é uma questão que causa preocupação mundial devido ao fato de serem bastante estáveis no ambiente e, conseqüentemente,

passíveis de serem hiperacumulados no solo, planta, sedimento etc. Historicamente, o solo foi utilizado como receptor de substâncias poluentes. Os processos de transformação em grande escala começaram a partir da Revolução Industrial (SILVA, 2012).

A contaminação do solo por metais pesados pode acarretar sérias consequências sobre os componentes funcionais dos ecossistemas. Através da absorção destas pelas plantas, os metais pesados podem entrar na cadeia trófica contaminando o homem e animais (LACCIOLY, 2000). Assim metais descartados no solo podem:

- Ficar inertes e adsorvidos, não representando risco à população;
- Ser assimilados por plantas, quando podem vir a ser ingeridos com os alimentos; ou
- Ser lixiviados, atingindo lençóis freáticos e mananciais. Uma vez ingeridos, os metais normalmente se acumulam nos organismos vindo a causar problemas ao longo do tempo, principalmente no cérebro e rins (HU, p.8 ,2002).

Quanto à saúde pública, os metais pesados para afetarem a saúde interagem com o corpo através de interfaces-chave, como o trato respiratório, trato gastrointestinal, pele e olhos. Estes materiais interagem quimicamente com os fluidos do corpo, como os do pulmão, os gastrointestinais, a saliva, o plasma ou o sangue. Uma grande variedade de elementos encontrados em materiais geológicos pode assim, ser associada a problemas de saúde específicos (PLUMLEE, 2005).

Neste contexto, Garcia (2009) reitera que a presença de altos níveis de metais pesados pode causar doenças crônicas quando em contato com o organismo, como doenças neurológicas, hepáticas, cancerígenas ou distúrbios renais (GARCIA, 2009).

3.4. O Cobre no Solo

Conforme Rodrigues (2012), o cobre foi provavelmente o primeiro metal a ser descoberto e empenhado pelo homem. Apesar de ser difícil estabelecer a data na qual iniciou sua utilização, acredita que tenha sido há mais de 7000 anos. A aplicação do cobre proporcionou um avanço para as civilizações mais antigas que evoluíram da idade da pedra para a do bronze. No presente, ainda é um elemento muito importante no desenvolvimento de novas tecnologias (RODRIGUES, 2012).

Na natureza, o cobre é encontrado principalmente nos minerais calcocita, calcopirita e malaquita. Também está presente na constituição da turquesa, um mineral não tão abundante, mas bastante conhecido e apreciado por sua rara beleza (RODRIGUES, 2012).

De acordo com Sodré (2001), o cobre, além de ser um metal pesado, atende aos critérios de essencialidade para plantas e microrganismos, sendo classificado como micronutriente. A literatura representa a concentra o média deste metal no solo como de 20 $\mu\text{g.g}^{-1}$ com varia es na faixa de 6 a 80 $\mu\text{g.g}^{-1}$, porém, pode ser acrescido ao meio por resíduos urbanos e industriais, pesticidas e fertilizantes, entre outros. Em grandes concentra es, pode promover efeitos tóxicos ao tecido vegetal e causar a deficiência de outros nutrientes essenciais por meio de intera es antag nicas. A dinâmica do cobre no solo   muito complexa e altamente afetada por inúmeros fatores do meio, principalmente a composi o química, física e mineralógica do solo, bem como a quantidade de matéria orgânica e o pH (SODRÉ, 2001).

Nestes casos o pH exerce também uma forte influência na dinâmica do cobre no solo. Ambientes  cidos determinam uma maior mobilidade do metal, enquanto condi es de pH acima de seis favorecem a sua reten o, principalmente em solos com elevado grau de intemperiza o, onde os grupos funcionais de superfície dos componentes coloidais são, na sua maioria, pH dependentes (oxo-hidróxidos de ferro e alumínio). O cobre ocorre nos sólidos e na soluço do solo quase que exclusivamente na forma de Cobre²⁺ (Cu^{2+}). As formas reduzidas monovalente e met lica, são possíveis somente em solos sob condi es de redu o, especialmente na presença de íons de enxofre e halog nios (SODRÉ, 2001).

3.5. As Plantas Daninhas

A planta daninha pode ser conceituada como “todas e quaisquer plantas que germinam espontaneamente em áreas de interesse humano e que, de alguma forma interferem prejudicialmente no desenvolvimento na cultura plantada” (PEREIRA, 2008).

A existência das plantas daninhas remonta   antiguidade, quando as nossas plantas cultivadas viviam no estado silvestre. A domestica o das plantas úteis foi muito lenta e inicialmente a sua explora o era extrativa. Nem mesmo a elimina o das plantas daninhas que cresciam junto   cultura era realizada, pois, uma vez que

possuíam agressividade, eram capazes de sobreviver nestas condições, sem sofrerem prejuízos decorrentes da concorrência (BRIGHENTI, 2011).

As plantas daninhas surgiram quando o homem iniciou suas atividades agrícolas, separando as benéficas (plantas cultivadas) das malélicas (plantas daninhas). De maneira que as plantas daninhas se encontram onde está o homem, porque é ele que cria o ambiente favorável a elas. O homem é, provavelmente, o responsável pela evolução das plantas daninhas, bem como das plantas cultivadas (BRIGHENTI, 2011).

A biodiversidade das espécies de plantas unilateralmente classificadas como daninhas é muito grande, criando possibilidade de utilização destas plantas de forma benéfica, destacando-se como nutritivos e fitodescontaminantes ambientais, embora diversas outras aplicações úteis possam ser facilmente enumeradas. Aliás, uma das definições também encontradas na literatura sobre planta daninha refere-se a plantas cujas virtudes ainda não foram descobertas (CHRISTOFFOLETI, 2001)

Em virtude disso, McGrath *et al* (1994) aponta que algumas plantas consideradas daninhas podem ser utilizadas como descontaminantes dos metais pesados do solo e água. Atualmente, a técnica mais utilizada na descontaminação de solo com metais pesados é a imobilização ou extração por métodos físico-químicos, que são técnicas caras, já que necessitam de equipamentos sofisticados e destroem as atividades biológicas e físicas dos solos agrícolas. Em contrapartida, plantas daninhas podem obter grande potencial como extratoras destes metais, podendo ser usadas para retê-los (MCGRATH *et al*, 1994).

A eficiência com que uma espécie é capaz de absorver o metal contaminante é baseada no metabolismo da planta; presume-se que, em maior ou menor grau, diferentes espécies podem apresentar desempenhos semelhantes. Um interesse imediato decorrente desse comportamento é refletido também em casos de contaminantes orgânicos, como ocorre com herbicidas (PIRES *et al*, 2003; SANTOS *et al*, 2004; PROCÓPIO *et al*, 2007).

3.6. *Cyperus rotundus*

A espécie *Cyperus rotundus* L., conhecida popularmente como tiririca, é herbácea, glabra e perene. É multiplicada por sementes e, em especial,

vegetativamente, a partir de rizomas e bulbos subterrâneos. Considerada a espécie mais persistente no mundo, ela está presente em quase todos os países. No contexto da agricultura convencional, é considerada planta daninha, pelas características específicas que facilitam sua sobrevivência e dispersão e por se adaptar com grande facilidade às condições edafoclimáticas criadas pelo homem (PAIXÃO, 2008).

A tiririca (*Cyperus rotundus* L.), espécie herbácea de porte relativamente pequeno, pode variar entre 15-50 cm de altura em condições brasileiras. Sistemas de rizomas formam-se dos seus bulbos basais. Estas se desenvolvem horizontalmente e verticalmente. Os rizomas não possuem gemas, mas ocorrem hipertrofias espaçadas, semelhantes a tubérculos, nas quais se encontram gemas. A origem do nome "*rotundus*" é do latim e significa redonda. O termo é alusivo aos bulbos arredondados que se formam no solo (PASTRE, 2006).

Figura 3: Bulbos da *Cyperus Rotundus*



Fonte: <https://bit.ly/3yuwLx8>

A *Cyperus. rotundus* é uma planta perene, reproduz-se por sementes, embora menos de 5% destas formadas sejam viáveis. Deste modo, a principal via de multiplicação são os tubérculos e bulbos subterrâneos. Em baixas temperaturas, o seu desenvolvimento e multiplicação se dão com lentidão, conforme relatado anteriormente, enquanto em temperaturas elevadas apresenta boa tolerância, segundo relatos, não é conhecida outra espécie vegetal que tolere temperaturas mais altas que *Cyperus rotundus* (PASTRE, 2006).

Figura 4: Cyperus Rotundus



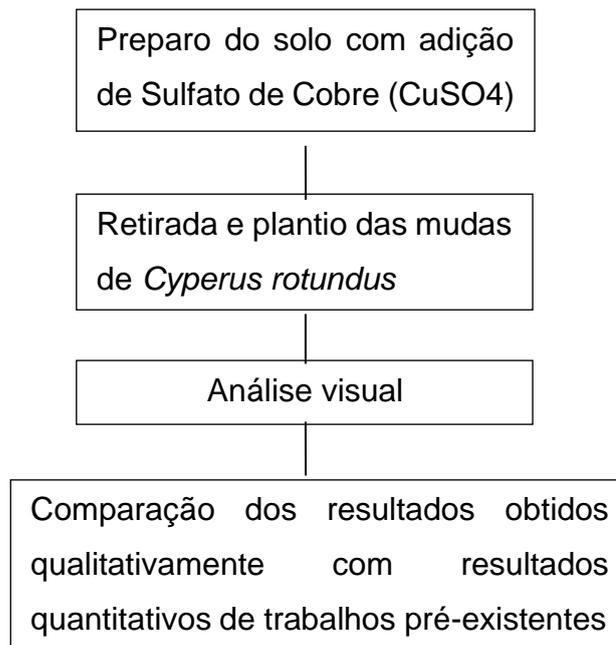
Fonte: <https://bit.ly/3kWFlat>

Essa espécie possui uma grande capacidade de sobrevivência em condições adversas, quer sejam em períodos prolongados de seca, quer sejam em inundação de terrenos. Seus tubérculos perdem a viabilidade se dissecados e o número de tubérculos inviáveis na área pode ser reduzido, caso haja o revolvimento do solo em época seca. A parte aérea é sensível a sombreamentos, podendo até mesmo ser eliminada sob condições de sombreamento prolongado (PASTRE, 2006).

4. MATERIAIS E MÉTODOS

As atividades experimentais para a análise fitorremediadora da *Cyperus rotundus* foram realizadas no laboratório da ETEC Trajano Camargo sob a orientação e supervisão da professora Jéssica Carolina Paschoal de Macedo e instrução da Professora coorientadora Gislaine Aparecida Barana Delbianco.

Fluxograma 1: Atividades experimentais desenvolvidas



Fonte: Acervo pessoal, 2022.

4.1 Preparo do Solo com Adição de Sulfato de Cobre (CuSO₄).

Para essa etapa, foram confeccionados quatro recipientes utilizando fundos de garrafas de poli tereftalato de etila (PET) que foram utilizados como vasos de plantio. Dito isso, cabe destacarmos ainda que em cada recipiente foram feitos orifícios para não acumulação de água.

Posteriormente, para a etapa de preparação do solo, foram utilizados os teores de Cobre (Cu) estabelecidos pela Companhia Ambiental Do Estado De São Paulo (CETESB, 2014). Assim, de acordo com essa normativa, os valores de intervenção de cobre presente no solo em áreas industriais são de 10.000 mg.kg⁻¹. Frente esses dados, utilizando como base a quantidade de terra empregada para o desenvolvimento do experimento, e partindo do pressuposto que seriam necessárias grandes quantidades para avaliação com clareza do comportamento das plantas, foi

designado que se utilizariam 25g de sulfato de cobre penta hidratado ($\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$) em um dos recipientes como valor de intervenção, 15g como teórico para prevenção, e 5g de referência, além do branco, sem nenhuma quantidade de sulfato de cobre, feito para teste. Essas quantidades foram solubilizadas com água deionizada até que estivessem propícios à introdução no solo. A amostra foi adicionada no vaso com a terra já preparada, e misturada até que todo o solo estivesse em contato com o cobre.

4.2 Retirada e Plantio das Mudas de *Cyperus rotundus*

As mudas de *Cyperus rotundus* foram retiradas do local em que foram encontradas, em um campo aberto localizado no bairro Jardim Campo Verde na cidade de Limeira-SP, e então plantadas uma em cada recipiente contendo uma quantidade de Sulfato de Cobre (CuSO_4) e o branco, prontas para que seus comportamentos bioquímicos fossem analisados visualmente nos próximos dias.

4.3 Análise Visual ao Longo dos Dias

As plantas foram remetidas a análise visual, objetivando que seus comportamentos diante das diferentes quantidades de CuSO_4 fossem minimamente notados e utilizados para assegurar que há superacumulação do Cobre na estrutura anatômica da planta.

Neste momento, cabe ainda destacarmos que para a pesquisa aqui apresentada foram realizadas apenas análises visuais visto que devido a indisponibilidade dos recursos necessários, não foi possível utilizar um método quantitativo, como era planejado desde o início do trabalho apresentado. Inicialmente, seria utilizado a iodometria, mas que por conta da ausência de recursos e estrutura laboratorial, ainda a dificuldade para tratar os resíduos gerados por este método, não se tornou uma metodologia viável.

4.4 Comparação dos Resultados Obtidos Qualitativamente com Resultados Quantitativos de Trabalhos Pré-Existentes

Foi realizada uma pesquisa exploratória de estudos de caso, visando comparar os resultados qualitativos obtidos nesta pesquisa, com a observação das plantas ao longo dos dias, frente ao contato com diferentes quantidades de metal analisado, com

resultados quantitativos mais precisos. Isso ocorreu devido à insuficiência de recursos para uma análise quantitativa mais eficiente em nosso projeto, de modo que buscamos principalmente validar a técnica estudada para uso em escala industrial, com menor geração de resíduos e como um sustentáculo para a química verde.

Para isso, foi utilizado o mecanismo de pesquisa Google Acadêmico, com pesquisas realizadas entre março e novembro de 2022, utilizando-se as palavras-chaves *Cyperus Rotundus* e fitorremediação, obtendo cerca de 55.326 resultados. Como critérios, foram selecionadas publicações que envolviam metais pesados como contaminantes em análise, dando ênfase aos que mais indicavam destaque ao cobre, e aplicando à planta analisada a característica fitorremediadora.

5. DISCUSSÃO DE RESULTADOS

5.1. Preparo do Solo com Adição de Sulfato de Cobre (CuSO_4)

O início da realização dos procedimentos ocorreu a partir do preparo dos recipientes de plásticos provindos de fundos de garrafas de tereftalato de polietileno (PET's). Posteriormente, houve a adição de diferentes quantidades de solução de Sulfato de Cobre (CuSO_4) em cada 1Kg de terra adubada argilosa de acordo com os teores estabelecidos anteriormente, com a finalidade de contaminar propositalmente o solo para a continuidade das análises. Essas etapas podem ser observadas nas figuras 5 e 6, respectivamente:

Figura 5: Preparo dos recipientes e etiquetagem



Fonte: Acervo pessoal, 2022.

Figura 6: Mistura da solução de Sulfato de Cobre (CuSO_4) com o solo



Fonte: Acervo pessoal, 2022.

Os reservatórios foram separados de forma que cada um deles tivessem diferentes quantidades de Sulfato de Cobre (CuSO_4), contendo 1%, 1,5%, 2,5% do solo contaminado e o branco nos recipientes respectivamente, conforme Figura 7:

Figura 7: Solo durante processo de secagem pós contato com a solução de Sulfato de Cobre (CuSO_4)



Fonte: Acervo pessoal, 2022.

Na seguinte tabela, é apresentado um panorama da aparência e aspectos apresentados do solo após as quantidades de Sulfato de Cobre (CuSO_4) adicionadas.

Tabela 1: Aparência e aspectos do solo pós contaminação

Amostra	Solo	Sulfato de Cobre (CuSO_4)	Observações das características do solo pós adição do CuSO_4
1	1 kg de terra adubada argilosa	Branco	A aparência da terra permaneceu a mesma
2	1 kg de terra adubada argilosa	0,5%	Terra um pouco esbranquiçada com pequena formação de pedregulhos e textura de aspecto duro
3	1 kg de terra adubada argilosa	1,5%	Terra esbranquiçada com formação de pedregulhos e textura de aspecto duro
4	1 kg de terra adubada argilosa	2,5%	Terra bem esbranquiçada com grande formação de pedregulhos e textura de aspecto duro

Fonte: Acervo Pessoal, 2022.

5.2. Retirada e Plantio das Mudras de *Cyperus rotundus*

As mudras de *Cyperus rotundus* foram encontradas em um campo aberto, e quatro delas foram retiradas para plantio consecutivo, tomando como importância o cuidado para retirada dos bulbos que são presentes em sua estrutura, expostos na figura 8:

Figura 8: Retirada das mudras de *Cyperus Rotundus*



Fonte: Acervo pessoal, 2022.

As plantas foram retiradas do local de onde foram encontradas e encaminhadas para o lugar onde foi realizado o plantio nos recipientes com terra adubada argilosa.

5.3. Análise Visual ao Longo dos Dias

Devido a indisponibilidade de recursos para a execução do projeto, conforme descrito no capítulo anterior, não foi possível realizar um método de análise preciso, ou seja, um método quantitativo. Foi sugerido pela professora coorientadora a aplicação da análise visual como método qualitativo, através da observação das mudras plantadas ao longo dos dias, como é retratado nas Figuras 9, 10, 11 e 12.

No primeiro dia, logo após a realização do plantio, todas as quatro mudras, até mesmo as que se encontravam em contato com grandes quantidades de Cobre (CuSO_4), apresentaram aspecto saudável e sem qualquer inclinação em suas estruturas que representasse que estavam se oxidando e murchando, conforme figura 9:

Figura 9: Primeiro dia de análise visual



Fonte: Acervo pessoal, 2022.

No dia seguinte ao plantio das mudas, foi possível observar a branda mudança em relação ao dia anterior, devido ao contato frequente com a solução de Sulfato de Cobre (CuSO_4), o fator mais notável nas plantas com maior quantidade da solução acerca do branco é a inclinação e perda de umidade e oxidação, principalmente relativa à muda imersa na solução de 25 g de CuSO_4 . No entanto, as plantas presentes no branco e na solução de 5g, permanecem em bom estado, conforme figura 10:

Figura 10: Segundo dia de análise visual



Fonte: Acervo pessoal, 2022.

Já no terceiro dia, as aparências das mudas em contato com 15g e 25g de Sulfato de Cobre (CuSO_4) já relatam ainda mais sua falta de vivacidade, cada vez mais inclinadas e secas. Dessa vez, a muda do recipiente de 5g já começa a aparentar

inclinação e aspecto insípido, ao mesmo tempo que todas as alterações não atingem o recipiente do Branco, conforme figura 11:

Figura 11: Terceiro dia de análise visual



Fonte: Acervo pessoal, 2022.

No último dia de análise visual, as plantas apresentaram seu estado mais danificado, devido ao contato constante com as altas quantidades do metal contaminante, com exceção do Branco que ainda permanece sem mudança significativa. Os demais recipientes constataam que houve a absorção do metal adicionado, ao analisar as aparências destas nos dias anteriores, conforme figura 12:

Figura 12: Quarto dia de análise visual.



Fonte: Acervo pessoal, 2022.

Diante essa análise visual, se tornou possível apresentarmos um panorama da aparência e aspectos apresentados da planta no último dia de análise visual, em contraste com o primeiro dia. Esses dados estão então dispostos na tabela 2:

Tabela 2: Panorama de aparências e aspectos da planta após quatro dias.

Amostra	Tempo (horas)	Aspectos Físicos
1	96h	Ainda aparenta aspecto saudável e vívido.
2	96h	Apresenta inclinação em seu caule e apresenta aspecto menos saudável que o branco, propiciando que está murchando.
3	96h	Apresenta completa inclinação em seu caule e aspecto esmaecido, propiciando que está completamente murcha.
4	96h	Apresenta completa inclinação em seu caule e aspecto esmaecido, propiciando que está completamente murcha.

Fonte: Acervo pessoal, 2022.

5.4. Comparação dos Resultados Obtidos Qualitativamente com Resultados Quantitativos de Trabalhos Pré-Existentes

Utilizando como intenção de evidenciar um panorama de estudos sobre a planta e técnica de remediação em análise, foi realizado um mapeamento buscando contrastar o número de pesquisas realizadas ao longo dos últimos anos, utilizando como base o mecanismo de pesquisa Google Acadêmico, usando o número de publicações feitas no período, do ano de 2012 a 2021, analisando o crescimento de pesquisas efetuadas nos últimos dez anos. (Gráficos 1 e 2):

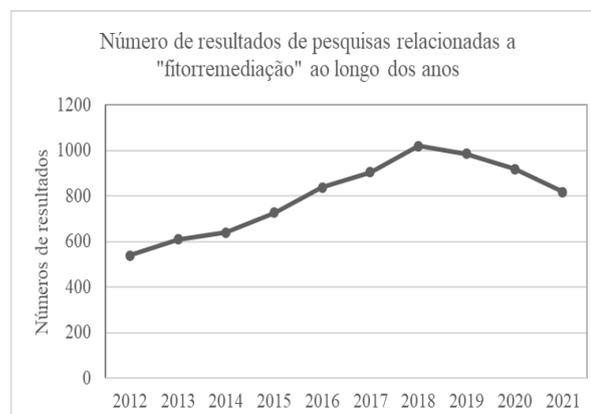
Gráfico 1– Número de publicações por ano no Google Acadêmico de 2012 a 2021, sobre o tema *Cyperus rotundus*



Fonte: Acervo pessoal, 2022.

Quando se quantificou as publicações no Google Acadêmico que ancoram abordagens sobre a morfologia e potenciais da *Cyperus rotundus*, foram encontradas 49.600 publicações. Conforme apontado no gráfico 1, observa-se que a apuração de pesquisas se mantém em quantidades semelhantes ao longo dos anos, permanecendo com números quase padronizados, com poucos momentos de déficits. Assim, é possível identificar que as pesquisas relacionadas à *Cyperus rotundus* podem se manter equilibradas principalmente, dentre outros muitos possíveis critérios, devido à aspectos promissores da planta que regem constantes estudos acerca de seus potenciais evidentes.

Gráfico 2– Número de publicações por ano no Google Acadêmico de 2012 a 2021, sobre o tema Fitorremediação



Fonte: Acervo pessoal, 2022.

Em relação às publicações encontradas sobre o tema de fitorremediação, foram totalizados 5.650 resultados, que, distribuídos ao longo do gráfico, mostram que houve crescimento significativo desde 2012, propiciando um crescente número no interesse de pesquisas relacionadas a esse tema, que demonstra cada vez mais perspectivas futuras (Gráfico 2).

No que se refere a técnica da fitorremediação como ferramenta de aspectos promitentes nos artigos analisados, os autores a entrelaçam como uma estratégia favorável em questões de viabilidade econômica e fácil execução, além de acarretar o baixo impacto ambiental, devido a sua pouca geração de resíduos. Vasconcellos *et al* (2012) afirmam que os testes realizados na Pontifícia Universidade Católica do Paraná (PUCPR) mostram a efetividade do processo, além do baixo custo, apesar de o tempo de cultivo ser longo (VASCONCELLOS *et al*, 2012).

Correlacionando os estudos de autores como Cunningham *et al* (1996), Accioly & Siqueira (2000), Nascimento *et al* (2009), Pilon-Smits (2005), entre outros, compreendemos que a fitorremediação necessita de seleção de plantas que obtenham em sua estrutura características que propiciem a absorção do contaminante em sua morfologia. Para além disso, baseando-se em trabalhos que relacionam a *Cyperus rotundus* ao aspecto fitorremediador, entende-se como uma planta promissora quando encaixada no tópico de remediação de solos (CUNNINGHAM *et al* 1996; ACCIOLY; SIQUEIRA, 2000; NASCIMENTO *et al*, 2009; PILON-SMITS, 2005).

Santos (2019) utilizou em suas análises de 219,77 mg, para valores de qualidade, 376,75 mg, para valores de prevenção e 2511 mg, para valores de intervenção, e observou que as mudas de *Cyperus rotundus* suportaram o contato com o Cobre (CuSO₄) por 4 dias (SANTOS, 2019). De modo análogo, em nossos ensaios, utilizamos grandes quantidades de Sulfato de Cobre (CuSO₄) para que a análise das plantas ao longo dos dias fosse vista com clareza, tendo em vista que não seriam possíveis realizar ensaios quantitativos. Como visto anteriormente, as plantas apresentaram aspectos pouco vivazes de forma breve, e, no quarto dia, já estavam completamente insossas ou quase.

Jesus *et al* (2009) apontou em seus estudos sobre as alterações anatômicas estruturais que evidenciam o potencial hiperacumulativo da *Cyperus rotundus* que a planta, quando em contato com excesso de metais como Zinco (Zn), Cobre (Cu) e

Manganês (Mn) modificações nos tecidos dermal, fundamental e vascular (JESUS *et al*, 2009).

Já Santos (2019), que analisou o potencial de remoção de cobre do solo por técnica de fitorremediação, utilizando a *Cyperus rotundus* em suas pesquisas, salientou que os dados amostrados foram submetidos à análise de variância, com o teste de média de Scott-Knott a nível de significância 5%, tendo que em um dos solos analisados, a quantidade de cobre residual foi de 10105.90 mg/Kg, o que pode ser entendido como maior retenção de Cobre (Cu) por esse solo. Indicou ainda que no solo sem tratamento de plantas teve uma quantidade menor de cobre residual enquanto o solo tratado com as espécies vegetais teve um percentual maior, enfatizando a importância de plantas para minimizar a quantidade de material lixiviado (SANTOS, 2019).

Segundo Troung *et al* (2008), a *Cyperus rotundus* possui grande tolerância a secas prolongadas, inundações e a temperaturas que variam desde -15° C à +55° C, sendo também tolerante a uma faixa de pH no solo que vai de 3,3 à 12,5. O autor evidencia ainda, a alta tolerância a Alumínio (Al), Manganês (Mn) e a metais pesados, como Arsênio (As), Cádmio (Cd), Cromo (Cr), Níquel (Ni), Chumbo (Pb), Mercúrio (Hg), Selênio (Se), Cobre (Cu) e Zinco (Zn), suportando, também, solos salinos e sódicos e com alto índice de Manganês (Mn). Outras características apontadas são a sua tolerância a herbicidas e pesticidas e a eficiência em absorver Nitrogênio (N), Fósforo (P), Mercúrio (Hg), Cádmio (Cd) e Chumbo (Pb) dissolvidos em corpos hídricos, podendo concluir, assim, que a planta pode ser usada em técnicas de biorremediação (TROUNG *et al*, 2008).

Finalmente Souza (2016), após seus estudos, certifica que os resultados obtidos sugerem o comportamento hiperacumulador de *Cyperus rotundus*, que podem servir de estímulos para entender melhor a interação entre planta com metais e como estes últimos foram acumulados pela espécie em questão.

Os resultados coletados somados com análises quantitativas realizadas sobre o mesmo tema, indicam que a *Cyperus rotundus* obtém comportamento hiperacumulador de Cobre em sua estrutura anatômica, provando sua atuação fitorremediadora em solos contaminados com grandes quantidades de Cobre, elemento presente em efluentes de indústria joelheiras.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A presença abundante de metais pesados no solo estabelece um dos maiores impactos ambientais conhecidos, causando preocupação referente às problemáticas resultantes dessa prática, que, se não obterem atenção necessária, eminentemente causam doenças e complicações ao organismo humano. O solo, obtendo um papel relevante em meio às funções ecológicas necessárias para a sobrevivência humana, caracteriza um bem que necessita de preservação ou, em alguns casos, reparo de suas características naturais danificadas. Tendo em mente que sua deterioração ocasionará danos à humanidade, sobretudo, a comunidade usufruinte ao redor dela, planos de asseguração para o seu tratamento devem ser considerados de suma importância, ainda mais que estes obtenham em sua realização uma fácil aplicação e viabilidade econômica.

O trabalho atual apresentou como ferramenta de estudo a fitorremediação, que se apresenta como uma técnica de remediação de solos de ciência recente, e constitui-se de um método de baixo custo e fácil aplicabilidade, utilizando plantas como agente descontaminante. Além de não ser necessário um alto orçamento para sua aplicação, a técnica utilizada possui potencial de reduzir o consumo de reagentes que podem contaminar ou tornar o solo infértil. Nesse trabalho, ainda, utilizou-se a planta *Cyperus rotundus* como objeto de análise, visto que mesmo sendo considerada uma planta daninha, apresenta características necessárias para seleção de plantas fitorremediadoras, como a hiperacumulação do contaminante em sua estrutura. Decidiu-se também que o contaminante analisado seria o Cobre, sendo um elemento muito presente nos efluentes de indústrias galvânicas.

A partir desses fundamentos, determinou-se, após pesquisas relacionadas ao método de análise que seria executada, que seria feita uma análise visual da planta em contato com diferentes quantidades de Cobre ao longo dos dias e uma revisão bibliográfica acerca do tema. A escolha desse tipo de análise veio em resultado da falta de equipamento para realizar a espectrofotometria por absorção atômica, que seria o método que obteria resultados mais precisos, e da falta de reagentes para realizar a iodometria, outro método de quantificação de Cobre, que além dos problemas mais significativos, gera resíduos de difícil tratamento.

As mudas de planta que estiveram em contato com grandes quantidades de Cobre, plantadas em recipientes com 15g e 25g de Sulfato de Cobre (CuSO_4)

apresentaram resultados semelhantes, morrendo em apenas 3 dias após o plantio. A muda de *Cyperus rotundus* que esteve em contato com 1kg de solo contaminado com 5g de Sulfato de Cobre (CuSO_4) começou a morrer em 4 dias, enquanto a planta do recipiente do branco apresentou vivacidade em todos os dias de análise visual. Os resultados coletados somados com análises quantitativas realizadas sobre o mesmo tema, propiciam que a *Cyperus rotundus* obtém comportamento hiperacumulador de Cobre em sua estrutura anatômica, provando sua atuação fitorremediadora em solos contaminados com grandes quantidades de Cobre, elemento presente em efluentes de indústria joelheiras.

De forma geral, as limitações do nosso trabalho incluem a aparente restrição da planta *Cyperus rotundus* em apenas remediar solos contaminados com Cobre, e não com outros componentes maléficos que podem constituir o resíduo galvânico em questão. Além da falta de conhecimento da atuação da planta em outros tipos de solo com características diferentes como o da nossa região. No entanto, a planta apresentou pontos positivos e esperados quanto ao objetivo inicial, e pode vir a representar uma ferramenta de uma técnica utilizada em escala global.

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., (Eds.)**. Tópicos em ciências do solo. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2000. v. 1. p. 299-352.
- ALEXANDRE, J. R., Oliveira, M. L., Santos, T. D., Canton, G. C., Conceição, J. D., Eutrópio, F. J., ... & Ramos, A. C. (2012). **Zinco e ferro: de micronutrientes e contaminantes do solo**. *Naturezaonline*, 10(1), 23-28.
- ANTONIOELLI, Zaida Inês et al. **Metais pesados, agrotóxicos e combustíveis: efeito na população de colêmbolos no solo**. *Ciência Rural*, v. 43, n. 6, p. 992-998, 2013.
- AVILA-CAMPOS, M. J. **Metais Pesados e seus efeitos**. USP, 2003. Disponível em: http://www.mundodoquimico.hpg.ig.com.br/metais_pesados_e_seus_efeitos.htm Acesso em: 25.10.2010.
- BIOTECH. **Método utiliza plantas para limpar solos contaminados com metais pesados** .Disponível em: <http://www.cib.org.br>. Acesso em: 03 de abril de 2022.
- BRIGHENTI, A.M; OLIVEIRA, M.F. **Biologia de Plantas Daninhas**. ISBN 978- 85-64619-02-9. Biologia e Manejo de Plantas Daninhas, 2011.
- BROADLEY MR, White PJ, Hammond JP, Zelko I, Lux A (2007) **Zinc in plants**. *New Phytologist* 173: 677-702.
- CARNEIRO MAC, Siqueira JO, Moreira FMS (2001) **Estabelecimento de plantas herbáceas em solo com contaminação de metais pesados e inoculação de fungos micorrízicosarbusculares**. *Pesquisa Agropecuária Brasileira* 36: 1443-1452.
- CARNEIRO MAC, Siqueira JO, Moreira FMS (2002) **Comportamento de espécies herbáceas em misturas de solo com diferentes graus de contaminação com metais pesados**. *Pesquisa Agropecuária Brasileira* 37: 1629-1638.
- CETESB. **Relação de áreas contaminadas**. Disponível em: http://www.cetesb.sp.gov.br/Solo/areas_contaminadas/relacao_areas.asp. Acesso em: 19 de abril de 2022.
- CHANEY RL (1993). **Zinc phytotoxicity**. In, Robson AD. *Zinc in soils and plants*. Dordrecht, Kluwer Academic Publishers, pp. 135-150.
- CHRISTOFFOLETI, P. J. **Potential benefits of weeds: I." nutraceuticals" and phytoremediation**. *Planta Daninha*, v. 19, n. 1, p. 151-153, 2001.
- CUNNINGHAM, S. D.; ANDERSON, T. A. & SCHWAB, A. P. (1996) - **Phytoremediation of soils contaminated with organic pollutants**. *Advanced Agronomy*, v. 56, p. 55-114.

DORAN, J. W.; PARKIN, T. B. **Defining and assessing soil quality. Defining soil quality for a sustainable environment.** Madison: SSSA, 1994. p. 3-21.

EEA – European Environment Agency. (2010). **Down to earth: Soil degradation and sustainable development in Europe, A challenge for the 21st century.** Copenhaga, 16, pp. 10-22.

EP Solos e Sedimentos. (2012). **Relatório de Atividades da EP Solos e Sedimentos 2009/2011.** Plano Nacional de Acção Ambiente e Saúde – PNAAS. 120p.

GILI, Itamar. **Tratamento de efluentes por eletrólise: estudo de caso para efluentes têxteis.** 2015. 102p. Dissertação (mestrado). Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico, Programa de Pós-graduação em Engenharia Química, 2015.

GRAZZIOTTI PH, Siqueira JO, Moreira FM, Carvalho D (2001) **Efeito de Zn, Cd e Cu no comportamento de fungos ectomicorrizicos em meio de cultura.** Revista Brasileira de Ciência do Solo 25: 831-837.

GRAZZIOTTIPH, Siqueira JO, Moreira FM, Carvalho D (2001) **Tolerância de fungos ectomicorrizicos a metais pesados em meio de cultura adicionada de solo contaminado.** Revista Brasileira de Ciência do Solo 25: 839-848.

GREENPEACE. **Notícias.** Disponível em: <http://www.greenpeace.org.br>. Acesso em: 12 nov. 2006.

JONES, A. (2010). **The European Environment State and Outlook – Soil.** Luxemburgo, pp. 8-9.

LI T, Di Z, Islam E, Jiang H, Yang X (2011) **Rhizosphere characteristic of zinc hyperaccumulator Sedum alfredii involved in zinc accumulation.** Journal of Hazardous Materials 185: 818-823.

LI X, Chen B, Feng G, Christie P (2002) **Role of arbuscular mycorrhizal fungi in alleviation of Zn phytotoxicity and mineral nutrition of host plants.** In 17th WCSS, Thailand.

MARRENCO RA, Lopes NF (2009) **Fisiologia Vegetal: Fotossíntese, respiração, relações hídricas e nutrição mineral.** UFV, p.267-297.

MARRENCO, RA, Lopes NF (2009). **Fisiologia Vegetal.** Viçosa, Universidade Federal de Viçosa.

MEDEIROS, Thales Augusto de Miranda. Efeito fitotóxico e potencial remediador de três espécies vegetais contaminadas com benzeno. 2015. 154 p. Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Campus Experimental de Sorocaba, 2015. Disponível em: <http://hdl.handle.net/11449/122162>.

NASCIMENTO, C. W. A. do et al. **Fitoextração de metais pesados em solos contaminados: avanços e perspectivas.** Tópicos em Ciência do Solo. v. 6, p. 461-4495, 2009.

NEWMAN, L. A. et al. **Phytoremediation of organic contaminants: a review of phytoremediation research at the university of Washington.** J. SoilContamin., v. 7, p. 531-542, 1998.

OLIVEIRA, F. C.; MATTIAZZO, M. E. **Metais pesados em latossolo tratado com lodo de esgoto e em plantas de cana-de-açúcar.** ScientiaAgricola, v.58, n.3, p.581-593, jul./set. 2001.

PAIXÃO, José Luiz de Freitas. Avaliação de preparados homeopáticos em tiririca (*Cyperus rotundus* L.). 2008.

PASTRE, W. **Controle de tiririca (*Cyperus rotundus* L.) com aplicação de sufentrazone e flazasulfuronicados isoladamente e em mistura na cultura da cana-de-açúcar.** Campinas, SP, IAC, 2006, 66f. Dissertação (Mestrado em Agricultura Tropical e Subtropical)- Instituto Agrônomo de Campinas, Campinas.

PILON-SMITS, E. **Phytoremediation.** Annual Review of Plant Biology, Palo Alto, v.56, p.15-39, 2005.

PIMENTEL, H. S.; LENA, J. C.; NALINI JR., H. A 2003. **Studies of water quality in the Ouro Preto region, Minas Gerais, Brazil: The release of arsenic to the hidrologicol system.**Environmental Geology. Vol. 43: 725-730.

PIRES, F. R. et al. **Fitorremediação de solos contaminados com herbicidas.** Planta Daninha, v. 21, n. 2, p. 335-341, 2003.

PITELLI, R.A.; PITELLI, R.L.C.M. **Biologia e ecofisiologia das plantas espontâneas.** In: VARGAS, L.; ROMAM, E.S (Eds.) Manual de manejo e controle de plantas espontâneas. Bento Gonçalves, RS: EMBRAPA Uva e Vinho, 2004, p. 29-56

PLUMLEE, G.S. **The environmental geology of mineral deposits.** In: PLUMLEE, G.S., LOGSDON, J.J. (eds.). The environmental geochemistry of mineral deposits. Part A, Processes, Techniques, and Health Issues. Society of Economic Geologists Reviews in Economic Geology, v. 6A, p. 71-116, 1999.

RADIN, J. W. **Using superplants to clean up our environment.**Agric. Res., v.48,

RIBEIRO, Marcos André do Côtto et al. **Contaminação do solo por metais pesados.** 2013. Dissertação de Mestrado.

RODRIGUES, Mônica Aparecida, Priscila Pereira Silva, and Wendell Guerra. **"Cobre."** *Química nova na escola* 34.3 (2012): 161-162.

ROMITA, Giovana Vieira; CANTERAS, Felipe Benavente. **Avaliação de metais em esgoto bruto e tratado no município de Limeira (SP), empregando a técnica TXRF.** Revista dos Trabalhos de Iniciação Científica da UNICAMP, n. 26, 2018.

SANTOS GCGD (2005). **Comportamento de B, Zn, Mn, e Pb em solo contaminado sob cultivo de plantas e adição de fontes de matéria orgânica como amenizantes do efeito tóxico.** Tese de Doutorado. Curso de Agronomia, Área de Concentração em Solos e Nutrição de Plantas, Universidade de São Paulo (USP), Piracicaba, SP.

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.

SODRÉ, Fernando Fabriz, Ervim Lenzi, and Antonio Carlos Saraiva da Costa. **"Utilização de modelos físico-químicos de adsorção no estudo do comportamento do cobre em solos argilosos."** *Química nova* 24.3 (2001): 324-330.

VOSE, J. M. et al. (2000) - **Leaf water relations and sapflow in Eastern cottonwood (*Populus deltoides* Bartr.) trees planted for phytoremediation of a groundwater pollutant.** Intern. Journal of Phytoremediation, v. 2, p. 53-73.