



UNIVERSIDADE ESTADUAL DE FEIRA DE SANTANA
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ECOLOGIA E EVOLUÇÃO

ARIANE BARRETO DE LIMA

**ELEMENTOS POTENCIALMENTE TÓXICOS NO MUNICÍPIO DE SANTO
AMARO: PASSIVOS E IMPACTOS AMBIENTAIS**

Feira de Santana, Bahia

Agosto de 2023



UNIVERSIDADE ESTADUAL DE FEIRA DE SANTANA
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ECOLOGIA E EVOLUÇÃO

ARIANE BARRETO DE LIMA

**ELEMENTOS POTENCIALMENTE TOXICOS NO MUNICÍPIO DE SANTO
AMARO: PASSIVOS E IMPACTOS AMBIENTAIS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ecologia e Evolução da Universidade Estadual de Feira de Santana, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Ecologia e Evolução.

Orientador: Dr. Eraldo Medeiros Costa Neto

Coorientador: Dr. Jorge Antonio Gonzaga

Feira de Santana, Bahia

Agosto de 2023

Ficha catalográfica - Biblioteca Central Julieta Carteado - UEFS

Lima, Ariane Barreto de
L696e Elementos potencialmente tóxicos no município de Santo Amaro:
passivos e impactos ambientais / Ariane Barreto de Lima. – 2023.
98f. : il.

Orientador: Eraldo Medeiros Costa Neto

Coorientador: Jorge Antonio Gonzaga

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual de Feira de
Santana. Programa de Pós-Graduação em Ecologia e Evolução,
2023.

1. Solos - Contaminação. 2. Elementos tóxicos. 3. Plantas
ornamentais. 4. Adubação orgânica. 5. Santo Amaro da
Purificação, Bahia. I. Costa Neto, Eraldo Medeiros, orient. II.
Gonzaga, Jorge Antonio, coorient. III. Universidade Estadual de
Feira de Santana. IV. Título.

CDU: 504

ARIANE BARRETO DE LIMA

**ELEMENTOS POTENCIALMENTE TOXICOS NO MUNICÍPIO DE SANTO
AMARO: PASSIVOS E IMPACTOS AMBIENTAIS**

Aprovada em: 29/08/2023

BANCA EXAMINADORA

Documento assinado digitalmente
gov.br MARCELA REBOUCAS BOMFIM
Data: 30/08/2023 09:15:48-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Marcela Rebouças Bomfim
(Universidade Federal do Recôncavo da Bahia)

Taíse Bomfim de Jesus

Taíse Bomfim de Jesus
(Universidade Estadual de Feira de Santana)

Eraldo Medeiros Costa Neto

Eraldo Medeiros Costa Neto
(Universidade Estadual de Feira de Santana)
Orientador e Presidente da Banca

Feira de Santana, Bahia

Agosto 2023

*...e se um dia eu cair,
Ogum vem me levantar.
O rei de Irê é vivo
O rei de Irê é e sempre será meu caminho.
Ogunhê.*

SUMÁRIO

JUSTIFICATIVA.....	17
REFERENCIAL TEÓRICO.....	18
I. CAPÍTULO 1: AGRICULTURA FAMILIAR E MANEJO DE SOLO EM SANTO AMARO, BAHIA, BRASIL	55
Resumo.....	55
Abstract.....	55
1. Introdução.....	56
2. Material e Métodos.....	58
2.1 Área de estudo.....	58
2.2 Aspectos éticos.....	58
2.3 Coleta dos dados etnoecológicos.....	59
3. Resultados e Discussões.....	59
4. Considerações Finais.....	64
Referências.....	64
II. CAPÍTULO 2: FITORREMEDIAÇÃO DE SOLO CONTAMINADO POR METAIS PESADOS: ESTUDO DE CASO NO RECÔNCAVO BAIANO	68
Resumo.....	68
Abstract.....	68
1. Introdução.....	69
2. Material e Métodos.....	70
2.1 Amostragem do Vertissolo.....	70
2.2 Caracterização do Vertissolo.....	71
2.3 Delineamento experimental e condução do experimento.....	72
2.4 Fracionamento químico dos metais pesados.....	73
2.5 Análises das plantas.....	74
2.6 Risco ecológico.....	75
2.7 Análises estatísticas.....	75
3. Resultados e Discussões	75
3.1 Produção de biomassa.....	75
3.2 Acúmulo de metais pesados na parte aérea e raiz.....	77
3.2.1 <i>Heliconia psittacorum</i>	78

3.2.2 <i>Impatiens walleriana</i>	79
3.2.3 <i>Canna indica</i>	79
3.3 Fracionamento químico do Vertissolo após o experimento.....	80
3.3.1 <i>Heliconia psittacorum</i>	80
3.3.2 <i>Impatiens walleriana</i>	81
3.3.3 <i>Canna indica</i>	82
3.4 Fator de bioacumulação e translocação.....	84
4. Considerações Finais.....	85
Referências.....	86
APÊNDICES	92
Apêndice 1: registros fotográficos.....	92
Apêndice 2: Protocolo de entrevista semiestruturada.	97

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Olorum (Deus), pela sua criação e sopro de vida. Agradeço a meu caminho. A meu Orixá Ogum que me amparou desde o dia do meu nascimento e me fortificou, dando coragem no meu renascimento. Agradeço aos meus Exus que me guardam sem cessar. A seu GiraMundo e seu ViraMundo, por toda a vida a me aconselhar. À Crispina por nunca me deixar endurecer totalmente com o cansaço das falhas, e não parar a caminhada.

Agradeço ao Meu Babalorixá, Matheus Ramos, pelo cuidado e amparo, pois se não estivesse em seus cuidados, nada em meu caminho e vida seriam os mesmos.

Agradeço a minha família carnal, a minha mãe Maria do Carmo Gomes Barreto por, em cada sorriso ser meu apoio, tanto pelo simples fato de ser A MINHA MÃE, assim como ser minha corretora textual oficial. A meu pai Luiz Alberto Lima, por ser aquele que sempre “me cutucou” para me fazer sair do lugar. A meus irmãos, Carol Barreto e Israel Luiz, por serem os meus ídolos de uma vida inteira, os maiores exemplo de vida e de sucesso. Aliás..., a minha família é o maior exemplo de sucesso, por eu estar onde estou com o olhar para o mundo que tenho. Mãe...deu tudo certo!

Agradeço a meu amor, minha dupla, Ewerton Felipe, por viver de mãos dadas comigo e correr para bater nossas metas. Meu amparo, meu exemplo de foco. Mais uma meta batida! Agradeço infinitamente a meus avós Zezito e Nore, por me mostrarem que tempo, dedicação e esforço dão resultado para tudo! Poder olhar pra vocês e ver que tudo nesta vida só tem vitória com o amor!

À Layse Emanuelle, minha salva-vidas de normas, correções e ABNT, e também à Roberta Lordelo, minha musa da Biologia! Vocês deram o pontapé inicial para eu tentar! Consegui!

Agradeço à Secretaria de Agricultura, Meio Ambiente, Pesca e Recursos Hídricos de Santo Amaro, e à Secretária de Educação, Munique Gonçalves, pelo apoio. Aos colegas de trabalho, Fabrício Fernandes, Antônio Vieira, Luiz Vieira (Seu Luiz), Ubiraci dos Santos (Bira), Edvaldo Barreto (Gordo), Alex Pacheco (MST), Kamila Borges e Ana Cristina, por me apoiarem neste trabalho e me ajudarem nas coletas de solo e cultivo. Agora está pronto o motivo de: “tanta terra que essa menina pega!”

Agradeço à Pelé (Adailson Pereira), presidente da AVICCA (Associação de Vítimas de Chumbo e Cádmiio) pelo suporte acerca da temática das vítimas da contaminação pelos metais pesados, pela oferta de matérias de pesquisa e pelos relatos sobre os casos das vítimas da COBRAC.

Agradeço à minha gang, via *WhatsApp*, de colegas maravilhosos, Rafael, Leonardo, Lenise, Itana, Girlene, Camila e Mary. Se não fossem vocês, ai, ai! Obrigada pelo apoio moral, didático, textual, emocional e atualizações de informes.

Agradeço à UFRB, através do Instituto de Ciências do Solo, Laboratório de Solos, que viabilizou as análises necessárias para a realização desta dissertação.

Agradeço ao meu orientador, Professor Eraldo Medeiros, por aceitar ser meu orientador, por todas as instruções, broncas e apoio nesta pesquisa. Agradeço também ao meu coorientador, Professor Jorge Gonzaga, que em meio a tantas atribuições, em torno da pesquisa, me salvou e me deu um norte na maré da fitorremediação. Dr. Eraldo e Dr. Jorge, duas peças importantíssimas para o crescimento e o desenvolvimento deste trabalho.

Agradeço à Dra. Maria da Conceição Almeida pelo suporte e paciência na execução dos experimentos e, à Prof. Dra. Marcela Rebouças pelo suporte, incentivo e dedicação. Tomo vocês como mais um exemplo a seguir!!

Agradeço ao Professor Caio Graco, e ao Programa de Pós-Graduação em Ecologia e Evolução da UFES.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPS) – Código do Financiamento 001.

RESUMO

O município de Santo Amaro da Purificação, situado no Recôncavo Baiano, possui um dos casos mais complexos e representativos de contaminação por metais pesados. Desde o fechamento da fábrica, COBRAC – Companhia Brasileira de Chumbo (PLUMBUM), em 1993, a qual processava chumbo e cádmio, a escória resultante do beneficiamento destes materiais, contaminou grande parte do solo dos arredores da fábrica sem o devido tratamento e, posteriormente, por decisão do Ministério Público, foram encapsuladas de maneira irregular e incorreta. Há cerca de 32 anos, a população santamarense, de origem negra, quilombola, tem sido vítima explícita de racismo ambiental. Como consequência da disseminação da contaminação, por metais pesados na região, parte significativa da população, que historicamente exercem atividades agrícolas e pesqueiras, têm tido dificuldades com essas fontes de renda. Para compreender a forma pela qual os agricultores familiares tratam o solo, entrevistas foram realizadas e o acompanhamento da adubação de suas lavouras foram registradas. O solo contaminado foi coletado e analisado, espécies ornamentais foram testadas sobre a suas capacidades de fitorremediação quando cultivadas no solo massapê e acrescentadas as adubações, tais como, esterco de gado curtido, húmus e minhoca e a mistura de ambos. As espécies escolhidas não apresentaram resultados satisfatórios para a fitorremediação, porém as frações indisponíveis dos metais pesados avaliados nestes estudos tiveram suas proporções alteradas para disponíveis quando analisados os solos com os insumos.

Palavras-chave: elementos tóxicos, contaminação, plantas ornamentais, adubação orgânica.

ABSTRACT

The municipality of Santo Amaro da Purificação, located in Recôncavo Baiano, has one of the most complex and representative cases of contamination by heavy metals. Since the closure of the factory, COBRAC – Companhia Brasileira de Chumbo (PLUMBUM), in 1993, which processed lead and cadmium, the slag resulting from the processing of these materials, contaminated a large part of the soil surrounding the factory without due treatment and, subsequently, , by decision of the Public Prosecutor's Office, were encapsulated in an irregular and incorrect manner. For around 32 years, the Santamarense population, of black, quilombola origin, has been an explicit victim of environmental racism. As a consequence of the spread of contamination by heavy metals in the region, a significant part of the population, who historically carry out agricultural and fishing activities, have had difficulties with these sources of income. To understand the way in which family farmers treat the soil, interviews were carried out and monitoring of the fertilization of their crops was recorded. The contaminated soil was collected and analyzed, ornamental species were tested for their phytoremediation capabilities when cultivated in massapê soil and fertilizers were added, such as tanned cattle manure, humus and earthworms and a mixture of both. The chosen species did not present satisfactory results for phytoremediation, however the unavailable fractions of heavy metals evaluated in these studies had their proportions changed to available when the soils with the inputs were analyzed.

Keywords: toxic elements, contamination, ornamental plants, organic fertilizer.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Localização do município de Santo Amaro da Purificação, Bahia	19
Figura 2 - Localização da cidade de Santo Amaro e da área do entorno da antiga Fábrica da COBRAC..	21
Figura 3 - Fabrica Cobrac (Plumbum) após seu fechamento	22
Figura 4 - Técnicas de fitorremediação em solo.....	24
Figura 5 - a. <i>Heliconia psittacorum</i> , <i>Impatiens walleriana</i> e <i>Canna indica</i>	26
Figura 6 - Feira municipal de Santo Amaro, Bahia	59
Figura 7 - Plantação de mandioca e quiabo em propriedade de agricultura familiar, Assentamento do MST Paulo Cunha I	60
Figura 8 - Entrevista na residência de dona Dora e outros agricultores familiares no Paulo Cunha I	60
Figura 9 - Quintal produtivo no Jericó, com pequena plantação de cana-de-açúcar.....	61
Figura 10: Localização da área de amostragem do Vertissolo nas proximidades da Plumbum, Santo Amaro, Bahia, Brasil.....	66
Figura 11 - Espécies utilizadas no estudo: - <i>Heliconia psittacorum</i> (Helicônia-papagaio), <i>Impatiens walleriana</i> (Beijinho) e <i>Canna indica</i> (Cana-da-índia)	68
Figura 12 - Espécies preparadas para análise no Laboratório de Solos da UFRB.....	70
Figura 13 - Distribuição de Cu (a), Cd (b), Ni (c), Pb (d), e Zn (e) no Vertissolo após o cultivo da <i>H. psittacorum</i>	76
Figura 14 - Distribuição de Cu (a), Cd (b), Ni (c), Pb (d), e Zn (e) no Vertissolo após o cultivo da <i>C. indica</i>	77
Figura 15 - Distribuição de Cu (a), Cd (b), Ni (c), Pb (d), e Zn (e) no Vertissolo após o cultivo da <i>I. walleriana</i>	78

LISTA DE SIGLAS

Al – Alumínio

As – Arsênio

AVICCA – Associação de Vítimas de Chumbo e Cádmio

BCR – *Community Bureau of Reference* – metodologia para extração sequencial

Be – Berílio

C.O – Carbono orgânico

C₃ – Composto de carbono três átomos

Ca – Cálcio

Cd – Cádmio

CdCl – Cloreto de cádmio

CEASA – Centrais Estaduais de Abastecimento, pode ser pública ou privada.

CEPRAM – Conselho Estadual do Meio Ambiente

CETEM – Centro de Tecnologia Mineral

CETESB – Companhia Ambiental do Estado de São Paulo

Co – Cobalto

COBRAC – Companhia Brasileira de Chumbo

CONAMA – Conselho Nacional de Ambiental Brasileira

Cr – Cromo

CTC – Capacidade de troca catiônica

CTCe – Capacidade de troca catiônica efetiva

CTL – Controle

Cu – Cobre

EDTA – Reagente complexante ácido etilenodiaminotetracético

EPA – *Environmental Protection Agency*

EST – Esterco

F1, F2 – Frações disponíveis dos metais no solo

F3, F4 – Frações indisponíveis de metais no solo

FAO/WHO – Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura

FB – Fator de Bioacumulação

FBPA – Fator de bioacumulação na parte aérea

FBR – Fator de bioacumulação na raiz

FC – Fator de Contaminação

Fe – Ferro

FIOCRUZ – Fundação Oswaldo Cruz

FT – Fator de Translocação

GTM/ Blacksmith/EUA - Experiência internacional (II): Iniciativas de recuperação de sites contaminados por chumbo no mundo, pelo Blacksmith Institute

GTM/FR – Experiência internacional (I) Recuperação e remediação do site da metalurgia de chumbo e zinco da Metaleurop (Pennaroya/Plumbum) em Noyelles-Godault, no Departamento de Pas-de-Calais, França

H – Hidrogênio

H₂O – Água

Hg – Prata

HMS – Húmus de minhoca

HNO₃ – Ácido nítrico

I – Iodo

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

ICP – Plasma Indutivamente Acoplado

INPASA – Indústria de Papéis de Santo Amaro

IPRE – Índice de Potenciais de Risco Ecológico

IQSC – Instituto de Química de São Carlos

JMP – *Software* de análise de dados para Mac e Windows

K – Potássio

KCl – Cloreto de potássio

Li – Lítio

Mg – Magnésio

Mn – Manganês

MOS – Matéria Orgânica do solo

MP/BA – Ministério Público da Bahia

MPA/MR – Equação das concentrações do metal na parte aérea e na raiz

MPA/MS – Equação das concentrações do metal na parte aérea e no solo

MST – Mistura

MST – Movimento Sem Terra

Na – Sódio

NaCl – Cloreto de sódio

Ni – Níquel

Parea – Parte aérea

Pb – Chumbo

PERI – Índice de potencial risco ecológico

Ph – Potencial Hidrogeniônico

Ppm – parte por milhão

Praiz – Parte da raiz.

S/A – Sociedade Anônima

S/D – Sem data

Se – Selênio

SEAGRI – Secretaria de Agricultura

GT`s: GT1 – Geologia, Engenharia Ambiental e Remediação

TFSA – Terra fina seca ao ar

UFRB – Universidade Federal do Recôncavo Baiano

USEPA 3050B – Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos /Metodologia de Extração para determinação do teor de metais pesados em amostras

USP – Universidade de São Paulo

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Principais características do Vertissolo poluído.....	67
Tabela 2 – Peso seco da raiz (Praiz) e da parte aérea (Paerea) da <i>Heliconia</i> , <i>Impatines walleriana</i> e <i>Canna indica</i> após adição de insumos em solos contaminados com metais pesados.....	71
Tabela 3 – Concentração de metais pesados de biomassa vegetal da parte aérea e raiz da <i>H. psittacorum</i> , <i>I.walleriana</i> e <i>C. indica</i> , após cultivados com adição de Esterco (EST), Húmus (HMS) e Mistura (MST) comparadas com o (solo sem insumo).....	72
Tabela 4 – Valores de Bioacumulação e translocação de metais pesados.....	79
Tabela 5 – Fator de Contaminação (FC) e Risco Ecológico (E_r^i) para o Vertissolo após período de adição do Húmus (HMS), Esterco (EST) e Mistura (MST) comparados com o Controle (CTL).....	81

JUSTIFICATIVA

O processo de contaminação por metais pesados em Santo Amaro afetou diretamente a população que vive no município, especialmente os moradores que vivem da agricultura familiar, os quais permanecem desamparados pelo poder público. Baseando-se nas características que envolvem esta problemática de Santo Amaro, a fitorremediação, além de ser descrita em relatório do Ministério Público como uma das etapas para mitigar o problema, também é uma solução sustentável, pois envolve espécies vegetais que irão absorver os metais, são de baixo custo e fácil manejo – sobretudo para os agricultores familiares locais.

Sabendo-se ainda que a produção agrícola é sempre, em maior ou menor grau, assegurada pela exploração familiar e que o produtor familiar não possui único padrão cultural, social e econômico, mas difere entre si intensamente, faz-se necessário estudá-lo em suas várias formas (Gomes, 2004). É por via deste estudo que se busca valorizar as práticas de manutenção e cuidados com suas lavouras e associá-las com a fitorremediação e aos conhecimentos acadêmicos. O caso de contaminação por metais pesados no Recôncavo Baiano está associado ao racismo ambiental, limitando a sobrevivência e segurança alimentar desses agricultores familiares, os quais possuem baixa renda e baixa escolaridade. A falta de priorização quanto as necessidades da população santamarense postergou até a presente data, ações efetivas para minimizar os danos causados pela contaminação – não só de saúde e renda como o sentimento de desvalor que paira sob a comunidade. Valorizar os saberes destas pessoas, atestando via academia como essas práticas podem influenciar no solo, nas plantas e, conseqüentemente, na segurança e em seu sustento é uma forma de iniciar a reversão este quadro.

Como residente, desde o nascimento, no município, acompanho todas as problemáticas que envolvem a contaminação e a morosidade da resolução desse caso, onde as pessoas afetadas direta ou indiretamente, se veem reféns do poder público; sem conhecimento de causa e sem autonomia para tentar solucionar o problema, tornando-se obrigadas a ignorar esse fato. Associar os conhecimentos da fitorremediação com as práticas de manejo de solo dos agricultores familiares locais poderia valorizar os saberes destas pessoas já tão prejudicadas, como também seria o primeiro passo para a solução dessa questão independentemente de terceiros.

REFERENCIAL TEÓRICO

I.1. Santo Amaro da Purificação

O município de Santo Amaro da Purificação (Figura 1), localizado no Recôncavo Baiano, concentra um grande número de agricultores familiares, assentados, quilombolas (Santo Amaro, 2021). A atividade econômica do município é baseada na agricultura, pecuária, pesca, mariscagem e das atividades comercial e industrial. (Santo Amaro, 2021).

No município de Santo Amaro, os produtos cultivados em abundância são hortaliças, mandioca, quiabo, amendoim, milho, feijão, maracujá, coco e banana, em áreas que variam de uma a cinco tarefas (Santo Amaro, 2021).

O município de Santo Amaro já sofreu e ainda vive as mazelas do contexto colonial escravocrata e as características atuais da população expressam isso. Nas terras de Santo Amaro prosperaram muitos engenhos. Foi berço do primeiro Engenho Central da Bahia – Engenho Central de Bom Jardim, o quinto do Brasil (o primeiro foi o de Quissamã, em 1877, no Rio de Janeiro) e de diversas Usinas de Açúcar (Ribeiro *et al.*, 2001).

Vários engenhos menores foram criados ao longo do tempo, observando as ótimas condições geográficas e climáticas do Recôncavo, para o plantio da cana no “berço do massapê”, como era chamado Santo Amaro, cidade que nasceu às margens do Rio Sergi, no encontro com os rios Subaé e Traripe, por alusão ao solo fértil e escuro, onde ainda se pode avistar algumas ruínas, vestígio de uma época gestante da cultura brasileira. (Santana, 2015).

Com o passar dos anos formaram-se outros modos de produção além dos latifundiários do açúcar e dos comerciantes portuários envolvidos na exportação para a metrópole, Salvador, como uma considerável parcela de pecuaristas ou de pequenos proprietários produzindo alimentos como milho, mandioca, feijão e arroz para o mercado interno. Essa produção era essencial para grande parte da população colonial. A criação de gado também foi uma das principais atividades econômicas ligadas à vida no engenho, pois os bois abasteciam as pessoas com carne e couro e também eram utilizados como força motriz e meio de transporte (Souza, 1992). Após a abolição da escravatura, o massapê, foi reagindo aos métodos predatórios dos plantadores de cana, durante os dilatados séculos da escravidão, quando deu safras para sustentar o negro e muito, e muito enriquecer os seus fidalgos donos (Souza, 1992)

Após o fechamento das Usinas, foram instaladas em Santo Amaro, duas fundições de aço e ferro: a Tarzã e a Fundação Santa Luzia, que absorveu uma boa parte de mão de obra da população. Paralelo à essas fábricas foram instaladas várias casas comerciais, além das atividades agrícolas e pesqueiras que já eram praticadas na região desde a época da colonização.

Em 1960, a Companhia Brasileira de Chumbo (Cobrac), à época pertencente ao grupo multinacional Penarroya Oxide S.A. (hoje Metaleurop S.A.), começou a produzir lingotes de chumbo em Santo Amaro (Anjos; Sánchez, 2001) que foram abandonadas em 1993, deixando um passivo com 490 mil toneladas de resíduo contaminado com metais pesados, em especial chumbo e cádmio. Boa parte da população da região, dentre eles ex-funcionários da metalúrgica, bem como o solo, os sedimentos, a fauna e os mariscos do estuário do rio Subaé foram contaminados com resíduos industriais (Anjos; Sánchez, 2001).

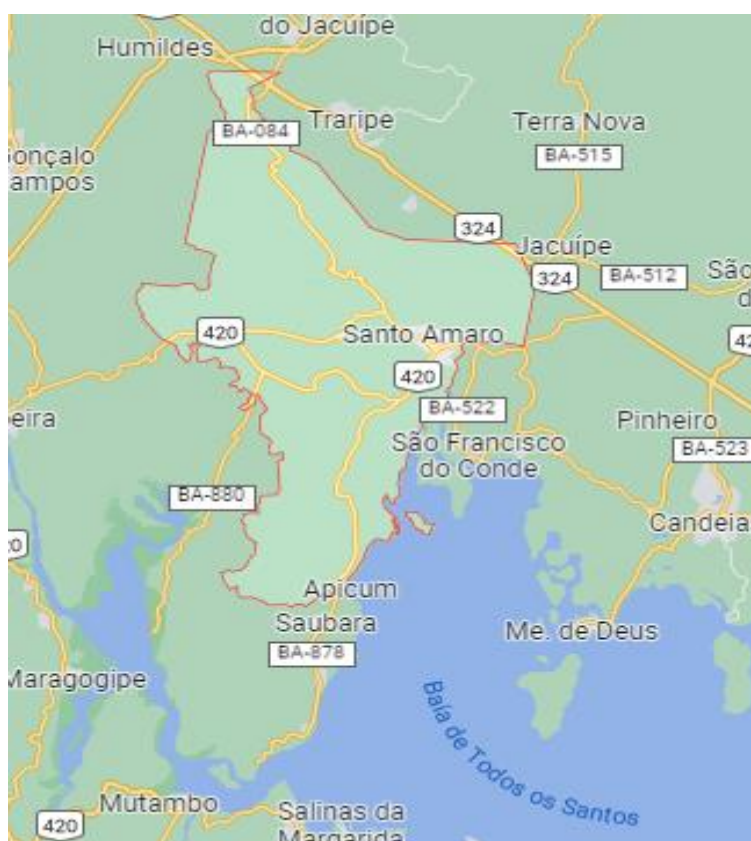
Em documento do Ministério Público da Bahia (MP/BA,2001), foi descrita toda a trajetória de contaminação das atividades da fábrica PLUMBUM. O MP/BA, além de alegar que a empresa PLUNBUM, antiga COBRAC, vinha exercendo atividade poluidora na periferia de Santo Amaro, há muitos anos, sem qualquer preocupação com os efeitos tóxicos dos materiais com os quais aquela empresa trabalhava, asseverou a existência de altos níveis de contaminação das pessoas que trabalhavam e residiam próximos à empresa, (principalmente a população infantil), pelo fato de a empresa lançar sua carga de efluentes líquidos industriais e sanitários no rio Subaé, sem qualquer espécie de tratamento (destruindo ecossistemas e contaminando pessoas e animais que utilizam a água do rio), a disposição inadequada dos resíduos sólidos originários da sua atividade industrial e a circunstância do material ter sido cedido à população e à Prefeitura Municipal para pavimentar jardins, quintais, vias públicas etc. (Almeida Neto; Imbassahy, 2009).

Além dos agricultores familiares da região e residentes das proximidades da fábrica, os pescadores e marisqueiros também foram afetados diretamente, em especial nas regiões do Derba e da Caeira. No entanto, este é um tema tabu entre as marisqueiras e a comunidade, uma vez que para que possam comercializar peixes e mariscos nas feiras e à comunidade externa, eles omitem o local de procedência dos mesmos. Embora cientes dos possíveis efeitos nocivos, eles continuam consumindo esses alimentos por falta de alternativas. O caso é um dos exemplos mais emblemáticos do mapa de conflitos envolvendo injustiça ambiental e saúde no Brasil, produzido pela Fiocruz (Carvalho, 2019).

A poluição através do chumbo na cidade de Santo Amaro da Purificação trouxe várias consequências para a população. Pode-se dizer que a cidade fora vítima de interesses que não colocaram as necessidades da população local em primeiro plano. Mesmo diante desse quadro,

que já é um marco na história, é reconhecido que Santo Amaro foi uma cidade de destaque no passado, sobretudo no período colonial, e deixou um grande legado de história para o povo. (Moraes, 2008 apud Araújo, 2017).

Figura 1: Localização do município de Santo Amaro da Purificação, Bahia



Fonte: (Google Maps).

Duas fabricas funcionam atualmente em Santo Amaro: a Penha Papeis e Embalagens, localizada no Distrito da Pitinga e a Fofex localizada no Distrito Sitio Camaçari. Duas localidades marcadas pelas atividades de cultivo e extrativistas. Anterior ao funcionamento da Penha, a indústria que ocupava as instalações se chamava INPASA, Indústria de Papéis Santo Amaro, e desde este período os moradores da Pitinga e da Nova Santo Amaro, (bairro próximo à fábrica) reclamavam do mau cheiro ao cair da noite – fruto do processamento de materiais para a produção de papel, porém ao ser vendida para a Penha, o mau cheiro desapareceu como também o manguezal, onde a perda da biodiversidade é descrita pelos moradores da Pitinga.

Segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2010), de um total de 57.800 habitantes, 98,2% possuem escolaridade de apenas o ensino Fundamental (de 6 a 14

anos). Em 2020, o salário mensal da maioria dos santo-amarenses era de 1,9 salários-mínimos, sendo que apenas 9,4% da população possui trabalho formal. Sabe-se que quanto menor o nível de instrução formal, menor a consciência elaborada diante de questões que envolvem segurança alimentar e nutrição adequada.

Conhecida pela sua cultura, história e belezas naturais como cânions e cachoeiras, Santo Amaro também tem grande fama pela contaminação e descaso ambiental. Quando injustiças sociais e ambientais recaem sobre uma etnia é tratada como racismo ambiental (Santos, 2019). Layrargues, (2000), insere a importância do termo “conflito socioambiental” para favorecer o “entendimento do problema ambiental não apenas por sua face ecológica, mas também pelo conflito de interesse existente entre os diversos atores sociais em questão”. Herculano (2006), alega que estes conflitos incidem principalmente sobre os grupos sociais tidos como vulneráveis, como os das comunidades tradicionais, que têm se defrontado com o modelo desenvolvimentista atual que os expulsam de seus territórios e desorganizam suas culturas, seja empurrando-os para as favelas das periferias urbanas, seja forçando-os a conviver com um cotidiano de envenenamento e degradação de seus ambientes de vida (Herculano, 2006).

I.2. Contaminação por metais pesados ou elementos potencialmente tóxicos (EPT's) no solo

Metais pesados são elementos químicos com alta densidade e toxicidade, como chumbo, mercúrio, cádmio, cromo, entre outros (Kabata-Pendias, 2011;Alloway, 2013). A presença de metais pesados no solo é resultado de atividades industriais, mineração, agricultura e outros processos com efeito negativo ao meio ambiente e à saúde humana. Quando esses metais são liberados no solo, eles podem persistir por longos períodos e se acumular, principalmente nas camadas superiores (Leal *et al.*, 2016).

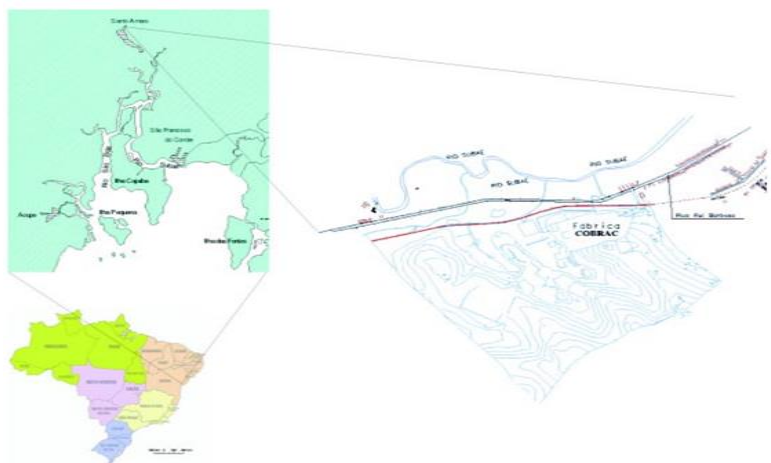
Quando liberados no solo, esses metais podem se tornar disponíveis para as plantas, sendo absorvidos por suas raízes, o que pode contaminar a cadeia alimentar representando um risco para os animais e seres humanos que consomem esses alimentos contaminados (Virga *et al.*, 2007). A contaminação por metais pesados no solo, também pode resultar na lixiviação desses elementos para corpos d'água próximos, como rios e lagos (Barros, 2017). A consequência da contaminação dos recursos hídricos são os efeitos negativos sobre a vida aquática e na qualidade da água para consumo humano. Os impactos ambientais da contaminação por metais pesados no solo incluem a redução da biodiversidade e a alteração dos processos ecossistêmicos (Brito, 2015). Esses elementos podem afetar negativamente os

microrganismos do solo, provocando alterações na vegetação e na estrutura e funcionamento dos ecossistemas terrestres.

A contaminação do solo por metais pesados representa um sério risco à saúde humana. A exposição de elementos tóxicos pode ocorrer por meio do consumo de alimentos contaminados, inalação de poeira contaminada ou pelo contato direto com o solo contaminado, (Santos, 2008; Bosso; Enzweiler, 2008). Portanto, é essencial monitorar e controlar a contaminação por metais pesados no solo, implementando medidas de remediação e adotando práticas sustentáveis que evitem a introdução desses elementos no ambiente. Além disso, é importante promover a conscientização sobre os riscos associados à contaminação por metais pesados e adotar medidas de proteção para garantir a saúde e o bem-estar da população.

A questão da contaminação pelo chumbo é conhecida por toda a cidade, porém naturalizada e ignorada por todos os munícipes e isso incide, inclusive, no comportamento da população que reside no entorno e que adentra a área da COBRAC, (Plumbum), e consome as frutas provenientes das árvores da localidade, levando seus animais para pastagens, cavalos e bois, de maneira ilegal e irregular (Figura 2).

Figura 2: Localização da cidade de Santo Amaro e da área do entorno da antiga Fábrica da COBRAC



Fonte: (Machado *et al.*, 2004).

Os metais estão naturalmente presentes no solo como constituintes de minerais primários que compõem as rochas, (ígneas, metamórficas ou sedimentares), entretanto, o teor natural do metal de origem litogênica, pode ser alterado de forma antropogênica pela introdução de altos teores de metais (Almeida, 2018). As atividades industriais são as que têm maior potencial de promover contaminação nos solos por metais pesados, (Andrade *et al.*, 2009). O setor

metalúrgico se destaca, por produzir grandes quantidades de resíduos ricos nesses poluentes, especialmente chumbo (Pb), cádmio (Cd), zinco (Zn), cobre (Cu), níquel (Ni) e cromo (Cr) (Santos, 2022). Não por coincidência, em Santo Amaro, a escória, é a principal fonte de contaminação do solo da área urbana do município é o resíduo resultante do beneficiamento do chumbo (Santos, 2022; Machado *et al.*, 2004; Lyrio; Garrido, 2019. Ver Figura 3).

A presença de metais pesados no organismo humano causa graves problemas à saúde. A exposição a estes elementos, acima dos limites de segurança, acarreta danos cardiovasculares, neurológicos, hematológicos e neuromusculares (Schifer *et al.*, 2005).

Além de Santo Amaro, diversas cidades do Brasil apresentam contaminação por metais pesados, em especial por chumbo e cádmio, como Boquira, na Bahia, Vale do Ribeira e Mauá da Serra, no Paraná (Souza; Lima, 2012). A concentração de chumbo torna-se emblemática, pois, conforme laudo expedido em 03 de julho de 2019, pelo Centro de Tecnologia de Mineração (CETEM), o índice supera em 5.566% o valor orientador de qualidade do solo para a presença de metais pesados (300 mg/kg) e, para cádmio detectou-se a presença de 33,9 mg/kg nas amostras analisadas, quando o limite permitido é de 8 mg/kg (Lyrio; Garrido, 2019). Esses valores foram resultados de uma média das análises realizadas por toda a Av. Ruy Barbosa, área próxima à COBRAC.

Figura 3: Área externa da COBRAC, ainda em seu funcionamento, onde a escória de chumbo era depositada ao ar livre.



Fonte: (NUCOM, 2013).

Etapas foram desenvolvidas para formulação do Plano de Recuperação Ambiental nas instalações da antiga fábrica e, dentre elas a fitorremediação da área afetada.

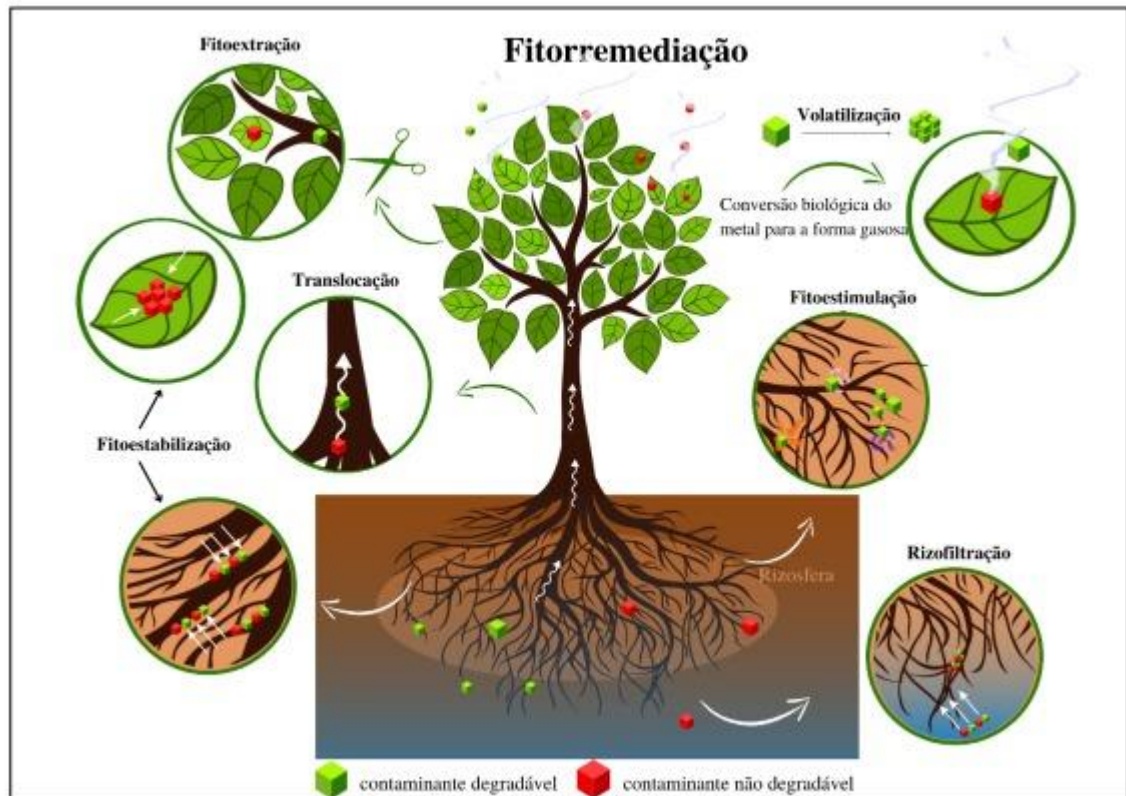
I.3 Fitorremediação

A tecnologia de fitorremediação consiste no uso de uma espécie vegetal e sua microbiota, possibilitando a extração ou imobilização de determinados poluentes presentes no solo, na água ou no ar, considerando o limiar de tolerância de cada espécie. As plantas com capacidade de fitorremediação, além de tratar a água e o solo, possuem faculdades para serem biofiltros do ar, removendo gases tóxicos e até partículas de metais suspensas (Matta; Andrade, 2014).

Para Chandra *et al.* (2018), a tecnologia de fitorremediação pode ser dividida em: fitoextração, que consiste no uso de plantas hiperacumuladoras para transporte de metais (Ni, Co, Cu, Cr e Zn), do solo para a parte aérea das plantas, juntamente com as lavouras, para purificar o solo da contaminação por metais pesados e substâncias orgânicas; fitofiltração e fitoestabilização, que se referem ao uso de plantas para limitar a mobilidade e biodisponibilidade dos metais (Zn, Pb e Cu) no solo (Matta; Andrade, 2014). Essas são as técnicas mais utilizadas para áreas cultiváveis e são indicadas para remediação de locais com contaminação de metais pesados, como Pb, As, Cd, Cr, Cu e Zn (Chandra *et al.*, 2018); fitovolatilização e fitodegradação, com cada categoria tendo um mecanismo de ação para remediar poluentes orgânicos e inorgânicos.

Fitofiltração é a utilização de raízes das plantas (rizofiltração) ou mudas/plântulas, (blastofiltração) para absorver ou adsorver poluentes, principalmente metais, de água e efluentes aquosos (Ali *et al.*, 2013). A fitovolatilização é o processo de absorção destes poluentes na forma elementar pela planta, sua conversão biológica para forma volátil e posterior liberação na atmosfera (Souza, 2016). A fitoestabilização é a técnica por meio da qual as plantas estabilizam, em vez de remover os contaminantes, por meio da imobilização e consequente limitação da difusão (Souza, 2016).

Figura 4: Técnicas de fitorremediação em solo.



Fonte: (Pereira,2022)

Após extrair o contaminante do solo, a planta armazena-o para tratamento subsequente, quando necessário, ou mesmo metaboliza-o, podendo em alguns casos transformá-lo em produtos menos tóxicos ou mesmo inócuos. A fitorremediação pode ser empregada em solos contaminados por substâncias inorgânicas e/ou orgânicas (Almeida, 2018).

Tecnologias de remediação são procedimentos e ações que visam neutralizar, eliminar ou transformar substâncias que estão contaminando o ambiente (terra e água) (Santos, 2017). Estas técnicas, quando em prática, podem minimizar os efeitos da contaminação, ou seja, dificilmente poderá recuperar a área (Bartenfelder, 1992 *apud* Santos, 2017). Os impactos ambientais das atividades de mineração têm refletido no incentivo das pesquisas na busca das melhores técnicas de remediação para recuperar áreas degradadas. Estas tecnologias podem ser aplicadas *ex situ* e *in situ*. Na *ex situ*, são utilizadas técnicas que removem o solo do local para ser descontaminado (Santos, 2017). Após a descontaminação do solo, o mesmo é reposto no local de origem, enquanto as tecnologias *in situ* são aplicadas na área contaminada. As técnicas disponíveis para a remediação podem ser onerosas e, em alguns casos, demoradas (Santos, 2017). Segundo este autor, as principais técnicas são:

A) Escavação – técnica *ex situ* que envolve a remoção e disposição física de um solo contaminado em um aterro designado. Produz resultados rápidos de remediação. Muitas vezes cara, devido à operação de transporte e da existência de aterros sanitários especiais. Na escavação ocorrem riscos ao meio ambiente e à saúde, sendo duas ou três vezes mais caras que os processos *in situ*;

B) Lavagem do solo / Extração de ácido – técnica *ex situ*, baseada na suspensão ou dissolução do metal numa solução de lavagem à base de água;

C) Encapsulamento – técnica *in situ*, em que uma capa dura é colocada na superfície do solo contaminado. Este método é bastante simples, o que reduz a exposição do contaminante, no entanto, não remove contaminantes do solo;

D) Solidificação – técnica *in situ*, em que o solo contaminado é misturado com estabilizantes, reduzindo a mobilidade. Como desvantagens, são relativamente caras;

E) Vitrificação – técnica *in situ*, em que o metal é quimicamente ligado dentro de uma matriz de silício-arsenatos;

F) Limpeza do solo – técnica *in situ*, onde utiliza água ou compostos orgânicos para mobilizar o metal no solo;

G) Fitorremediação / fitoextração – técnica *in situ*, que parte do princípio de que as plantas podem extrair metais pesados do solo e acumulá-los na biomassa acima do solo.

Embora existam tecnologias de despoluição que utilizam processos físicos e/ou químicos, o método biológico vem se mostrando a maneira mais ecologicamente adequada e eficaz, além de ser em geral mais barata.

I.4 Plantas ornamentais e fitorremediação

Segundo Assunção (2012), existem catalogadas no município de Santo Amaro da Purificação diversas espécies vegetais com potencial fitorremediador, inclusive nos arredores da COBRAC, tais como: aroeira (*Schinus terebinthifolia*), cedro (*Cedrela fissilis*), eucalipto (*Eucalyptus urophylla*), ipê-roxo (*Tabebuia impetiginosa*), Ggenipapo (*Genipa americana*), Jjurubeba (*Solanum paniculatum*), goiabeira (*Psidium guajava* L.), capim braquiária (*Brachiaria decumbens*), mamona (*Ricinus communis*) e *Crotalaria vitellina* (algumas delas foram observadas no local. Ver figuras nos Anexos). Muitas dessas plantas são cultivadas ou estão presentes nos quintais e jardins da população, porém falta o direcionamento técnico para

tal resolubilidade no tocante à remediação do solo contaminado, analisando-se a trajetória de denúncias e estudos da contaminação de chumbo neste município.

Espécies ornamentais, como *Heliconia psittacorum*, *Impatiens walleriana* e *Canna indica* (Figura 5), podem ser utilizadas para fitorremediação de metais pesados. São citadas como macrófitas aquáticas mais utilizadas em sistemas de fitorremediação implementados no Brasil, especialmente em jardins filtrantes (Pinheiro, 2017). Essas espécies são comumente observadas nas residências e nos jardins públicos do município de Santo Amaro.

Figura 5: a. *Heliconia psittacorum* (Helicônia-papagaio ou bananeira-brava); b. *Impatiens walleriana* (Beiinho); c. *Canna indica* (cana-da-índia ou cana-de-macaco).



Fonte: (Barroso et al., 2023).

Heliconia psittacorum, da família Heliconiaceae, foi utilizada em estudo de fitorremediação de jardins conduzido por (Poças *et al.* (2017 e por Pinheiro (2017). A espécie *Impatiens walleriana* é membro da família Balsaminaceae e é uma das mais importantes plantas ornamentais usadas em paisagismo, sendo cultivada como planta ornamental em várias partes do mundo. A planta tem colorações de floração variáveis (Lie Evens, 2000 *apud* Esringu *et al.*, 2015) e passou por testes para avaliar o potencial remediador para benzeno e cromo (Campos *et al.*, 2017). De acordo ao seu desempenho no experimento, Esringü e colegas (2015) concluíram que *I. walleriana* é uma espécie que possui características desejáveis para fitotecnologia.

Canna indica, conhecida popularmente como cana-da-índia, também é citada por Poças *et al.* (2017 apud Mendes, 2018) pelo acúmulo de Cr, Fe, Cd, Cu, Ni, Zn, Mn e Pb, em jardins de filtrantes para tratamento de esgoto urbano, em solo corrigido com lodo industrial (Mendes, 2018). O metal absorvido é distribuído em diferentes partes da planta, que é considerada adequada para fitorremediação de diversos metais (Bose *et al.*, 2008).

Rocha e colaboradores (2018) investigaram o uso de jardins flutuantes na remediação de águas superficiais urbanas poluídas utilizando *C. indica*. Comparada em seu desempenho quanto ao potencial fitorremediador, a espécie desenvolveu bem o seu sistema radicular e as plantas floraram diversas vezes no período do estudo. O desenvolvimento efetivo da espécie (aumento da sua biomassa) e a prosperidade da população, demonstraram a resistência e tolerância aos metais tóxicos presentes.

Heliconia psittacorum tem um bom poder de aclimação a áreas úmidas e é indicada para tratamento de efluentes no país (Peña-Salamanca *et al.*, 2013). Entre as características mais relevantes estão a capacidade de acumular metais pesados sem prejuízo de suas propriedades fisiológicas e seu rápido crescimento e desenvolvimento. Por outro lado, essa planta gera um ganho estético pela beleza de sua inflorescência que pode ser comercializada.

Alguns fatores que dificultam o processo de remediação de áreas degradadas são a falta de recursos financeiros para a aquisição de materiais para tais trabalhos, equipe especializada e, efetivamente, o interesse público. Isto evoca a importância de direcionar e construir o conhecimento junto à população local, compartilhando as maneiras de utilizar espécies que já estão presentes no local contaminado, gerando um passo viável para sua execução – inclusive por ser uma solução econômica – possibilitando ações da própria população, unindo os saberes da academia com os conhecimentos da comunidade. Fleury e Almeida (2007), comentam que comunidades tradicionais podem apresentar soluções criativas para equilibrar sua inserção no meio, conciliando produção agrícola alimentar e manutenção ecológica do ambiente, isto é, sustentabilidade.

Além disso, pode-se estruturar o cultivo de espécies fitorremediadoras com valor ornamental, em larga escala, como uma nova possibilidade de renda, gerando assim uma resolução dupla para o problema socioambiental ocasionado pela contaminação do solo. Vale ressaltar que o descarte de flores ornamentais deve ser direcionado a um aterro sanitário e alertar ao público de que os restos destas culturas não devem ser utilizadas para adubação ou consumo. Essa ação de cunho socioeconômico atende aos critérios ambientais da fitorremediação.

I.5 Elementos Potencialmente Tóxicos e os ecossistemas

A toxicidade dos metais nos ecossistemas é uma questão de concentração de suas propriedades físico-químicas e da via de administração e ou absorção. O caráter tóxico depende da interação com o organismo vegetal, normalmente ocorrendo em três etapas: I) estágio de entrada e absorção; II) estágio no organismo, onde ocorre transporte, distribuição, acumulação e biotransformação; III) estágio de saída do organismo (Almeida, 2018).

Segundo Baldrian, (2010), os metais não são degradáveis e a contaminação é relativamente estável ao longo do tempo. Qualquer metal derivado de fontes antropogênicas é fortemente influenciado por sua forma, fase e estado de oxidação, ou seja, por sua especiação. As características e as propriedades do solo determinam a mobilidade dos contaminantes neste meio, condicionando sua disponibilidade e, portanto, sua potencial transferência para níveis tróficos superiores (Chary *et al.*, 2007; Baldrian, 2010;)

O solo foi considerado por muito tempo – de forma errônea - um receptor ilimitado de materiais descartáveis, como o lixo doméstico, os efluentes e os resíduos industriais com base na suposição de que este meio apresenta uma elevada capacidade de atenuação das substâncias nocivas presentes, que levaria ao saneamento dos impactos criados. (Cetesb, 2007).

Dentre os metais mais comumente encontrados em casos de contaminação de solo e que apresentam sérios riscos à saúde humana e ao ambiente, destacam-se Cd, Pb, Co, Cu, Hg, Ni e Zn. O poder contaminante desses elementos pode ser caracterizado pelo potencial de cinesia no solo e sua mobilidade pode ser acelerada em condições de campo pelo fluxo na solução do solo (Achiba *et al.*, 2009).

Nos casos da área da COBRAC (Plumbum), Niemeyer *et al.* (2012) concluíram que, além do efeito direto da toxicidade dos metais sobre a atividade e a biomassa microbiana no solo, há efeitos indiretos relacionados às mudanças na cobertura vegetal, taxas de carbono orgânico do solo, pH e disponibilidade de nutrientes. As bioacumulações e biomagnificações se encarregam de transformar concentrações consideradas baixas em concentrações tóxicas, para diferentes espécies da biota e para o homem, e a persistência garante os efeitos ao longo do tempo, mesmo depois de interrompidas as emissões.

Os metais podem acumular-se nos componentes do ambiente onde manifestam sua toxicidade, sendo os solos e sedimentos seus locais de maior deposição, e a biota associada a estes compartimentos é a de maior preocupação pela possibilidade de causar risco à saúde humana. Segundo Niemeyer e demais autores (2012), os metais apresentam múltiplos mecanismos de toxicidade, pois os íons metálicos têm alta afinidade por moléculas contendo

átomos de nitrogênio e enxofre, ligando-se com relativa facilidade a proteínas e outras moléculas celulares, assim sua toxicidade deve-se principalmente à capacidade de interferir em reações enzimáticas, bloqueando-as. O potencial tóxico se deve também à baixa mobilidade em virtude de suas pequenas dimensões (Santos *et al.*, 2017).

Segundo Azevedo, (2012), os metais se enquadram em três categorias:

- Os micronutrientes: Cu, Zn, Mn, B, Ni e Mo, que são essenciais para as plantas em concentrações normais (variando de 0,1 para Mo a 100 mg kg⁻¹ para Mn), mas se tornam tóxicos em concentrações mais altas. O Fe é um elemento que não é estritamente um elemento traço;
- Elementos como Se, I e Co, que não são essenciais para as plantas, mas que são essenciais para os animais e,
- Elementos, como Li, Be, As, Hg, Cd e Pb, que não são requeridos por plantas, animais e são tóxicos para ambos.

Além dos ensaios com a matriz solo, ensaios de ecotoxicidade aquáticos com bactérias e cladóceros foram realizados com elutriados dos solos e apontaram um comprometimento da função de retenção do solo nos locais correspondentes aos depósitos de escória dentro da área da Plumbum, indicando risco da contaminação migrar para águas subterrâneas ou superficiais (Niemeyer *et al.*, 2007).

Em camundongos, o chumbo e o cádmio acumulam-se no fígado, rins e órgãos reprodutores. A maior concentração do cádmio nos órgãos reprodutores foi positivamente correlacionada com a maior concentração no fígado. Quando absorvidos pelo organismo, esses metais interagem com proteínas e são translocados pelo sangue, onde podem ser estocados ou biotransformados. Registra-se que em mamíferos esses metais podem ser excretados pelo leite, além de afetar a função placentária, e gerar distúrbios no desenvolvimento fetal (Ribeiro, 2013).

Em artigo de Niemeyer *et al.* (2012), foi citado um estudo minucioso, realizado pelo Dr. Dittmar, foram atribuídas às atividades da fábrica a morte de cerca de 250 burros, 200 bovinos, além de outros animais, relacionando-as às emissões atmosféricas tóxicas onde se alegou que os processos usados pela fábrica para o processamento do chumbo eram dos mais primitivos. O caso de Santo Amaro tem sido alvo de vários estudos sobre a caracterização da contaminação nos compartimentos ambientais, através de análises químicas para a determinação da concentração de metais. Porém, no foco ambiental e envolvendo risco ecológico, poucos trabalhos têm estudado, como a contaminação existente afeta, ainda hoje, a estrutura e o

funcionamento dos ecossistemas atingidos e, conseqüentemente, os serviços oferecidos pelos ecossistemas para a vida humana (Niemeyer *et al.*, 2012), onde nisso inclui a agricultura.

A absorção de metais pelas plantas cultivadas em solos contaminados tem sido estudada de forma considerável. Todos os resultados têm mostrado que níveis elevados de metais no solo podem conduzir a uma maior absorção pelas plantas. Porém, não há geralmente uma forte relação entre as concentrações no solo e nas plantas, devido à dependência de diversos fatores, tais como a biodisponibilidade dos metais no solo, tipo de metal, a espécie vegetal envolvida e o tipo de solo com suas características (Voutsas *et al.*, 1996). O sistema solo-planta é um sistema aberto, sujeito a *inputs* ou ingressos de elementos essenciais e não essenciais às plantas. No caso destes últimos, não essenciais, ao provir de fontes antropogênicas podem ser considerados como contaminantes, ainda que em poucas quantidades devido a sua toxicidade intrínseca (Magna, 2011).

Outro aspecto importante a destacar é que a solubilidade dos elementos corresponde a um requisito essencial para a transferência dos contaminantes, desde o solo para as plantas, condição que é controlada pelas características do solo anteriormente apresentada e as interações entre o mesmo e os contaminantes. As plantas se comportam como mecanismo de transferência de contaminantes do solo, para níveis mais altos na cadeia alimentar, porém, também correspondem a uma barreira importante para essa transferência, condição que é definida pelo conceito barreira solo-planta (Yen *et al.*, 1997 *apud* Magna, 2011).

A barreira solo-planta pode estar formada por insolubilidade dos metais pesados no solo, imobilização dos contaminantes nas raízes das plantas, e a fitotoxicidade que pode reduzir o crescimento das plantas ou causar a morte das espécies (Yen *et al.*, 1997 *apud* Magna, 2011).

Os fatores que afetam a quantidade de metal absorvido por uma planta estão controlados por concentrações e especiação dos metais na solução do solo, movimentos dos metais, desde o solo até a superfície das raízes, transporte dos metais, desde a superfície das raízes, até o interior destas, e translocação desde as raízes até outras partes da planta. Um fator importante na absorção de elementos, pelas espécies vegetais, corresponde à função que eles podem realizar para o desenvolvimento destas. Cabe destacar que tanto o chumbo como o cádmio não têm uma função biológica conhecida (Aloway, 1995 *apud* Magna, 2011).

I.5.2 Cádmio e relação planta-solo

O cádmio é potencialmente tóxico a diferentes espécies da biota e ao ser humano (Bizzaro, 2007), e as plantas constituem-se o principal ponto de entrada do cádmio na cadeia

alimentar (Guimarães *et al.*, 2008). Possui uma grande mobilidade no solo, tornando-se facilmente disponível e facilmente absorvido. Não é um elemento essencial para as plantas possuindo um efeito fitotóxico, podendo limitar o crescimento do vegetal por reduzir a absorção de nutrientes (Sanitâ di Toppi; Gabrielle, 1999 apud Bizarro, 2007). Em contraste com outros metais pesados tóxicos, o cádmio no solo é mais facilmente absorvido pelas raízes das plantas, sendo este fenômeno mais pronunciado em solos ácidos.

Em quase todos os casos, uma relação linear entre cádmio no material vegetal vs. cádmio no meio de crescimento é relatada. Sabe-se que algumas variáveis do solo afetam a fitodisponibilidade do elemento. Algumas plantas, especialmente girassóis e batatas, absorvem significativamente mais cádmio dos solos afetados pelo sal. O cloreto forma complexos fortes com cádmio (por exemplo, $CdCl_2$) e, portanto, mobiliza e aumenta sua fitodisponibilidade. (Mclaughlin *et al.*, 1994 apud Kabata-Pendias, 2001). Vegetais com folhas como espinafre e raízes, como nabos, cenouras e batatas, devem ser considerados as principais rotas de fornecimento de cádmio ao homem (Kabata-Pendias, 2001).

Acredita-se também que a atividade microbiana do solo desempenha um papel significativo no comportamento do cádmio, observando a ligação do cádmio e sua subsequente liberação dos solos sob a influência de microrganismos. A concentração de carbonato na solução do solo leva à precipitação total de cádmio e outros fatores do solo são ativos na imobilização do cádmio (Chammugathas; Bollag, 1987; Isenbeck *et al.*, 1987 apud Kabata-Pendias, 2001). Nas plantas, a presença de cádmio afeta a absorção, transporte e uso de macro elementos como cálcio, fósforo, potássio e enxofre, bem como da água. A imobilização do cádmio externamente ou na raiz pode ser uma das primeiras barreiras temporais de defesa da planta contra a toxicidade a este metal pesado. A associação entre plantas e micorrizas pode ser considerada outro mecanismo que contribui para a tolerância de plantas a níveis tóxicos de cádmio no solo.

Em altas concentrações, este metal pesado também é tóxico para o fungo micorrízico, o que limita esta contribuição a baixos níveis de cádmio (Das *et al.*, 1997; Jiang *et al.*, 2005; Lombi *et al.*, 2001; Jentschke *et al.*, 1999 apud Guimarães, 2008). Quando a quantidade de cádmio é aumentada no meio de crescimento, a concentração desse metal nas raízes excede seu conteúdo no topo em cerca de 100 vezes. Pode-se concluir que o cádmio nas plantas é relativamente muito móvel, embora a sua translocação pelos tecidos da planta pode ser restringida, porque este metal é facilmente mantido, principalmente em troca de sítios de compostos ativos localizados nas paredes celulares (Kabata-Pendias, 2001).

O cádmio é mais solúvel e, portanto, mais translocável no solo do que o chumbo, com grande possibilidade de penetração no lençol freático. Como agravante, um teste fora realizado em 1986 e, segundo a Agência de Proteção Ambiental (EPA, em inglês), este método não é mais adequado, fazendo-se necessários testes complementares (Almeida Neto; Imbassahy, 2009).

I.5.1 Chumbo e relação planta-solo

O chumbo é um metal de ocorrência natural nos solos, normalmente associado a outros elementos como zinco, cobre, prata e ouro. Não sendo degradável, o chumbo pode se acumular em diferentes compartimentos ambientais e nos organismos vivos, resultando em diferentes problemas, como a redução no crescimento vegetal e até mesmo a extinção da vegetação, a contaminação das águas superficiais e dos aquíferos (Santos *et al.*, 2017).

Esse metal tende a acumular-se em solos e sedimentos, devido à sua baixa solubilidade e não sofrer degradação microbiana. Ele é quase insolúvel nos solos, sobretudo em meio alcalino, permanecendo na maior parte do tempo na superfície do solo. Apesar de este metal ocorrer naturalmente nas plantas, é pouco provável que ele tenha algum papel essencial no metabolismo das mesmas. O modo das plantas absorverem o chumbo é passivo, realizado essencialmente pelas raízes e esta absorção é reduzida pela calagem e baixas temperaturas. A absorção de metais pelas plantas não é somente influenciada pela concentração, forma e propriedades físico-químicas do solo, mas também pela espécie, nutrição, estágio de crescimento e outros fatores, como a sensibilidade da planta ao metal absorvido, e o chumbo absorvido pela superfície das raízes das plantas é retido ali, havendo uma mínima translocação para outras partes (Allowaz, 1990; Brandy, 1989; Kabata-Pendias; Pendias, 1992; Chlopecka, 1994; McLaughlin, 1996 apud Silva, 1999).

A localização característica de chumbo perto da superfície do solo, na maioria dos seus perfis, é principalmente relacionada ao acúmulo superficial de matéria orgânica. As maiores concentrações de chumbo também são frequentemente encontradas nos horizontes superiores organicamente ricos de solos não cultivado portanto, a matéria orgânica deve ser considerada um importante sumidouro de chumbo em solos poluídos (Fleming *et al.*, 1968 apud Kabata-Pendias, 2001). No primeiro caso, é gerado pela entrada dos metais na cadeia trófica seguida pela dispersão associada com a fauna local. No segundo caso, pela mobilização destes metais através da dissolução, escoamento ou lixiviação pela água, representando um risco de contaminação direta das águas subterrâneas (Cunha *et al.*, 2014).

Como o chumbo entra no solo em vários e complexos compostos, suas reações podem diferir amplamente entre as áreas. O chumbo é o metal mais estável no solo da floresta e o tempo necessário para uma diminuição de 10% de sua concentração total por lixiviação foi calculado em 200 anos para solo poluído, e o período no qual a quantidade de chumbo no solo diminuirá pela metade pode variar de 740 a 5900 anos, dependendo do tipo de solo, do manejo da água e da matéria orgânica presente (Tyler, 1981; Kitagishie Yamame, 1981 *apud* Kabata-Pendias, 2001).

Quando o chumbo é absorvido pelas plantas, sua translocação para as partes acima do solo é muito pobre. A maior parte do chumbo está concentrada nos tecidos radiculares. No entanto, é promissor e essa densa cobertura vegetal estabilizará o chumbo, por um determinado período, dentro da zona de enraizamento. Embora o chumbo seja um metal pouco biodisponível e, portanto, difícil de fitoextrair, existem várias plantas, como, por exemplo, *Thlaspi* sp., milho e girassol, que acumulam maiores quantidades nas raízes (Kabata-Pendias, 2001). Outro fator preponderante nas relações do chumbo no ambiente é a influência da matéria orgânica do solo (MOS), que afeta diretamente a atividade microbológica. A protonação da (MOS) ocorre somente em valores de pH inferiores a 3,0, já em valores iguais ou superiores a este, inicia-se a dissociação de prótons atingindo um valor máximo ao redor de 9,0. Desta forma, na maioria dos solos a MOS está dissociada, gerando cargas negativas que podem variar entre 400 e 800 cmolc kg⁻¹ (Silva *et al.*, 2006 *apud* Cunha, 2014). Devido a sua alta reatividade, os processos e reações que envolvem a matéria orgânica do solo são importantes para se compreender o comportamento das substâncias e compostos contaminantes ou poluentes do solo, podendo apresentar um efeito benéfico ou maléfico, pois afeta o destino do chumbo no solo e nas águas (Cunha *et al.*, 2014).

A maior bioacumulação de chumbo geralmente é relatada para vegetais folhosos (principalmente alface), cultivados nos arredores de fundições de metais não ferrosos, onde as plantas são expostas a fontes de chumbo tanto no solo quanto no ar. Após a solubilização do chumbo, ele tende a chegar na solução do solo, que é considerado um sistema aberto e dinâmico, que troca matéria e energia com sua vizinhança, interagindo com a fase sólida e gasosa, com microrganismos, plantas e fauna (Cunha *et al.*, 2014). Em geral, o equilíbrio de chumbo em vários ecossistemas mostra que a entrada deste metal excede, em muito, a sua saída (Kabata-Pendias 2001).

I.5.3 Cobre e relação planta-solo

O Cobre, (Cu), na crosta terrestre é mais abundante em rochas máficas e intermediárias e tende a ser excluído das rochas carbonáticas. O Cu forma vários minerais, dos quais os primários comuns são sulfetos simples e complexos. Esses minerais são facilmente solúveis em processo de intemperismo e liberam íons de Cu, especialmente em ambientes ácidos. No entanto, o Cu é cátion, traço muito versátil e em solos ou materiais depositantes exibe uma grande capacidade de interagir quimicamente com componentes minerais e orgânicos do solo.

O Cu é um elemento bastante imóvel nos solos e apresenta relativamente pouca variação no conteúdo total nos perfis do solo. Embora solúveis, portanto, móveis e disponíveis, as formas de Cu nos solos são de uma grande importância na prática agrônoma, uma vez que o teor de cobre dos solos fornece informações básicas para estudos geoquímicos (Kabata-Pendias, 2001). Segundo Kabata-Pendias (2001), a regularidade na ocorrência de Cu, em larga escala nos solos, indica dois fatores principais: material de origem e formação do solo. Além disso, a fração de argila contribui significativamente para o teor de Cu dos solos. Os teores normais de Cu no solo e nas plantas podem variar de 2 a 250 mg kg⁻¹ e de 5 a 20 mg kg⁻¹, respectivamente (Bowen, 1979 *apud* Chaves, 2010).

A característica comum da distribuição de Cu nos perfis de solo é o seu acúmulo no topo horizontes. Este fenômeno é um efeito de vários fatores, mas, acima de tudo, a concentração de Cu na superfície dos solos reflete a bioacumulação do metal e também as fontes antropogênicas recentes do elemento (Silva, 2016). A concentração excessiva de Cu, na camada superficial do solo, limita o desenvolvimento de muitas espécies cultivadas para a cobertura deste, aumentando a suscetibilidade do mesmo à erosão, que provoca redução dos teores de matéria orgânica, nutrientes no solo e a contaminação da água (Mantovani, 2009 *apud* Silva, 2016).

A contaminação do solo por compostos de Cu resulta da utilização de materiais contendo Cu, tais como fertilizantes, sprays e resíduos agrícolas ou municipais, bem como de emissões industriais (Kabata-Pendias, 2001).

Os mecanismos de absorção de Cu ainda estão longe de serem claros, mas se pode afirmar que embora haja evidências crescentes da absorção ativa de Cu, é provável que ocorra absorção passiva, principalmente na faixa tóxica deste metal em soluções (Kabata-Pendias, 2001). No tecido radicular, o Cu está quase inteiramente em formas complexadas, no entanto, é mais provável que o metal entre nas células da raiz em formas dissociadas. Sua toxidez induz à diminuição da produção de matéria seca da parte aérea, da biomassa radicular, ocasiona necrose

da radícula ao entrar em contato com o solo, morte da plântula e inibição do crescimento vegetal (Silva, 2016).

A distribuição de Cu dentro das plantas é altamente variável. Dentro das raízes, o Cu está associado principalmente às paredes celulares e é em grande parte imóvel. As maiores concentrações de Cu ocorrem nos brotos, que estão sempre em fase de crescimento intensivo. Uma proporção considerável do Cu, presente nos tecidos verdes, parece estar ligada à plastocianina e em algumas frações de proteína. Há também uma tendência de acumular o cobre nos órgãos reprodutivos (Kabata-Pendias, 2001).

O teor adequado de cobre nas plantas é essencial tanto para a saúde quanto para o fornecimento de nutrientes ao homem e aos animais. Algumas espécies de plantas têm uma grande tolerância ao aumento de concentrações de Cu e podem acumular quantidades extremamente altas desse metal em seus tecidos. Algumas plantas podem tolerar níveis elevados desse elemento, podendo acumular concentração superior a 1.000 mg kg⁻¹ de massa seca, por meio de mecanismos bioquímicos. Entretanto, a maioria das plantas manifesta sintomas de toxidez como necrose e redução no crescimento do sistema radicular, necrose das folhas, desfolhamento precoce e diminuição do crescimento aéreo da planta (Silva, 2011).

I.5.5 Níquel e relação planta-solo

Geologicamente falando, este metal é relativamente abundante na crosta continental. Ocorre frequentemente associado a depósitos de cobre e por isso já foi chamado de cobre branco. Quando puro, apresenta brilho metálico cinza claro levemente dourado. Devido a sua resistência à corrosão e resistência mecânica, hoje o níquel é empregado em mais de três mil ligas metálicas, a maioria delas com o ferro, na produção de aço inoxidável (Fonte Boa, 2008). A matéria orgânica revela uma forte capacidade de absorção de Ni, portanto, este metal é provavelmente se concentra em carvão e petróleo (Kabata-Pendias, 2001).

Estes minerais são os principais formadores das rochas constituintes do manto terrestre e por isso grande parte do níquel encontrado na crosta vem destas partes mais internas do planeta. Acredita-se que a grande maioria do níquel da Terra esteja em seu núcleo na forma de uma liga metálica de níquel e ferro. As maiores concentrações de níquel existentes em nosso planeta são, portanto, inacessíveis (Fonte Boa, 2008). Além do material de origem, o níquel pode ser adicionado ao solo em decorrência das ações antrópicas como a agricultura (no constante uso de

fertilizantes de fosfatos, lodo de esgoto, pesticidas, água de irrigação e calagem), disposição de resíduos industriais, queima de combustíveis fósseis e deposições atmosféricas (Rosário, 2022).

O níquel é facilmente mobilizado pelo intemperismo e então é coprecipitado principalmente com Fe e Mn. A distribuição no perfil do solo está relacionada com a presença da matéria orgânica, textura do solo, presença dos óxidos amorfos e das frações de argila, variável com o tipo de solo. Geralmente, observa-se uma estreita relação entre níquel nos solos, capacidade de troca catiônica (CTC) e teor de argila (Biondi, 2010 *apud* Sobral et al., 2021). A distribuição do Ni nos perfis dos solos está relacionada tanto à matéria orgânica quanto aos óxidos amorfos e frações de argila, dependendo do tipo de solo (Kabata-Pendias, 2001).

Recentemente, o níquel tornou-se um poluente grave que é liberado nas emissões das operações de processamento de metais e da crescente combustão de carvão e petróleo (Kabata-Pendias, 2001). A poluição ambiental por Ni influencia muito as concentrações deste metal nas plantas. Em ecossistemas onde o Ni é um poluente aéreo, os topos das plantas tendem a concentrar mais, o qual pode ser lavado das superfícies das folhas com bastante facilidade. O lodo de esgoto também se mostrou ser uma fonte séria de Ni como poluente em plantas. Como o Ni é facilmente móvel nas plantas, as bagas e grãos são relatados como contendo concentrações elevadas de Ni (Kabata-Pendias, 2001).

O níquel tem papel essencial às plantas por ser parte constituinte da metaloenzima urease, sendo diretamente relacionada ao metabolismo do nitrogênio (Bhalerao *et al.*, 2015; Prajapati *et al.*, 2018 *apud* Rosário, 2022). Em relação à mobilidade do Ni na planta, é considerado intermediária, cujo metal se concentra quase que exclusivamente nas raízes, onde após ser absorvido, é transportado. A disponibilidade de níquel para as plantas é regulada, em grande parte, pelas reações de adsorção que ocorrem entre micronutriente e as superfícies sólidas do solo. Essas reações são influenciadas pela umidade, pH, capacidade de troca de cátions, teor de argila e matéria orgânica no perfil, superfície específica, teor de óxidos, condições e oxidação/redução, adição de fertilizantes e absorção pelas plantas (Santos, 2011).

Quando em excesso, o Ni causa efeitos tóxicos nas plantas, provocando danos aos tecidos e interferências negativas no metabolismo das plantas. Os indicadores mais comumente encontrados para fitotoxicidade deste metal incluem a inibição da germinação, necrose foliar, redução do sistema radicular, deformação de órgãos e crescimento reduzido (Nie *et al.*, 2015; Kuramshina *et al.*, 2018; Bazihizina *et al.*, 2015 *apud* Sobral, 2021). A carência de Ni na planta gera diversas consequências ao vegetal, como a redução da atividade da urease, que culmina na alteração da síntese de proteínas, e que, por sua vez, provoca diminuição no crescimento e no

teor de aminoácidos. Concomitante a isso, ocorre o aumento do teor de nitrato e ureia nas folhas (Sobral, 2021).

I.5.4 Zinco e relação planta-solo

O Zn parece estar distribuído de forma bastante uniforme nas rochas magmáticas, sendo observado apenas o seu ligeiro aumento nas rochas máficas (80 a 120 ppm) e uma ligeira diminuição nas rochas ácidas (40 a 60 ppm). Foi mais móvel em condições muito ácidas e sua solubilidade variou de cerca de 1 a 10% de seu conteúdo nos solos superficiais. A concentração de Zn em sedimentos argilosos e folhelhos é aumentada, variando de 80 a 120 ppm (Kabata-Pendias, 2001).

Os fatores importantes que controlam a mobilidade do Zn nos solos são muito semelhantes aos listados para o Cu, mas o Zn parece ocorrer em formas mais facilmente solúveis. A forma mais comum do Zn é a iônica e, por ser fortemente retido pelas argilas e pela matéria orgânica, torna-se praticamente imóvel no solo, porém, comparativamente, apresenta maior mobilidade que o Cu (Chaves, 2010).

Solos com teores de Zn abaixo de 10 a 20 mg kg⁻¹ são considerados deficientes, enquanto aqueles com teores entre 25 a 150 mg kg⁻¹ apresentam o metal em quantidades ideais à nutrição das plantas. Quando a concentração atinge patamares maiores que 400 mg kg⁻¹, passa a ser tóxico às plantas, cujos sintomas são caracterizados por redução no crescimento e clorose (Mattiazzo-Prezotto, 1994 apud Chaves, 2010).

A fitotoxicidade do Zn é relatada com relativa frequência, especialmente para solos ácidos e fortemente lamacentos. A fisiologia e a bioquímica dos efeitos tóxicos do Zn nas plantas são semelhantes aos relatados para outros metais pesados, entretanto, o Zn não é considerado altamente fitotóxico. O limite de toxicidade para Zn depende das espécies de plantas e genótipos, bem como do estágio de crescimento. No entanto, em tecidos radiculares, onde o Zn está imobilizado nas paredes celulares ou complexado em proteínas de Zn não-difusíveis, a concentração crítica de Zn é muito maior. Espécies de plantas sensíveis são relatadas. Alguns autores consideram o Zn como altamente móvel, enquanto outros o consideram como tendo mobilidade intermediária (Kabata-Pendias, 2001).

De acordo com o livro de Kabata-Pendias (2001), diversas espécies e genótipos de plantas são conhecidos por apresentarem uma grande tolerância ao Zn e uma grande seletividade na absorção deste mineral dos solos. As plantas geralmente refletem mudanças no conteúdo de Zn de crescimento média e, portanto, são bons indicadores em investigações biogeoquímicas.

I.6 Manejo de solo e metais pesados

As propriedades do solo influenciam diretamente o processo de fitorremediação, determinando a disponibilidade de água, ar e nutrientes, fatores que podem inibir ou estimular o crescimento e desenvolvimento das plantas e microrganismos responsáveis pela degradação do contaminante (Rosa, 2006). O solo da região do município de Santo Amaro é denominado localmente de massapé, sendo formado predominantemente por argila (esmectita), que tem como característica peculiar a alta capacidade de absorção de metais (Machado, 2004). Práticas agrícolas com utilização de adubação orgânica são bastantes comuns e observadas na região do estudo. Restos de legumes, vegetais folhosos e esterco de animais são bastante utilizados nas roças locais, especialmente pelo fato de a grande maioria desses agricultores possuírem poucos recursos financeiros para investir nas suas culturas, considerando também a crise financeira pela qual o país atravessa. A produção de adubos orgânicos de qualidade e as minhocas passaram a ser novamente reconhecidas como parte fundamental no processo de reciclagem dos nutrientes nas propriedades rurais, em especial aquelas que trabalham com a integração entre plantas e animais (Schiedeck *et al.*, 2006).

A adição de adubos orgânicos no solo reflete em melhorias na estrutura do solo, considerada a chave para sua fertilidade (Pereira *et al.*, 2013). O húmus de minhoca quando aplicado ao solo atua de forma benéfica sobre suas características físicas, químicas e biológicas, favorecendo sua conservação e auxiliando o desenvolvimento das plantas, sendo importante ressaltar que as minhocas não aumentam os níveis de nutrientes no húmus, mas apenas os tornam mais disponíveis para as plantas (Embrapa, Schiedeck *et al.*, 2006).

Kabata-Pendias (2001) utilizou minhocas em alguns estudos para limpar solos poluídos. Efeitos deste método variam conforme as condições específicas e alguns elementos são observados para serem mais facilmente absorvidos por minhocas (por exemplo, Cd e I), do que outros (Mn e Cs). O papel de bactérias resistentes a metais em solos também foi considerado. Essas bactérias podem tornar as plantas mais tolerantes ao metal em locais de poluição.

Práticas agrícolas também têm sido aplicadas para remediação de solos por imobilização de traços de metais. Mais comumente, a absorção de metais pelas plantas é diminuída, mantendo um pH neutro do solo e, por alterações com materiais com uma alta capacidade de ligar metais em frações, ligeiramente móveis. Estes são principalmente: fosforitos, zeólitas, montmorilonitas, matéria orgânica húmica e alguns resíduos, como, por exemplo, cinzas volantes. Os efeitos benéficos desses tratamentos são amplamente discutidos por vários autores.

Os metais imobilizados são retidos nos zeólitas sintéticos ou precipitados como carbonato ou óxido de metal à medida que o pH do solo aumenta. Zeólitas demonstraram ser resistentes à degradação do solo ao longo de um período de três meses. Sabe-se que a mobilidade do metal traço, em solos, está relacionada ao uso da terra. Normalmente, metais em solos florestais são mais facilmente mobilizados, como, por exemplo, biodisponíveis e lixiviados, do que metais em solos agrícolas. Isto está diretamente relacionado à maior acidez dos solos e a uma maior presença de baixo peso molecular de substâncias orgânicas em solos florestais do que em solos aráveis (Kabata-Pendias, 2001).

No Instituto de Química de São Carlos (IQSC), na Universidade de São Paulo (USP), uma pesquisa realizada pelo químico Leandro Antunes Mendes mostrou que a vermicompostagem é eficaz para remediar solos contaminados por cromo, cobre e chumbo. Segundo Mendes (2012), os testes mostraram que com o uso da vermicompostagem os metais não ficam disponíveis no meio ambiente e não ocorre à lixiviação, processo no qual a chuva carrega as substâncias para o lençol freático. Este autor realizou uma pesquisa em que foram utilizados 25% de húmus de minhoca e 75% de solo contaminado com chumbo. Com esse percentual, o pesquisador conseguiu eliminar totalmente a contaminação deste metal no solo. Os amenizantes aplicados no solo contaminado foram eficientes em diminuir a toxicidade provocado por Pb nas plantas de milho, sendo a maior eficiência obtida para os ácidos húmicos de compostagem, seguida pelo carvão vegetal e pelos ácidos húmicos comerciais (Mendes, 2012).

De acordo com o levantamento realizado sobre os tratamentos de redução da toxicidade de Pb, levando em consideração a fitorremediação e a vermicompostagem, foi possível observar que essas duas técnicas podem ser utilizadas como alternativas para a redução da contaminação de metais pesados nos solos (Uebel *et al.*, 2017). Logo, devido a sua alta reatividade, os processos e reações que envolvem a matéria orgânica do solo são importantes para se compreender o comportamento das substâncias e compostos contaminantes ou poluentes do solo, podendo apresentar um efeito benéfico ou maléfico, pois afeta o destino do chumbo no solo e nas águas (Cunha *et al.*, 2014). A complexação de chumbo pelas substâncias húmicas pode reduzir a atividade desses elementos na solução do solo, atenuando sua capacidade de produzir efeitos tóxicos ou de contaminar águas superficiais e subterrâneas. As substâncias húmicas podem também servir como transportadores de chumbo, formando complexos estáveis, porém solúveis, o que incrementa o seu transporte em águas (Meurer *et al.*, 2006 *apud* Cunha, 2014).

As reações de complexação são as mais importantes, pois afetam profundamente a geoquímica dos íons metálicos, modificando a sua solubilidade, carga e potencial redox. Essas

mudanças influenciam a biodisponibilidade, transporte e migração dos metais nos ecossistemas (Bezerra *et al.*, 2009). O esterco bovino se mostrou viável por ter apresentado excelente desenvolvimento das mudas das diferentes espécies de flores testadas em cultivo orgânico, possibilitando ao produtor ter seu próprio substrato com resíduos provenientes da propriedade rural ou mesmo descartados por áreas urbanas, aumentando sua autonomia. Ainda, o reaproveitamento de resíduos orgânicos na agricultura apresenta contribuições também ambientais, já que o descarte inadequado desses resíduos pode causar sérios problemas de contaminação do solo e da água, além de outros problemas, como o acúmulo de animais e locais para reprodução de insetos e roedores (Santos *et al.*, 2004 apud Zanello, 2016).

De acordo com Carvalho e colegas (2012), a nutrição das plantas é diretamente influenciada pela composição do substrato utilizado, com os níveis de nutrientes estando mais ou menos disponíveis e conforme maior ou menor quantidade de adubo adicionado. As plantas adubadas com esterco somente apresentaram crescimento superior quando comparadas com as que não receberam adubação (plantas controle). O esterco de curral desempenha um papel muito importante, uma vez que ele adiciona húmus e aumenta a umidade do solo. Sua composição é essencial à fertilidade e sua ação vagarosa supre as plantas gradual e constantemente de compostos orgânicos (Malavolta *et al.*, 2002 apud Carvalho *et al.*, 2012).

I.7 Racismo ambiental

Ao avaliar a caminhada das decisões judiciais e ações efetivamente realizadas para minimizar os danos causados até os dias atuais à população santo-amarense, é nítido mais um caso de Racismo Ambiental. Cabe esclarecer ao que se refere quando se fala sobre racismo institucional e ambiental. Compactuamos com o entendimento de que o racismo é um sistema que se organiza e se desenvolve por meio de estruturas políticas, práticas e normas capazes de definir oportunidades e valores para pessoas e populações a partir de sua aparência, e que atua em diferentes níveis: pessoal, interpessoal e institucional. No nível institucional, o racismo induz, mantém e condiciona a organização e ação de instituições e políticas estatais e privadas, produzindo uma hierarquia racial. Ele é capaz de gerar e legitimar condutas excludentes, mecanismo seletivo de privilégios e barreiras que vão impregnar a cultura institucional, (Carvalho, 2019), tornando-se invisíveis aos olhos daqueles que não estão sujeitos a eles ou parte da ordem “natural” das coisas, priorizando ativamente os interesses dos sujeitos

brancos e, simultaneamente, patrocinando a negligência e a deslegitimação das necessidades daqueles identificados como não-brancos (Geledés, S/D apud Carvalho, 2019).

No Brasil, assim como em outras partes do mundo, quem sofre com o racismo ambiental são as populações menos favorecidas e de baixa renda, os negros, os indígenas, os quilombolas, marisqueiras e pescadores, entre outros povos e comunidades tradicionais, que são discriminados e marginalizados pelo Estado e os capitalistas que sabem que seus empreendimentos causarão danos ao meio ambiente e à população (Araújo, 2017).

Existem pelo menos 625 conflitos relacionados à discriminação de populações e minorias étnicas pela degradação do meio ambiente em solo brasileiro – o que é conhecido como racismo ambiental. O número está no *site* Mapa de conflitos, da Fiocruz (S/D), que registra ao menos 28 casos. Porém, mais denúncias são feitas diariamente e é sabido que o número é maior, inclusive de casos não registrados. Critérios em grande parte racionalistas, economicistas e utilitaristas contribuem para sustentar uma visão biologizante e desumanizada da natureza, contribuindo para o fortalecimento da visão de mundo natural destituído de sua face social (Fernandes-Pinto, 2017).

Só no Recôncavo Baiano, na região de Santo Amaro, três casos de racismo ambiental (além do emblemático caso da Plumbum) acometem a população, que se torna mais uma vez vulnerável às ações e decisões que invalidam as necessidades e direitos à cidadania, (dentre as quais, dignidade de existência, cultura, saúde e poder exercer suas atividades de sustento), das comunidades que vivem na região. Observar Santo Amaro pela ótica do socioambientalismo, relacionando-o com a contaminação por metais pesados provocados pela Plumbum, é entender o significado de racismo ambiental. Este é o principal objetivo do presente artigo.

Carvalho (2019) descreve alguns casos ocorridos na região, onde é visível a invalidação da existência e importância das comunidades. A aquisição da Ilha de Cajaíba, em 2006, por uma empresa espanhola para a construção de um Eco Resort de luxo deflagrou a mobilização de várias comunidades remanescentes de quilombo pelo reconhecimento estatal de sua existência e de seus direitos territoriais e simbólicos sobre o arquipélago. A ilha, que ocupa um lugar singular na memória coletiva por ser um local de martírio de escravos, também tem grande importância econômica para esses grupos. Ela é fonte dos frutos que são coletados para comercialização *in natura*, na forma de polpa ou azeite, e nas imediações de Cajaíba peixes, camarões e mariscos se reproduzem (Carvalho, 2019).

A Comunidade Remanescente de Quilombo de São Bráz, distante doze quilômetros da sede do município de Santo Amaro, composta por 196 grupos familiares, que perfazem mais de 742 pessoas, pleiteia o arquipélago como parte do seu território, ainda que reconheça que o

mesmo é utilizado por outras coletividades da região (tais como Porto de Dom João e Acupe, por exemplo) e esteja disposta a compartilhar o seu uso com elas (Carvalho, 2019). A invalidação de história, da possibilidade de renda e de resistência são perpassadas pela priorização do capital e da iniciativa privada, onde as descrições acerca do empreendimento exaltam as belezas naturais e a história escravocrata do local, mas não com um viés de resistência como encarado pelas comunidades locais, e sim como um símbolo de poder elitista como era antigamente.

A Ilha de Cajaíba, além das belezas naturais, preserva sua herança cultural e histórica. Segundo informações da Bahiatursa, ainda estão em bom estado de conservação a casa grande, senzala, engenho de fábrica e as centenárias palmeiras imperiais do local. A mansão é datada de 1712, e foi a residência oficial do 3º governador geral do Brasil, Mem de Sá; do historiador e precursor do movimento bandeirante no estado, Gabriel Soares, além do Barão de Cajaíba, comandante da Sabinada, revolta liberal em favor da Independência da Bahia. (Mascarenhas, 2010).

Para os quilombolas de São Bráz, os conflitos com empreendimentos que prejudicam o meio ambiente e recursos naturais dos quais dependem para sobreviver não são recentes (Carvalho, 2019). No fim dos anos 1960, os quilombolas de São Bráz passaram a ter que conviver com a antiga INPASA (Industria de Papéis de Santo Amaro), atualmente denominada Penha Papéis e Embalagens (ainda ativa no município), fábrica de papel reciclado que se instalou nas imediações, colocando abaixo os roçados dos seus integrantes para o cultivo de bambus e despejando resíduos em maior ou menor quantidade nos afluentes próximos. Tais ações reduziram a área ocupada pelo grupo, suas atividades de subsistência (desde então não há mais espaço para as roças), assim como provocaram a morte de mariscos (Carvalho, 2019).

Assim como a COBRAC (Companhia Brasileira de Chumbo) fora instalada em local inadequado, a Penha Papéis e Embalagens também tem sua unidade industrial instalada no perímetro urbano, mais exatamente rodeada pela comunidade da Pitanga e pelo Assentamento El Dourado do Movimento Sem Terra. Em entrevista com esta comunidade, as frases mais ouvidas eram como a indústria acabou com o manguezal. Porém, ainda observando a situação desta comunidade, não só a fábrica degradou o ecossistema, como a falta de assistência do poder público, onde apenas algumas casas possuem saneamento básico adequado, pois os resíduos domésticos, juntamente com lixo, são direcionados ao mangue.

Contemporaneamente, a Prefeitura Municipal de Santo Amaro alugava um terreno próximo aos mangues da comunidade de São Bráz para servir de depósito de lixo. O chorume, produto da decomposição do lixo, não se restringe à propriedade locada, contaminando lençóis freáticos e as terras do entorno. Conforme apontado por Carvalho (2019), citando Carvalho e Schultz (2014), os conflitos envolvendo lixões e aterros sanitários são casos clássicos de

racismo ambiental, uma vez que sua alocação elege áreas majoritariamente habitadas por grupos étnico-raciais vulneráveis e de baixa renda. Atualmente, o lixão foi interditado por decisão do Ministério Público e a atual gestão, por meio da Secretaria de Agricultura, Meio Ambiente, Pesca e Recursos hídricos, dedica-se às compensações ambientais, onde um grupo de pessoas que retirava seu sustento de matérias residuais encontrados do lixão está sendo organizado como Cooperativa de Catadores de Recicláveis, ainda em processo de registro judicial.

Araújo (2017), destaca o desleixo como são tratadas essas pessoas, bem como a ausência de políticas direcionadas para mitigar a situação. A cidadania e os direitos dessas pessoas são vilipendiados, resumindo-se a um sofrimento contínuo e solitário. Fica evidente o descaso das autoridades que não adotaram nenhuma providência para resolver os problemas causados pela contaminação do chumbo. Falta humanização e sensibilidade. A desassistência é completa em relação às vítimas, que até hoje não foram indenizadas e sofrem com as enfermidades provocadas pela contaminação. Existe no município a Associação das Vítimas da Contaminação por Chumbo, Cádmiio, Mercúrio e outros Elementos Químicos (AVICCA), porém a inércia dos gestores públicos é notada pela falta de propostas para sanar essa gravíssima situação, que já existe há mais de meio século, atingindo a população, principalmente os moradores de menor poder aquisitivo, que moram na periferia, e os ex-funcionários da fábrica. Esse fato se caracteriza como preconceito ambiental e discriminação para com essa população, que na sua maioria é negra e pobre (Araújo, 2017).

Em entrevista com o presidente da AVICCA, e ex-funcionário da COBRAC, Pelé (Adailson Pereira Moura) destaca a postura do grupo gestor da empresa, identificando como insalubres as condições de trabalho, onde os funcionários que estavam na linha de produção não tinham proteção ideal para trabalhar com tais materiais, mesmo em horário de suas refeições eles eram expostos aos resíduos dos materiais fabricados. Vale destacar que todos os cargos de chefia eram de pessoas da cor branca e toda a linha de trabalhadores era de negros e mestiços. Ouvia-se dizer que havia uma “preferência” por este perfil de trabalhadores, por supostamente “aguentarem o tranco”, o que reafirma o perfil racista da empresa em relação à população local. Em laudo pericial, subscrito pelo assistente técnico que a PLUMBUM indicou para acompanhar a perícia judicial em questão, foi reconhecido que sobre um total de 4,95 kg/h de cádmio 3,25 Kg/h vão para curso d’água do Rio Subaé e 1,70 Kg/h vai para a atmosfera. Consequentemente, podemos avaliar que 1/3 do cádmio é rejeitado para a atmosfera e 2/3 para as águas (Almeida Neto; Imbassahy, 2009).

De acordo com o relatório das inspeções realizadas na empresa PLUMBUM MINERAÇÃO E METALURGIA S/A em Santo Amaro elaborado por médicos da Delegacia Regional do Trabalho:

- 1-Foi concluído que, foi constituído um grave problema de saúde pública a contaminação comprovada por chumbo de etiologia ocupacional, dos trabalhadores da empresa, sobretudo aqueles envolvidos nas atividades de produção e manutenção.
- 2-As avaliações ambientais realizadas pela empresa, mesmo que com a inadequada metodologia de quantificação registra uma grave contaminação ambiental pelo metal.
- 3- É urgente a adoção de medidas de proteção do ambiente de trabalho na empresa.
- 4-É necessário o afastamento imediato, a comunicação e o encaminhamento aos setores competentes da assistência médica e Previdência Social, de todos os trabalhadores com suspeita de agravos causados por chumbo e/ou cádmio para uma conduta médica pelas alterações psíquicas e orgânicas, inclusive irreversíveis causadas pelos metais [...]. (Almeida Neto; Imbassahy, 2009).

Diante disso, analisa-se como as condições de subalternidade e vulnerabilidade já impostas neste contexto social, que incidem sobre o reconhecimento de ações genocidas e exploratórias como estas, como pode ser lido no trecho abaixo, extraído de artigo publicado sobre a contaminação e a feira livre da cidade:

A manga, a goiaba, a gente não podia chupar. Fruto nenhum que desse ali por aquela região a gente não podia usar. Mas mentira que continuava chupando manga, comendo goiaba, chupando cana e tudo mais, porque comia e não tinha nada. (Carmem, 66 anos *in* Almeida; Pena, 2011, p. 11).

Comportamentos como os relatados acima resultam na falta de conscientização acerca da problemática sobre o modo como o fechamento da fábrica foi gerido de maneira incorreta, levando à contaminação gravíssima no município de Santo Amaro. A população, além de ter seu solo contaminado de maneira direta e indireta, sofre perenemente, pois parte da cidade foi pavimentada com o refugo do metal em um consórcio da prefeitura com a fábrica, aumentando ainda mais o grau de contaminação por metais pesados na localidade, a exemplo da escória sob o calçamento da Av. Ruy Barbosa. Por essa razão, o município de Santo Amaro foi identificado pelo Ministério da Saúde do Brasil como uma das áreas prioritárias para a vigilância ambiental relacionada com solos contaminados no país (Niemeyer *et al.*, 2007). Como consequência da exposição aos contaminantes químicos, gera-se um círculo vicioso entre carência alimentar, degradação ambiental, receios e insegurança agravando a situação de pobreza e fome para as famílias dependentes do rio, do mar e do mangue, além do solo já citado, mantendo-as cada vez mais distantes da possibilidade de equidade social (Barreto, 2015).

Baseando-se nas práticas conhecidas dos agricultores familiares e dos grupos vulneráveis da comunidade Santoamarense, este trabalho tem como objetivo comparar o desempenho de três espécies com potencial fitorremediador (*Canna indica*, *Heliconia*

psittacorum e *Impatiens walleraina*), segundo condições de manejo de tratamento do solo e práticas agrícolas de agricultores familiares de Santo Amaro -Ba , analisando-se seu desenvolvimento, a fim de contribuir para uma produção segura visando ao cultivo de plantas ornamentais .

Referências

ACHIBA, W. B. et al. Effects of 5-year application of municipal solid waste compost on the distribution and mobility of heavy metals in a Tunisian calcareous soil. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, [s.l.], v. 130, n. 3-4, p.156-163, abr. 2009

ALI, H.; KHAN, E.; SAJAD, M. A. Phytoremediation of heavy metals-- concepts and applications. *Chemosphere*, v. 91, n. 7, p. 869-881, 2013.

ALLOWAY, B.J. **Heavy metals in soils**. 3. ed. Springer Science+Business, 2013.

ALMEIDA NETO, Wilson Rocha; IMBASSAHY, Adriana. **Plumbum Santo Amaro**. Ministério Público do Estado da Bahia. junho de 2009.

ALMEIDA, M. D.; PENA, P. G. L. Feira livre e risco de contaminação alimentar: estudo de abordagem etnográfica em Santo Amaro, Bahia. **Revista Baiana de Saúde Pública**, v. 35, n. 1,2011, p. 110-127.

ALMEIDA, R. **Fitoextração de metais pesados em solo contaminado por escória de minério de chumbo, no município de Santo Amaro – Ba**. Dissertação (Mestrado), Faculdade Maria Milza, Governador Mangabeira, 2018.

ANDRADE, M. G., MELO, V. F., GABARDO, J., Souza, L. C. P., REISSMANN, C. B. Metais pesados em solos de área de mineração e metalurgia de chumbo. I - Fitoextração. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 33(6),2009, p. 1879-1888.

ANJOS, José Ângelo Sebastião Araújo dos; SANCHEZ, Luis Enrique. **Plano de Gestão ambiental para sítios contaminados com resíduos industriais: o caso da Plumbum em Santo Amaro da Purificação - BA**. In: Bahia Análise & Dados, Salvador/BA, v.10 n. 4 p.306-309, mar. 2001.

ASEVEDO, Ladyanne Pinheiro. **Mapeamento Geoquímico de solo Contaminado por Metais (Pb, Zn, As e Cu), Santo Amaro da Purificação, Bahia.** Tese de mestrado. em Solos e Qualidade pelo Programa de Pós Graduação em Solos e Qualidade de Ecossistemas. Cruz das Almas 2012.

ASSUNÇÃO, S. J. R. **Seleção de plantas para fitorremediação de chumbo, cádmio e zinco de uma área contaminada na bacia do rio Subaé.** 2012. Tese (Mestrado) -Universidade Federal do Recôncavo Baiano, Cruz das Almas, 2012.

BALDRIAN, P. Effect of Heavy Metals on Saprotrophic Soil Fungi. In:____. **Soil Heavy Metals. Noida:Springer**, 2010.cap.12, p. 263-279, v.19.

BARRETO, Mércia Ferreira. **Segurança Alimentar e Nutricional e contaminação ambiental em uma comunidade de marisqueiras do município de Santo Amaro, Bahia.** Dissertação(mestrado)-Universidade Federal da Bahia, Salvador,2015.118p

BARROSO et al , 2023. Phytoremediation: A green and low-cost technology to remediate herbicides in the environment. **Chemosphere**

BEZZERA, Paulo Sérgio Silva; TAKIYAMA, Luís Roberto; BEZERRA, Cícero, Wellington Brito. Complexação de íons de metais por matéria orgânica dissolvida: modelagem e aplicação em sistemas reais. **Acta Amazonica**. V.39(3), 2009. p .639 - 648

BIZARRO, Veridiana Gonçalves. Teor e Biodisponibilidade de Cádmio em fertilizantes fosfatados. Dissertação(mestrado)-Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2007, 77p.

BOFFE, Panthy Michelle; CALEGARI, Rubens Perez; SOUZA, Daiane C. R. de; CONCEIÇÃO, Priscila Soraia da; SZYMCZAK, Denise Andreia; TESSARO, Dinéia. Potencial fitoextrator da espécie vegetal *Helianthus annuus* l. em solo contaminado por chumbo. **Revista ESPACIOS**. V. 38, n. 9, 2017.

BOSE, Sutapa; JAIN, Anshul; RAI, Vivek; RAMANATHAN, A.L. Fracionamento químico e translocação de metais pesados em *Canna Indica* L. cultivado em solo corrigido de resíduos industriais. **Journal of Hazardous Materials**. V. 160, ed 1, 2008. p. 187-193.

BOSSO, Sergio Tagliaferri; ENZWEILER, Jacinta. Ensaio para determinar a (bio) disponibilidade de chumbo em solos contaminados: revisão. **Química Nova**, v. 31, p. 394-400, 2008.

BRASIL. Ministerio da Saude;Secretaria Municipal de Saúde de Santo Amaro;Secretaria de Saúde do Estado da Bahia. **PROTOCOLO DE VIGILÂNCIA E ATENÇÃO À SAÚDE DA POPULAÇÃO EXPOSTA AO CHUMBO, CÁDMIO, COBRE E ZINCO EM SANTO AMARO, BAHIA**. 2003.

BRASIL. Política Nacional da Agricultura Familiar e Empreendimentos Familiares Rurais.LEI Nº 11.326, DE 24 DE JULHO DE 2006.

CÂMARA, Gil Miguel de Souza. **A cultura do Girassol**. USP- Universidade de São Paulo. Piracicaba - SP Junho de 2012.

CAMPOS, V. et al. Disturbance response indicators of *Impatiens walleriana* exposed to benzene and chromium. **International Journal of Phytoremediation**, v. 19, n. 8, p. 709-717, 2017.

CARVALHO, Ana Paula Comin de. Comunidades Remanescentes de Quilombo na Bahia: conflitos territoriais e articulações identitárias. In: OLIVEIRA, Rosy et al (Orgs). **Territorialidades negras em questão: conflitos, lutas por direitos e reconhecimento**. Editora UFRB/FT/MC&G Editorial, Brasília, 2019

CASTRO, Carlos Eduardo Ferreira de; GONÇALVES, Charleston; MOREIRA, Silvia Rocha;FARIA,Otavio Augusto. Helicônias brasileiras: características, ocorrência e usos. **Revista Brasileira de Horticultura Ornamental**. V. 17, N.1, 2011. p. 5.

CETEM-Centro de Tecnologia Minera. Projeto Santo Amaro – BA: aglutinando ideias, construindo soluções –diagnósticos

Francisco Rego Chaves Fernandes, Luiz Carlos Bertolino (coordenadores), Silvia Egler Rio de Janeiro, 2º ed. 2012

CETESB – Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. Relatório de Estabelecimento de Valores Orientadores para Solos e Águas Subterrâneas no Estado de São Paulo. DOROTHY C.P.CASARINI et al., São Paulo: CETESB, (Série Relatórios Ambientais). 2001. 73p.

CHANDRA, Ram; DUBEY, NK; KUMAR, Vineet. **Phytoremediation of Environmental Pollutants** CRC Press, Taylor & Francis Group: Boca Raton (2018), 510 Pages.

CHARY, N.S; KAMALA, C.T; RAJ SUMAN SAMUEL, D. Assessing Risk of Heavy Metals from Consuming Food Grow on Sewage Irrigated Soils and Food Chain Transfer. *Ecotoxicology and Environmental Safety*. v.69, p. 513-524. 2007.

CHAVES, Lucia Helena Garófalo *et al.* Crescimento, distribuição e acúmulo de cobre e zinco em plantas de pinhão-manso1. **Revista Ciência Agronômica**, v. 41, n. 2, p. 167-176, abr-jun, 2010

chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://www.saude.ba.gov.br/wp-content/uploads/2017/08/Clipping_Chumbo_2013.pdf

CUNHA, C. S. M. Dinâmica do Chumbo no ambiente terrestre. **ACSA – Agropecuária Científica no Semi-Árido**, v.10, n.3,2014. p.01-10.

ESRINGÜ, Aslihan et al. Effect of humic and fulvic acid application on growth parameters in *Impatiens walleriana* L. **Akademik Ziraat Dergisi**, v. 4, n. 1, p. 37-42, 2015. FIRPO, M. BA – **Indústria e mineração de chumbo contaminam a água, o solo, afetam a produtividade agrícola, a saúde e a qualidade de vida da população de Santo Amaro da Purificação**. Neepes/ENSP/Fiocruz. 2014..

FLEURY, L. C.; ALMEIDA, J. Populações tradicionais e conservação ambiental: uma contribuição da teoria social. **Revista Brasileira de Agroecologia**, v. 2, n. 3, 2007.p. 3-19.

FONTE-BOA, T. M. R. **Recursos minerais de Minas Gerais – Níquel e Cobalto**. pp. 1-26, 2018.

GOMES, Ivair. Sustentabilidade social e ambiental na agricultura familiar. **Revista de biologia e ciências da terra**, v. 5, n. 1, p. 0, 2005.

Grosso e Rondônia. 2011. 101 p. Dissertação (Mestrado)-Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”.

GUIMARÃES, Marcelo de A., SANTANA, Tessio A. de et al. Toxicidade e tolerância ao cádmio em plantas. **Revista Trópica – Ciências Agrárias e Biológicas** n. 3, v. 1,2008 p. 58.

GÜLLICH; Roque Ismael da Costa.**Reflexões acerca da etnobiologia e etnoecologia no Brasil**. Ponta Grossa,PR: Atena Editora, 2019 .

HERCULANO, S. **O Clamor por Justiça Ambiental e Contra o Racismo Ambiental**. , p. 1–20, 2006.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. IBGE Cidades. IBGE, 2021

KABATA-PENDIAS, A; PENDIAS, H. **Trace Elements in Soils and Plants**. 3.ed. Florida: CRC press, 2001. 432 p.

LAYRARGUES, P. P. **Educação para a gestão ambiental: A cidadania no enfrentamento político dos conflitos socioambientais**. In C. F. Loureiro, P. P. Layrargues & R. S. Castro (Orgs.), *Sociedade e meio ambiente: A educação ambiental em debate* .2000. p. 87-155. São Paulo.

Leal, M. F. C., Mendonça, T. M. B., & Guilherme, L. R. G. Metais pesados no solo: efeitos, transferência e remediação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, 20(9),2016,p 778-784.

LYRIO, A.; GARRIDO, Y. Anos de chumbo: contaminados contam como vivem hoje em Santo Amaro. **Correio da Bahia**, 2019a.

LYRIO, A.; GARRIDO, Y. Santo-amarenses assustados ao saber que a cidade ainda é latamente contaminada por chumbo. **Correio da Bahia**, 2019b.

MACHADO, Sandro Lemos; RIBEIRO, Laelson Dourado; KIPERSTOK, Asher; BOTELHO, Marco Antônio Barsotelli ;CARVALHO , Miriam de Fátima. Diagnostico da contaminação por metais pesados em Santo Amaro Ba. **Engenharia sanitária e ambiental**. Vol. 9 , n. 2 ,2004. p. 140-155.

MAGNA, G. A. M. **Análise da exposição por cádmio e chumbo presente em alimentos vegetais e gramíneas no município de Santo Amaro-BA: caso passivo ambiental da COBRAC**. 2011. Dissertação (mestrado) - Escola Politécnica, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2011.

MASCARENHAS, Marcos. **Ilha de Cajaíba beach & ILHA DE CAJAÍBA BEACH & Golf Resort – O mais novo complexo turístico da Bahia**. Blog Gestor imobiliário. julho, 2010.

MATTA e ANDRADE, J.C.;TAVARES, S.R.L.; MAHLER, C.F. **Fitorremediação: o uso de plantas na melhoria da qualidade ambiental**. São Paulo: Oficina de textos, 2007,175p.

MENDES, L, A. **Estudo para utilização de vermicomposto com vistas à remediação de solos contaminados com cromo, cobre e chumbo.** 2012. Dissertação (Mestrado em Química Analítica e Inorgânica) - Instituto de Química de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2012.

MENDES, Maria estela Ribeiro. **A fitorremediação como estratégia de projeto para sustentabilidade urbana.** Dissertação (mestrado)-UNICAMP. Campinas, 2018, 216 p.

NIEMEYER, J. C.; SILVA, E. M. da ; SOUZA, J. P. SOUSA. Desenvolvimento de um Esquema para Avaliação de Risco Ecológico em Ambientes Tropicais: Estudo de Caso da Contaminação por Metais em Santo Amaro da Purificação, Bahia, Brasil. **J. Braz. Soc. Ecotoxicol.**, v. 2, n. 3, 2007.p. 263-267.

NIEMEYER, J. C.; EGLER, S.; SILVA, E. M. **Avaliações ecológicas e ecotoxicológicas relacionadas ao caso da Plumbum em Santo Amaro (BA).** Rio de Janeiro: Centro de Tecnologia Mineral, 2012.

NUCOM, DIVAST. Clipping noticia on line: Chumbo. Governo do Estado da Bahia. 2013.

OLIVEIRA, Fernando Kidelmar Dantas. **Potencial de espécies Vegetais à Fitorremediação do Solo contaminado com Cobre.** Tese :doutorado. UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA. Areia, PB Agosto de 2018.

PEÑA-SALAMANCA, EJ; MADERA-PARRA, CA; SANCHE, JM Sánchez; MEDINA-VÁSQUEZ, J. Bioprospeção de plantas nativas para uso em processos de biorremediação: caso Heliconia psittacorum (Heliconiaceae). **Rev. Acad. Colomb. Ciência.** 37 (145): 469-481, 2013 .

PEREIRA, Dercio Ceri; NETO, Alfredo Wilsen; NÓBREGA, Lúcia Helena Pereira. Adubação orgânica e algumas aplicações agrícolas. **Revista Varia Scientia Agrárias** v. 03, n.02 ,2013. p. 159-174.

PINHEIRO, M. B. **Plantas para infraestrutura verde e o papel da vegetação no tratamento das águas urbanas de São Paulo:** identificação de critérios para seleção de espécies. 2017. Dissertação (Mestrado) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2017.

POÇAS, Cristiane Dias et al. Panorama das macrófitas e substratos aplicados nos jardins filtrantes no Brasil. In: 3º SIMPÓSIO BRASILEIRO SOBRE WETLANDS CONSTRUÍDOS 2017, Campo Grande, MS, Brasil. Anais... . In: 3º SIMPÓSIO BRASILEIRO SOBRE WETLANDS CONSTRUÍDOS. Campo Grande, MS, Brasil: Wetlands Brasil, 2017.

RIBEIRO, S. P. **Efeito do cádmio, chumbo e zinco em epidídimo de ratos Wistar**. 2013. Tese (*Manister Scientiae*), Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2013. 67 p.

RIBEIRO, Maria Luíza Ribeiro; RIBEIRO, Viraldo Barbosa ; PAIXÃO, Ivanete Paixão. **Banguê**. O município de Santo Amaro; Engenho Centrais ; Ferrovias Santo Amaro; Jacú/Ramal Catuiçara; Mapa. Número 05, Edição 01 – Sítio Inhatá, 16 a 30 de outubro 2001

ROCHA, E. G. *et al.* Uso de jardins flutuantes na remediação de águas superficiais urbanas poluídas. **Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais**, v. 9, n. 7, p. 98-109, 2018

ROSA, Giselle Smocking. **Avaliação do Potencial de Espécies Vegetais na Fitorremediação de Solos Contaminados por Petróleo**. 2006. Dissertação (Mestrado.) Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2006. 144 p.

ROSÁRIO, Fábio Silva do. **Eficiência do sistema antioxidante em plantas jovens de Paricá (*Schizolobium amazonicum* Huber ex Ducke) submetidas à diferentes doses de níquel**. 58 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais/Ecologia e Ecofisiologia de Árvores) - Universidade Federal Rural da Amazônia, Belém, 2022.

SANTANA, Denilson Conceição. **A Rainha do Recôncavo, História do Engenho do Conde**. Editora: Faz de Conta. 2015 .5º Ed, 40 p.

SANTOS, M. C. B. *et al.* Avaliação da toxicidade e comportamento geoquímico do chumbo em solos contaminados de Santo Amaro da Purificação (BA) após atenuação por fósforo. **Rev. Virtual Quim.**, v. 9, n. 5, 2017, p. 2135-2150.

SANTOS, Nielson Machado, *et al.* Ácidos Húmicos e carvão vegetal ativado como amenizantes em Solo Contaminado por Chumbo. **R. Bras. Ci. Solo**, 38:345-351, 2014

SANTOS, S. N. **Valores de referência de metais pesados em solos de Mato**.

SANTOS, T. C. *et al.* Fitorremediação: avaliação do potencial de recuperação em solos contaminados com metais pesados. **Enciclopédia Biosfera**, v. 7, n. 12, 2011.

SANTOS,Aldeneidiane Santana dos ;ANJOS, José Ângelo Sebastião Araújo dos. Evolução da contaminação do solo por metais tóxicos: o caso da Plumbum Mineração e Metalurgia Ltda, Santo Amaro, Bahia, Brasil. **Revista do Instituto de Geociências - USP Geol. USP**, Sér. cient., São Paulo, v. 22, n. 1, p. 110-123, Março 2022

SANTOS,Fabiana Soares dos;SOBRINHO,Nelson Moura Brasil do Amaral;MAZUR,Nelson ;GARBISU,Carlos; OIHANA, Carlos,BARRUTIA,Oihana;BECERRIL, José MariA. Resposta antioxidante, formação de fitoquelatinas e composição de pigmentos fotoprotetores em *Brachiaria decumbens* Stapf submetida à contaminação com Cd e Zn. **Quim. Nova**, Vol. 34, No. 1, 16-20, 2011.

SANTOS,Tayane Lopes. **Conflitos e enfretamentos no território de São Braz, Recôcavo Baiano: Perspectiva da Gestão Costeira Promovida pela Comunidade**. Tese: grau de Bacharel em Oceanografia. Universidade Federal da Bahia. SALVADOR 2019 .105 pág.
SANTOS. Jorge Antônio Gonzaga. **Recuperação e reabilitação de áreas degradadas pela mineração**. Cruz das Almas, BA: UFRB, 2017. 44p.

SCHIEDECK, G.; GONÇALVES, M. de M.; SCHWENGBER, J. E. Minhocultura e produção de húmus para a agricultura familiar.**Circular Técnica**. Embrapa Clima Temperado-Circular Técnica, Pelotas ,2006.

SCHIFER, T. S.; BOGUZ JUNIOR, S.; MONTANO, M. A. E. Aspectos toxicológicos do chumbo. **Revista Infarma**, v.17, n. 5/6, 2005.

SECRETARIA MUNICIPAL DE AGRICULTURA, PESCA, MEIO AMBIENTE E RECURSOS HIDRICOS. **Plano Municipal de Assistência e extensão rural plater**..SANTO AMARO,JULHO ,2021.

SILVA, M. S.; SOUZA, S. N.; LENZI, E.; LUCHESE, E. B. Comportamento do chumbo em solo argiloso tratado com lodo de esgoto contaminado e sua absorção pelas plantas. **Acta Scientiarum**, v. 21, n. 4,1999. p. 757-762.

SILVA,Rodrigo Ferreira;SAIDELLES, Fábio Luiz Fleig;SILVA, Alessandro Salles ;BOLZAN,Juan Silveira. Influência da contaminação do solo por Cobre no crescimento e qualidade de mudas Açoita-cavalo (*Luehea divaricata* Mart. & Zucc.) e Aroeira vermelha

(*Schinus terebinthifolius* Raddi). **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 21, n. 1, p. 111-118, jan.-mar., 2011.

SILVA, Tiago José. **Fitorremediação em escala piloto: Proposta para recuperação de solos contaminados com Cobre e Zinco**. Tese: mestrado. UNESP. Sorocaba 2016

SOBRAL, Maria Carolina de Almeida; SILVA, Wellington Ferrari da Silva. NÍQUEL NA AGRICULTURA: uma revisão de literatura. **Revista Agroveterinária, Negócios e Tecnologias, Coromandel**, v. 6, n. 2, p. 50-59, jul/dez. 2021

SOBRAL, Maria Carolina de Almeida; SILVA, Wellington Ferrari. SOUZA, Keila Valente; LIMA, Maria de Fátima das D. dos Santos. Passivos socioambientais da minerometalurgia do chumbo em Santo Amaro (BA), Boquira (BA), Vale do Ribeira (PR) e Mauá da Serra (PR). **PROJETO SANTO AMARO BA aglutinando ideias, construindo soluções**. 2 ed. p.19, 2012.

SOUZA, Tamara Daiane. **Otimização do processo de fitorremediação de águas contaminadas com arsênio**. Tese: Doutorado. UFV. Viçosa, MG, 2016.

SOUZA, Édio. **Bondinho da Saudade**. Ed. Futura scanner. Salvador, Bahia. 1992.

UEBEL, Alana et al. PROCESSOS DE REMEDIAÇÃO DO SOLO CONTAMINADO COM CHUMBO. **Caderno pedagógico**, Lajeado, v. 14, n. 1, p. 63-71, 2017.

VIRGA, et al. Avaliação de contaminação por metais pesados em amostras de siris azuis. **Food Sci. Technol** 27 (4) • Dez 2007, Volume 334, September 2023, 138943.

VOUTSA, D; GRIMANIS, A; SAMARA, C. Trace Elements in Vegetables Grow in an Industrial Area in Relation to Soil and Air Particulate Matter. **Environment Pollution**, v. 94, n 3, p. 325-335, 1996.

ZANELLO, C. A.; CARDOSO, J. C. (2016). RESÍDUOS COMPOSTADOS COMO SUBSTRATO PARA PRODUÇÃO DE PETUNIA X HYBRIDA. **Revista Brasileira De Agropecuária Sustentável**, 6(3), 2016.

I. Capítulo 1 - AGRICULTURA FAMILIAR E MANEJO DE SOLO EM SANTO AMARO, BAHIA, BRASIL

Resumo

Como forma de sustento, a agricultura familiar no município de Santo Amaro carrega características de uma população que preserva suas raízes e tradições. Duas usinas de cana-de-açúcar foram responsáveis durante muito tempo por empregar direta ou indiretamente grande parte dos moradores. Com uma população que é originalmente negra, oriunda dos povos que foram escravizados, diversas comunidades foram surgindo quando findadas as atividades das usinas, e com o passar dos anos estes agricultores se viram oprimidos pelas pressões do agronegócio e foram encurralados com limitadas fontes de renda. Desta forma, a única alternativa de manter seu sustento por meio da agricultura é a adubação orgânica que sempre foi transmitida em suas vivências como forma de melhoramento das lavouras sem afetar as suas economias. Três localidades da cidade de Santo Amaro- Ba foram visitadas para acompanhar o modo como os agricultores familiares tratam o solo e suas culturas, compreender e registrar os tratamentos aplicados. Três tipos de adubação foram citados: esterco de gado curtido, húmus de minhoca e a mistura de ambos.

Palavras-chave: Lavoura, Cultura oral, adubação orgânica, feira livre

Abstract

As a form of livelihood, family farming in the municipality of Santo Amaro bears characteristics of a population that preserves its roots and traditions. Two sugar cane plants were responsible for a long time for directly or indirectly employing a large part of the residents. With a population that is originally black, coming from people who were enslaved, several communities emerged when the activities of the plants ended, and over the years these farmers found themselves oppressed by the pressures of agribusiness and were trapped with limited sources of income. In this way, the only alternative to maintaining their livelihood through agriculture is organic fertilizer, which has always been transmitted in their experiences as a way of improving crops without affecting their economies. Three locations in the city of Santo Amaro-Ba were visited to monitor the way family farmers treat the soil and their crops, understand and record the treatments applied. Three types of fertilizer were mentioned: tanned cattle manure, earthworm humus and a mixture of both

Keywords: Farming, Oral culture, organic fertilizer, street market

1. Introdução

Com uma história ligada à agricultura, o município de Santo Amaro obteve grande sucesso econômico nos tempos da cana-de-açúcar. A história da agricultura no Recôncavo da Bahia inicia-se pela exploração dos negros pelos portugueses e os vestígios desse desenvolvimento comercial chamaram a atenção da nobreza por causa da qualidade dos produtos colhidos no solo massapé (Freire, 2004, p. 52). Entre os séculos XVI e XIX, Santo Amaro da Purificação foi um importante polo do cultivo da cana e por conta dos engenhos recebeu inúmeros homens e mulheres escravizados durante a escravidão (Alves, 2018).

A usina Passagem surgiu em meados do século XX e a usina de Paranaguá II por volta das décadas de 1980 (Alves, 2018). Essas duas usinas funcionaram empregando praticamente toda região no seu entorno, porém após a extinção da indústria Passagem, a Paranaguá II se apossou das terras e destruiu as plantações e quintais de 75 moradores, em 1975, no intuito de expulsá-los, obrigatoriamente, de suas residências (Alves, 2018).

Santo Amaro, que possui cerca de 60 mil habitantes, também apresenta diversidade nas plantações e cultivos sendo produzida uma grande quantidade de amendoim, feijão, cana-de-açúcar, mandioca e milho, além de banana-da-prata e frutas cítricas (IBGE, 2019). Possui grande extensão rural, e assentamentos de povos do Movimento dos Trabalhadores Sem Terra (MST), além de comunidades remanescentes de quilombola (Azevedo, 2019). São quatro assentamentos que possuem o título da terra e outros sete em processo de compra, mas que fazem usufruto da terra, na zona rural de Santo Amaro. Além dos assentamentos, o município agrega dez comunidades rurais, as quais possuem acesso à água e têm escolas do ensino fundamental, e alguns contam com Unidades Básicas de Saúde (Rodrigues, 2021). No entanto, nas comunidades assentadas há precariedade de equipamentos sociais, inclusive de itens básicos, como água encanada e rede de esgoto. A maioria dos moradores se abastece por meio de poços artesianos, e os sanitários são externos às casas construídas de adobe. As comunidades de maneira geral se organizam para uma produção agroecológica e orgânica e fornecem seus produtos nas feiras livres, para mercados locais e alguns grupos para os mercados institucionais do Programa Nacional de Alimentação Escolar e do Programa de Aquisição de Alimentos.

Ao relacionar as características da população local, a estruturação socioeconômica que se deu após o fim da produção de açúcar e álcool e o advento das indústrias na cidade, o desamparo que foi instituído pelo capitalismo e pelas questões de racismo faz com que estes agricultores façam uso apenas de seus conhecimentos tradicionais para manter seu sustento. A adubação orgânica é uma grande aliada da agricultura familiar e auxilia na independência de

insumos externos (Wendt, 2022) e estas práticas, de como e o que utilizar, são passadas entre os integrantes das famílias ou grupos de produção (Mascarenhas; Oliveira, 2017).

A tradição oral preserva a cultural de um povo e, por conseguinte, preserva a sua identidade e sua história. Pela tradição oral, diferentes povos expressam suas maneiras de produzir e transmitir saberes e garantir a sua existência, a preservação de suas tradições lhes garante manutenção de sua identidade e maior participação na sociedade e melhores condições na luta por direitos (Mascarenhas; Oliveira, 2017).

Santos e Garcia (2020) trazem que o modelo tal qual temos hoje de agricultura industrial e capitalista focado no agronegócio e entendendo o alimento como mercadoria, desconsidera raízes camponesas e leva ao esvaziamento do campo, além da degradação ambiental. As características do espaço de Santo Amaro não é mais o mesmo, por causa da agressão industrial, desmatamento e queimadas nos locais que deviam ser preservados (Rodrigues, 2021). Com relação às questões industriais, o sustento da população agrícola familiar está comprometido pelos processos de contaminação de solo e recursos hídricos (Silva et al., 2013; Oliveira, 2018)

Na agricultura familiar, a gestão da propriedade é compartilhada pela família e a atividade produtiva agropecuária é a principal fonte geradora de renda. O agricultor familiar tem uma relação particular com a terra, seu local de trabalho e moradia. A diversidade produtiva também é uma característica marcante desse setor, pois muitas vezes alia a produção de subsistência a uma produção destinada ao mercado (Brasil, 2006)

Os conflitos agrários ocorrem em todo município, desde a ação de latifundiários com grande poder aquisitivo que tomam posse das terras, desmatam para criação de animais, vendem ou alugam para terceiros, encurralando os pequenos agricultores, além das questões de contaminação e crimes ambientais. Criou-se o ciclo de pobreza, onde os moradores passaram a sofrer com o desenvolvimento do agronegócio e das indústrias que perduram até os tempos atuais (Alves, 2018). Este trabalho tem como objetivo compreender a relação da população agrícola de Santo Amaro com o solo contaminado por chumbo e cádmio; e identificar as técnicas locais de tratamento e enriquecimento do solo cultivado com os contaminantes presentes;

2. Material e Métodos

2.1 Área de estudo

Santo Amaro está localizada no Recôncavo Baiano, a cerca de 80 km da capital, Salvador, latitude 12° 34' 23" Sul e longitude: 38° 42' 53" Oeste. A cidade possui cerca de 60 mil habitantes, sendo dividida entre sede e distrito, sendo cadastrados cerca de 47 distritos e localidades rurais, com registro na SEAGRI e 706 agricultores familiares (Santo Amaro, 2021).

Jericó pertence a cidade de Santo Amaro, está localizado a cerca de 792,60 m de distância das ruínas da COBRAC, latitude de 12°31'58.9" S e 38°43'58.2 O; a comunidade do Jericó foi uma das áreas mais afetadas pela contaminação dos materiais tóxicos tanto pela proximidade com a COBRAC como pela geografia do local. Formada por agricultores familiares e coletores frutas e tiririca (*Cyperus rotundus*). A coleta de Tiririca foi descrita como maior fonte de renda destes moradores, deslocando-se para outras regiões mais distantes (como foi descrito a entrada da cidade de São Francisco do Conde na época da coleta).

Assentamento Paulo Cunha I situa-se nas coordenadas 12°31'25.5 S e 38°42'04.6" O Paulo Cunha está subdividida em dois polos: Paulo Cunha I (com 100 agricultores familiares assentados) e Paulo Cunha II (70 agricultores familiares assentados). São pertencentes ao MST, com uma escola construída em cada polo (interditada por más condições do prédio), não possuem estradas asfaltadas e postos de saúde; vivem basicamente de suas lavouras orgânicas e moradias precárias.

O mercado municipal está localizado no centro da cidade, no logradouro Rua das Flores, nas coordenadas 12°33'00.0" S 38°42'26.9" O. Estão reunidos no mercado municipal agricultores familiares e vendedores de todas as localidades e distritos do município. Também marisqueiros, pescadores, vendedores de carne, plantas ornamentais e ervas medicinais. (Motta *et al.*, 2017; Amorin, 2022; Google Maps).

2.2 Aspectos éticos

A realização dessa pesquisa foi aprovada pelo Comitê de Ética em Pesquisa com Seres Humanos da Universidade Estadual de Feira de Santana. As coletas de dados ocorreram no período de janeiro a maio de 2022, visitando-se moradores nas comunidades de Jericó e Assentamento do MST Paulo Cunha I, além do mercado municipal. Os entrevistados assinaram

o Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE) de acordo com obrigações éticas e legais (Conselho Nacional de Saúde, Resolução nº 466/2012).

2.3 Coleta dos dados etnoecológicos

Foram aplicadas entrevistas abertas (conversações livres) e semiestruturadas (baseadas em uma lista de tópicos previamente escolhidos; ver Anexo II) de acordo com metodologia de Queiroz (1988), bem como por meio de observações comportamentais através de visitas às propriedades e localidades do município de Santo Amaro, Bahia. As perguntas contidas na entrevista semiestruturada estavam centralizadas em dados socioeconômicos, práticas de manejo de solo e atividades agrícolas. O TCLE (Apêndice I) foi lido, explicado e assinado pelos residentes ao início de cada entrevista, de acordo com Resolução nº 466/2012.

Foram visitados, no período de janeiro a junho de 2022 duas localidades: assentamento Paulo Cunha I e a comunidade Jericó, bairro localizado a cerca 800 metros da antiga COBRAC, e o mercado municipal, onde agricultores familiares de todos o município de Santo Amaro (sede e distritos) vêm durante a semana comercializar seus produtos, desde frutas, verduras, legumes, hortaliças e produtos manufaturados (imagens nos Anexos).

3. Resultados e Discussões

O primeiro local visitado foi o mercado municipal onde se reúnem cerca de 223 feirantes e é dividido em regiões distintas: praça principal e seu entorno, com vendedores de produtos agrícolas: frutas, verduras, hortaliças e outras folhagens (Figura 6); à margem do rio, localizado à direita da praça, estão vendedores de frutos do mar e carnes e peixes, e no local coberto encontra-se o mercado da farinha.

Dos 60 vendedores de produtos agrícolas, metade vem todos os dias para vender seus produtos, porém os que possuem as maiores barracas, com maior variedade de produtos (incluindo produtos que não são cultivados no solo da cidade, como o tomate), compram suas mercadorias diretamente da CEASA.

Dos 20 entrevistados mais frequentes no mercado, pois muitos só montam suas barracas entre um a três dias na semana, sendo segunda-feira, quarta -feira e sábado os dias relatados de maior movimento. Estes possuem barracas menores ou carrinhos: oito responderam que traziam suas mercadorias da Ceasa, pois por falta de recursos financeiros não tem local próprio para cultivo e para a manutenção do mesmo; oito relataram que possuem terra para plantio e realizam

seu manejo de solo com adubação natural orgânica (esterco de gado, de galinhas e restos de frutas, verduras e folhagens); quatro relataram possuírem terras, mas não realizavam nenhum tratamento na mesma. Os demais feirantes se recusaram a responder o questionário por insatisfação com as ações públicas das gestões anteriores ou por não estarem presentes no dia em que se realizou a visita.

Figura 6: Movimentação de comercio de frutas na feira municipal de Santo Amaro, Bahia.



O segundo local visitado foi o Assentamento do MST, denominado Assentamento Paulo Cunha, subdivididos em dois núcleos: Paulo Cunha I e II. No primeiro estão assentados cerca de 100 agricultores familiares e no segundo, 70 agricultores (Figura 7). Foram entrevistadas 25 pessoas na localidade do Paulo Cunha I¹. As famílias de agricultores possuem em média 24 tarefas de terra para cultivo, em áreas separadas de suas residências, além de quintais produtivos, áreas no entorno de suas casas, onde eles declaram que o MST aconselha o não uso de fertilizantes e defensivos agrícolas em suas lavouras (fato este relatado como norma pelos agricultores entrevistados).

Por conta de muitos não terem maior poder aquisitivo, a adubação de suas lavouras não é realizada, pois eles também descrevem que o solo da região, Massapê, “é solo forte e dá de tudo”. Todos os entrevistados afirmaram que realizavam então em pequena escala, nos quintais

¹ O baixo número de entrevistados no Assentamento Paulo Cunha se deu pelo fato de as entrevistas só terem sido realizadas na unidade I, pois o acesso à unidade II foi impossibilitado pelas péssimas condições da estrada que não possui pavimentação. Os outros agricultores não estavam na localidade ou estavam em distâncias de difícil acesso dentro da unidade.

produtivos, a adubação orgânica (esterco de gado e restos de folhagens, frutas e verduras) em suas plantações nas proximidades de suas residências. Algumas frutíferas, como laranja, jambo e limão; algumas hortaliças como couve, coentro e alface, e alguns mandiocais foram observados.

Figura 7: Plantação de mandioca e quiabo em propriedade de agricultura familiar, assentamento do MST Paulo Cunha I.(jan de 2022)



O esterco de aves também foi citado, mas com baixa frequência: apenas oito pessoas de todas as localidades entrevistadas afirmaram utilizá-lo em suas lavouras.

Figura 8: Entrevista na residência de dona Dora e outros agricultores familiares no assentamento Paulo Cunha I.



Na comunidade de Jericó foram entrevistados 15 moradores, dos quais apenas sete possuem terreno para cultivo e não realizam adubação, com a mesma justificativa dos agricultores do Paulo Cunha I (solo classificado como “forte”. Cinco realizam plantio em seus quintais produtivos (Figura 9) e três não possuem área para produção.

De acordo com Pasa (2004) a produção nos quintais conserva não só os recursos vegetais como também a riqueza cultural, fundamentada no saber e na cultura dos moradores locais, a preservação das espécies, a diversidade dos quintais, mas também contribui para troca e propagação do conhecimento sobre plantas medicinais entre famílias, comunidades preservando assim o conhecimento tradicional

Até hoje esses saberes são repassados de geração a geração pelo povo de comunidades tradicionais em geral através da tradição oral e do acúmulo de saberes específicos de cada região. Os conhecimentos tradicionais das espécies medicinais apresentam informações de valores inestimáveis sobre sua função em agroecossistemas sustentáveis, pois respeitam a complexidade e fragilidade dos ecossistemas (Gadgil *et al.* 1993; Albuquerque, 1999), como por exemplo técnicas, práticas de manejo e cultivo que são realizadas por populações tradicionais (Menezes, 2013).

O modo de manejo de solo relatado pelos entrevistados aqui nas localidades visitas é descrita sempre com o aprendizado com os mais velhos; também observado por Fernandes (2020) onde cita que é nesta cotidianidade que o trabalhador percebe e, na medida do possível, favorece a transposição de um conhecimento adquirido da relação com os mais velhos e da própria vivência. O conhecimento referente ao manejo do solo advém de um conjunto de tradições e saberes herdados, norteiam a melhor forma de manipular a terra conforme a experiência repassada de pai para filho, o que se pode evidenciar no estudo em questão onde 80% dos entrevistados relatados que o aprendizado foi herdado dos pais e avós e essa prática em suas vidas são marcadas desde a infância à fase adulta.

O saber tradicional relacionado à agricultura contém informações que transcendem as mais diversas técnicas de manejo da terra, através de experiências adquiridas com o transpor das gerações, onde a subsistência é um dos fatores determinantes neste meio de vida. Os modelos de cultura e conhecimento baseiam-se em processos históricos, linguísticos e culturais e, apesar de não se isolar das histórias mais amplas, retêm certa especificidade de lugar (Escobar, 2015; Fernandes, 2020), e no município de Santo Amato não foi observado nem relatado nenhuma mudança de comportamento acerca do manejo de solo relacionando com a contaminação ocasionada pela COBRAC. As características do grupo de agricultores observado por Fernandes

(2020) são semelhantes à dos agricultores familiares de Santo Amaro , inclusive a escolaridade – maior parte possui apenas ensino fundamental como nível de instrução.

Dentre as técnicas de adubação descritas pelos agricultores familiares também são descritas por Carvalho (2020) onde este descreve as principais resíduos e/ou tecnologias de reaproveitamento utilizados na confecção dos fertilizantes alternativos utilizadas por agricultores familiares e relacionando com o baixo poder aquisitivo dos indivíduos.

Almeida (2010) traz relatos dos feirantes de Santo Amaro, onde a grande maioria dos relatos registrados vem com um roteiro de vivências da agricultura familiar ,desde os tempos da Usina de Açúcar São Carlos – os quais descrevem sua infância ligadas a lavoura - onde as práticas realizadas pelos funcionários que tinham pequenas propriedades eram de adubação orgânica .

Vale ressaltar que o baixo número de entrevistados ocorreu pela insatisfação dos agricultores e moradores locais com as políticas públicas anteriores aplicadas na cidade. Eles relataram o frequente abandono das localidades e distritos no geral.

Figura 9: Quintal produtivo no Jericó, com pequena plantação de cana-de-açúcar.



Souza e demais autores (2020) observaram que os agricultores, em sua maioria, buscam informações sobre as culturas com as quais trabalham e desenvolvem manejo do solo com ajuda de membros da família e considerando os conhecimentos locais. Isso demonstra a importância desses saberes para a atividade agrícola local, argumentando esses autores que se deve buscar uma forma de produção que dialogue com o conhecimento tradicional dos agricultores e agricultoras. As entrevistas realizadas com agricultores familiares de Santo Amaro deixam claro o tradicionalismo no “*modus operandis*” dessas pessoas. É por intermédio da cultura que um

sujeito ou comunidade atua fundamentalmente em seus respectivos processos de constituição de saberes, pois nela estão representados os pressupostos do modo de pensar e agir locais (Meyer *et al.*, 2011).

4. Considerações Finais

A forma de manejo de solo realizada pelos agricultores familiares está diretamente ligada às questões econômicas que restringem maiores investimentos em suas atividades. A confiança nas práticas e o aprendizado que se dão pelas vivências experienciadas por eles em seus grupos sociais e familiares é refletida nas colheitas de seus produtos, onde mesmo em pequena escala são oferecidos e vendidos nas localidades de origem ou na feira livre municipal.

Referências

ALBUQUERQUE, U.P. La importancia de los estudios etnobiológicos para establecimiento de estrategias de manejo y conservación en las florestas tropicales. *Biotemas*, Santa Catarina, v.12, n.1, p.31-47. 1999.

ALMEIDA NETO, Wilson Rocha; IMBASSAHY, Adriana. **Plumbum Santo Amaro**. Ministério Público do Estado da Bahia. junho de 2009.

ALMEIDA, Mirella Dias. Significados da contaminação alimentar para os feirantes de Santo Amaro–Ba. 2020.

ALVES, J. D. P. **A questão agrária no Distrito de Jambeiro, em Santo Amaro -Bahia**. Trabalho de Conclusão de Curso. UNILAB.São Francisco do Conde, 2018.

ARAUJO, Edmilson Menezes. **Justiça ambiental: uso vetiver e da moringa para descontaminação em Santo Amaro da Purificação**. Trabalho de conclusão de Curso: Unilab. São Francisco do Conde, Ba. 2017.

AZEVEDO, NRP. **Contaminação Por Metais Pesados Em Santo Amaro Da Purificação: um caso de Racismo Ambiental**. Trabalho de Conclusão de Curso de Saúde Coletiva. Instituto de Estudos em Saúde Coletiva da Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2019.

BARRETO, Mércia Ferreira. **Segurança Alimentar e Nutricional e contaminação ambiental em uma comunidade de marisqueiras do município de Santo Amaro, Bahia.**

Dissertação(mestrado)-Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2015.

BRASIL. Política Nacional da Agricultura Familiar e Empreendimentos Familiares Rurais. LEI Nº 11.326, DE 24 DE JULHO DE 2006.

CARVALHO, Ana Paula Comin de. Comunidades Remanescentes de Quilombo na Bahia: conflitos territoriais e articulações identitárias. In: OLIVEIRA, Rosy et al (Orgs). **Territorialidades negras em questão: conflitos, lutas por direitos e reconhecimento.** Editora UFRB/FT/MC&G Editorial, Brasília, 2019.

CARVALHO, Wallison de Sousa et al. Uso de fertilizantes alternativos provenientes de resíduos da agricultura e agroindústria familiar. 2020.

ESCOBAR, A. O lugar da natureza e a natureza do lugar: globalização ou pós-desenvolvimento? In: LANDER, E. (org) A colonialidade do saber: eurocentrismo e ciências sociais. Perspectivas latinoamericanas. Ciudad Autónoma de Buenos Aires/AR: CLACSO (Colección SurSur) 2005, p. 133-168.

FERNANDES, George Pimentel; DE MELO, Nyrreine Dias Pereira. O conhecimento do trabalhador rural acerca do solo e das plantações, no sul do Ceará. **Brazilian Journal of Animal and Environmental Research**, v. 3, n. 4, p. 2860-2869, 2020.

FREIRE, Gilberto. **Nordeste: aspectos da influência da cana sobre a vida e a paisagem no Nordeste do Brasil.** 7ª ed. São Paulo. Global, 2010.

GADGIL, M.; BERKES, F.; FOLKE, C. Indigenous Knowledge for Biodiversity Conservation. *Ambio*, v.22, p.119-123. 1993. PASA, M. C. Etnobiologia de uma comunidade ribeirinha no alto da bacia do rio Aricá-Açú, Cuiabá, Mato Grosso, Brasil, 2004. 174 f. Tese (Doutorado) – Centro de Ciências Biológicas e da Saúde, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2004.

IBGE. **Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística.** IBGE Cidades. IBGE, 2021.

MASCARENHAS, M. D. M. S.; OLIVEIRA, S. S. Narrativas, tradições orais e suas manifestações nos territórios quilombolas África e Laranjituba, Moju PA: A narrativa do Meu - Bebida sagrada. **anais** In: Simposio nacional de historia, XXIX ed. DF, 2017.

MENEZES, Renata Velasques. Levantamento etnobotânico e etnofarmacológico de espécies medicinais em agroecossistemas de quintais no município de Santo Amaro/BA. 2013.

NIEMEYER, J. C.; SILVA, E. M. da; SOUZA, J. P. SOUSA. Desenvolvimento de um Esquema para Avaliação de Risco Ecológico em Ambientes Tropicais: Estudo de Caso da Contaminação por Metais em Santo Amaro da Purificação, Bahia, Brasil. **J. Braz. Soc. Ecotoxicol.**, v. 2, n. 3, 2007. p. 263-267.

QUEIROZ, M. I. P. Relatos orais: do "indizível" ao "dizível". In: VON SIMSON, O. M. (org. e intr.). **Experimentos com histórias de vida (Itália-Brasil)**. São Paulo: Vértice, Editora Revista dos Tribunais, Enciclopédia Aberta de Ciências Sociais, v.5, 1988. p. 68-80.

RODRIGUES, C.S. **Desafios concernentes à compra institucional de produtos oriundos de agricultura familiar no município de Santo Amaro**. Trabalho de Conclusão de Curso, apresentado ao curso de Especialização em Segurança Alimentar e Nutricional, da Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira (UNILAB). 2021.

SANTOS, L.S.C; GARCIA, R.P.M. Agroecologia: estratégia de luta para fortalecimento e resistência da Juventude Camponesa. **Revista Kiri-kerê: Pesquisa em Ensino, Dossiê** n.4, Vol. 1, out. 2020.

SANTOS, L.S.C; GARCIA, R.P.M. Agroecologia: estratégia de luta para fortalecimento e resistência da Juventude Camponesa. **Revista Kiri-kerê: Pesquisa em Ensino, Dossiê**, n.4, Vol. 1, out. 2020.

SOUZA, G. de F. Diversidade de cultivo e sua influência nos sistemas de produção em transição agroecológica na Comunidade Tanque Senzala, Santo Amaro, Bahia. **Cadernos de Agroecologia – ISSN 2236-7934 - Anais do XI Congresso Brasileiro de Agroecologia**, São Cristóvão, Sergipe - v. 15, no 2, 2020.

WENDT, M. W. **Os benefícios da adubação orgânica**. In: PET Agronomia. Universidade Federal de Santa Maria. 2022.

WRUBEL, Rafael Estevão et al. CONDUÇÃO, MANUTENÇÃO E MANEJO AGRONÔMICO DO HORTO DE PLANTAS MEDICINAIS NA UNOESC XANXERÊ. **Seminário de Iniciação Científica e Seminário Integrado de Ensino, Pesquisa e Extensão**, p. e28379-e28379, 2021.

Capítulo 2 - FITORREMEDIAÇÃO EM SOLO CONTAMINADO POR METAIS PESADOS: ESTUDO DE CASO NO RECÔNCAVO BAIANO

Resumo

A contaminação por elementos potencialmente tóxicos ocasionada por ações antrópicas ao redor do mundo afeta negativamente todos os ecossistemas, inclusive o ser humano. A mitigação desses graves problemas com soluções sustentáveis faz com que a fitorremediação com espécies vegetais se torne uma excelente alternativa. A literatura apresenta várias espécies foram testadas e catalogadas, expostas a diferentes condições, obtendo-se resultados satisfatórios. Assim, foram usadas espécies já catalogadas com potencial fitorremediador – *Impatiens walleriana*, *Canna indica* e *Heliconia psittacorum* –, que foram testadas em condições de substrato vertissolo buscando avaliar seus comportamentos com a adição de insumos orgânicos. As espécies escolhidas demonstraram comportamentos não esperados, pois não demonstraram resultados satisfatórios para a fitorremediação nas condições de solo Massapê contaminado por elementos potencialmente tóxicos, porém as frações de disponibilidade de metais no solo foram alteradas de formas diferentes quando introduzidos insumos relacionados com cada tipo de planta. Este estudo pode ser incluído como fonte de investigações para avaliação do comportamento de algumas espécies vegetais expostas às condições variadas de substrato e adubação.

Palavras-chave: Sustentabilidade, Massapê, biodisponibilidade.

Abstract

Contamination by potentially toxic elements caused by human actions around the world negatively affects all ecosystems, including humans. Mitigating these serious problems with sustainable solutions makes phytoremediation with plant species an excellent alternative. The literature presents several species that were tested and catalogued, exposed to different conditions, obtaining satisfactory results. Thus, species already catalogued with phytoremediation potential were used – *Impatiens walleriana*, *Canna indica* and *Heliconia psittacorum* –, which were tested under vertisol substrate conditions seeking to evaluate their behavior with the addition of organic inputs. The chosen species demonstrated unexpected behavior, as they did not demonstrate satisfactory results for phytoremediation in Massapê soil conditions contaminated by potentially toxic elements, but the fractions of metal availability in the soil were altered in different ways when inputs related to each type of plant were introduced. . This

study can be included as a source of investigations to evaluate the behavior of some plant species exposed to varied substrate and fertilization conditions.

Keywords: Sustainability, Massapê, bioavailability.

1. Introdução

Cerca de vinte milhões de hectares de terra podem estar contaminados por metais pesados no mundo (He *et al.*, 2015). Solos poluídos oriundos de atividades minerárias, como os de Santo Amaro, no estado da Bahia, Brasil, são um problema global, pois podem causar danos aos organismos e plantas, chegando à espécie humana, mediante cadeia alimentar (Gunther, 1998; Silva *et al.*, 2022). De acordo com Santos (2022), o passivo ambiental da Companhia Brasileira de Chumbo (COBRAC) neste município permitiu com que diversas áreas fossem classificadas como inapropriadas para agricultura e pecuária e, nas proximidades da fábrica, foram observadas concentrações de Pb e Cd na superfície do solo de até 8.000 e 120 ppm, respectivamente.

A existência de altos níveis de contaminação das pessoas que trabalhavam e residiam próximas à minerometalúrgica, (principalmente a população infantil) e, pelo fato da COBRAC lançar sua carga de efluentes líquidos industriais e sanitários no rio Subaé sem qualquer espécie de tratamento (destruindo ecossistemas e contaminando pessoas e animais que utilizam a água do rio) (Andrade, 2012), fez com que a população, sem outra fonte de renda, fosse obrigada a ignorar a contaminação. Além destes fatos, os resíduos sólidos foram dispostos de forma inadequada e parte foi doada à população e à Prefeitura Municipal para pavimentar jardins, quintais e vias públicas (Almeida Neto; Imbassahy, 2009).

Entre as técnicas *in situ* para remediar situações como a apresentada está a fitorremediação, que utiliza o potencial das plantas para remover poluentes e contaminantes por mecanismos como fitoextração, fitoestabilização, fitodegradação e fitovolatilização (Hwang *et al.*, 2020). É na fitoextração que as plantas absorvem e concentram os contaminantes em sua biomassa colhível (Asgari Lajayer *et al.*, 2019) por meio de adaptações morfológicas e fisiológicas, que são transmitidas por mecanismos moleculares bem coordenados (Yan *et al.*, 2020). Entre as espécies avaliadas, as ornamentais ainda são pouco relatadas (Khan *et al.*, 2021), mas com grande potencial visto sua elevada tolerância ao estresse, crescimento rápido, bom desenvolvimento radicular e alta produção de biomassa, além de não serem destinadas à alimentação humana nem animal (Rocha *et al.*, 2022).

As lavouras de pequenos agricultores têm utilizado os resíduos gerados nas unidades rurais como fonte de adubação orgânica (Alves, 2010), o que não é diferente em Santo Amaro. Desta forma, é hipotetizado neste estudo que o cultivo de três espécies ornamentais pode vir a atuar como fitoextratoras em áreas contaminadas com metais pesados de acordo com o emprego de técnicas de manejo do solo aplicadas pelas comunidades rurais de Santo Amaro.

Devido ao rápido crescimento, abundância e viabilidade, as plantas ornamentais têm recebido interesse especial para a fitoextração de metais pesados (Awad *et al.*, 2021). De acordo com Liu *et al.* (2017), além de embelezar o ambiente, estas plantas ornamentais podem acumular ou degradar poluentes quando estão em solos contaminados por metais pesados. Sendo assim, este estudo objetivou analisar o desempenho de três espécies ornamentais (*Heliconia psittacorum*, *Impatiens walleriana* e *Canna indica*) como fitoextratoras de metais pesados nos solos do município de Santo Amaro em condições de manejo e práticas agrícolas similares às que ocorrem na região.

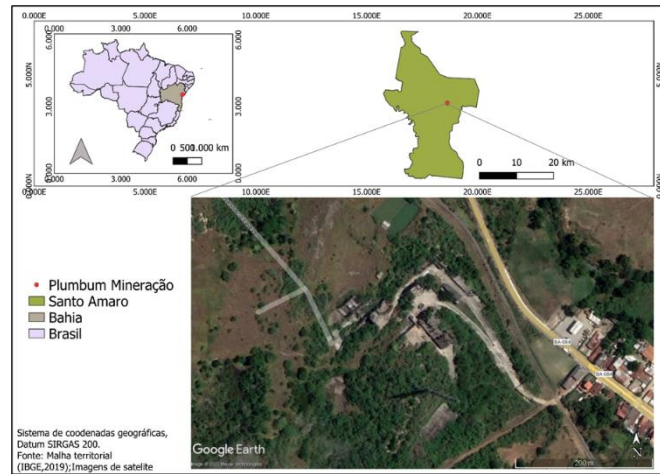
Este trabalho tem como objetivo comparar o desempenho de *Canna indica*, *Heliconia psittacorum* e *Impatiens walleriana* quanto ao potencial fitorremediador em solo massapê, associadas às práticas de manejo aplicadas por agricultores do município

2. Material e Métodos

2.1. Amostragem do Vertissolo

Amostras de um Vertissolo contaminado na profundidade de 20 cm foram obtidas nas proximidades da antiga minerometalúrgica de beneficiamento de galena, Plumbum, no município de Santo Amaro (Figura 10), localizada no Recôncavo Baiano, a cerca de 80 km da capital, Salvador (Amarin, 2022).

Figura 10: Localização da área de amostragem do Vertissolo nas proximidades da Plumbum, Santo Amaro, Bahia, Brasil.



Fonte: (Amorim, 2022).

2.2 Caracterização do Vertissolo

As amostras foram secas ao ar, destorroadas e peneiradas em malha de 2mm, obtendo a Terra Fina Seca ao Ar (TFSA), as quais foram analisadas para: pH_{H_2O} , pH_{KCl} em uma suspensão solo: água deionizada e solo: KCl 1mol.L na proporção 1:2,5 (p/v), usando um medidor de bancada Orion Versa Star Pro. Os teores de Ca^{2+} , Mg^{2+} e Al^{3+} foram obtidos por uma solução de KCl 1mol e titulados com EDTA; H+Al foi extraída com solução de acetato de cálcio 0,5 mol/L a pH e em seguida titulada com NaOH 0,025mol/L (Teixeira *et al.*, 2017). O teor de Carbono orgânico (C.O.) foi medido via aquecimento e titulação de oxidação de dicromato de potássio e sulfato ferroso amoniacal proposto por Yeomans e Bremner (1988). Os resultados da caracterização do Vertissolo podem ser observados na Tabela 1.

Tabela 1: Principais características do Vertissolo contaminado

Propriedade	Solo
pH_{H_2O}	7,32
pH_{KCl}	7,30
ΔpH	-0,02
Ca^{2+} (cmol _c dm ³)	8,80
Mg^{2+} (cmol _c dm ³)	2,20
Al^{3+} (cmol _c dm ³)	0,10
Na	0,38
K	0,59
H+Al (cmol _c dm ³)	2,89

Soma de Bases	11,97
CTC	14,86
CTCe	12,07
V (%)	80,55
m (%)	0,82
C.O (%)	2,34
P (mg.kg ⁻¹)	6,73
Cd (mg.kg ⁻¹)	128,00
Pb (mg.kg ⁻¹)	9.168,88
Zn (mg.kg ⁻¹)	15.302,49±60,38
Cu	310±20,30
Ni	47,00±0,00

2.3 Delineamento experimental e condução do experimento

O delineamento experimental foi inteiramente casualizado, no esquema fatorial 3 x 3 + 1 em três repetições, onde três tratamentos (Esterco – EST, Húmus – HMS e Mistura – MST) foram adicionados ao solo, além de um controle, e cultivadas três espécies ornamentais *Canna indica*, *Impatiens walleriana* e *Heliconia psittacorum* (Figura 10), em três repetições. Trinta e seis vasos contendo 1 Kg do Vertissolo foram pré-incubados a 60% da capacidade de campo, durante 30 dias. Vasos contendo apenas solos contaminados, sem adubo orgânico, foram utilizados para o cultivo das três espécies teste, considerados controle. Foram adicionados aos vasos 15% dos tratamentos, mantidos durante 45 dias.

Figura 11: Espécies utilizadas no estudo: *Heliconia psittacorum* (Helicônia-papagaio); *Impatiens walleriana* (Beijinho); *Canna Indica* (Cana-da-índia).



Os solos foram secos ao ar, destorroados, peneirados em malha de 2mm para obtenção da Terra Fina Seca ao Ar (TFSA), nos quais foram determinados de acordo com a Embrapa

(2017): pH_{H2O}, pH_{KCl}, ΔpH, Ca²⁺, Mg²⁺, Al³⁺, Na, H+Al, soma de bases, CTC, CTCe, V (%), m (%), C.O. (%), P e os metais Cd, Cu, Ni, Zn e Pb.

2.4 Fracionamento químico dos metais pesados

A extração sequencial pelo método BCR adaptado por Pradit *et al.* (2019) foi utilizado para determinar a distribuição dos metais no Vertissolo após adição dos tratamentos e plantio das espécies:

F1 (frações trocáveis e solúveis em ácido): 1 g de amostra de solo pesada em tubo de polietileno tipo falcon de 50 mL ao qual foi adicionado 40 mL de ácido acético 0,11 mol L⁻¹. As amostras foram agitadas em mesa agitadora orbital TE-145 durante 16 h à temperatura ambiente a uma velocidade de 60 rpm e em seguida centrifugadas a 3.000 rpm por 20 min. O sobrenadante foi filtrado e armazenado em frasco de polietileno.

F2 (fração redutível – metais ligados a carbonatos e óxidos de Fe e Mn): 40 mL de cloridrato de hidroxilamina 0,5 mol L⁻¹ (ajustado para pH 1,5 pela adição de solução 1:1 de HNO₃) foi adicionado ao resíduo sólido da F1, agitado centrifugado e filtrado como descrito para F1.

F3 (fração oxidável - metais ligados à matéria orgânica): 10 mL de H₂O₂ a 8,8 mol L⁻¹ foi adicionado ao resíduo da F2. A mistura foi mantida em temperatura ambiente por 1 h, com agitação ocasional, e em seguida colocado em banho-maria a 85°C, até a redução do volume para 3 mL. Foi adicionado o máximo de 10 mL de peróxido de hidrogênio a amostra em alíquotas de 1 em 1 mL e aquecidos até a evaporação quase que total do volume adicionado. Após esfriar adicionou-se 40 mL de acetato de amônio 1,0 mol L⁻¹ (ajustado para pH 2 com solução 1:1 de HNO₃) agitou, centrifugou e filtrou o sobrenadante como descrito para F1 e F2.

F4 (fração residual – metais ligados à minerais primários e secundários): o resíduo sólido da F3 foi digerido de acordo com o método 3050B da USEPA (US EPA, 1996). O resíduo de todas as frações, exceto F4, após filtrados foram lavados com 20 mL de água destilada por 15 min, centrifugados e o sobrenadante descartado para evitar interferências de uma extração para a outra. A determinação dos elementos foi feita por Espectrômetro de Emissão Ótica com Plasma Indutivamente Acoplado (ICP): Agilent Technologies Modelo 700, Séries ICP-OES.

2.5 Análises das plantas

Após 45 dias de cultivo, as plantas foram cuidadosamente retiradas dos vasos, separadas em raiz e parte aérea, lavadas com água deionizada pesadas para obtenção da massa fresca e após 7 dias em estufa de circulação forçada a 45°C, pesadas para obtenção da massa seca (Figura 12). Em seguida, foram moídas em moinho de facas em malha de 1 mm e analisadas para o teor de metais pesados através do método 3050B (USEPA, 1996): em síntese foram adicionadas 500mg de amostra vegetal moída e seca em um tubo de digestão de capacidade de 125 ml. Em seguida foi adicionado 10 ml de solução 1+ 1 (v/v) de HNO₃, misturados e mantidos em *overnight* cerca de 12 h. Depois deste período foi aquecido a 95°C por cerca de 15 min, sem ebulição e adicionado 50 ml de HNO₃ e mantido sob refluxo por 30 min. Repetido o processo duas vezes. Evaporada 2 ml dessa solução (sem ebulição), o material foi mantido em temperatura de 25° até esfriar, e então foram adicionados 2 ml de H₂O e 3 ml de H₂O₂ que foram novamente aquecidas e resfriadas. Alíquotas de 1ml de H₂O₂ foram adicionadas e aquecidas até que a reação fosse reduzida e em seguida 5 ml de HCl concentrado mantendo sob refluxo por 15 min. Foi filtrada lentamente a solução e diluída em solução de HCl 1+100(v+v).

Os teores de metais pesados foram determinados por Espectrometria de Plasma Induzido (ICP, Varian). E de posse destes resultados foi possível determinar o Fator de Translocação (FT) e o Fator de Bioacumulação (FB) de acordo com as equações 1 e 2, respectivamente: $FT = MPA/MR$ (1); $FB = MPA/MS$ (2), onde MPA e MR são as concentrações do metal na parte aérea e na raiz; e MS e MPA são as concentrações do metal na parte aérea e no solo.

Figura 12: Espécies vegetais preparadas para análise da detecção de elementos tóxicos no Laboratório de Solos da UFRB.



2.6 Risco ecológico

O Índice do Potencial Risco Ecológico (IPRE) proposto por Hakanson, (1980) leva em consideração o nível tóxico, concentração total e sensibilidade ecológica (Douay *et al.*, 2013).

Para calcular o IPRE foram utilizadas as equações 1, 2 e 3:

$$FC = C_m/C_n \quad \text{Equação 1}$$

$$RE = Tr * FC \quad \text{Equação 2}$$

$$IPRE = \sum RE = \sum Tr * FC \quad \text{Equação 3}$$

onde FC é o fator de contaminação, uma medida do grau de poluição do elemento; C_m é a concentração de cada elemento: na fração móvel ($F_1 + F_2$) e C_n na fração estável ($F_3 + F_4$); Tr é o fator tóxico biológico para metais individuais: Zn (1), Cr (2), Cu (5), Pb (5), Ni (5) e Cd (30); RE é o índice de risco ecológico potencial de um único elemento; IPRE é o somatório do risco ecológico potencial de todos os elementos avaliados.

2.7 Análises estatísticas

Todos os dados foram analisados estatisticamente usando o JMP, médias de três réplicas foram submetidas a ANOVA. As diferenças entre os tratamentos foram analisadas para o teste de Tukey a 95% ($p < 0,05$). Os gráficos foram plotados no Excel.

3. Resultados e Discussão

3.1 Produção de biomassa

A Tabela 2 apresenta os efeitos do solo contaminado e os respectivos tratamentos nas três espécies analisadas após 45 dias de cultivo. Não foram observadas diferenças significativas no peso seco das espécies *Heliconia psittacorum* e *Canna indica* em nenhum dos tratamentos. Severos danos podem ocorrer nas atividades metabólicas de plantas expostas a elevadas concentrações de metais pesados (Alaboudi *et al.*, 2018). Na fitorremediação, a biomassa da planta é de grande importância para garantir a alta taxa de remoção (Alaboudi *et al.*, 2018).

Tabela 2: Peso seco da raiz (Praiz) e da parte aérea (Paerea) da *Heliconia psittacorum*, *Impatiens walleriana* e *Canna indica* após adição de insumos em solos contaminados com metais pesados.

Médias seguidas por letras diferentes (abc) representam diferenças estatísticas significativas ($p < 0,05$).

Espécies	Trat	Praiz	Paerea	RzPa	Ptotal
<i>Heliconia psittacorum</i>	CLT	1,91 a	0,25 a	7,74 a	2,16 a
	EST	1,90 a	0,25 a	7,94 a	2,44 a
	HMS	2,19 a	0,24 a	8,89 a	2,16 a
	MST	1,86 a	0,23 a	7,73 a	2,09 a
<i>Impatiens walleriana</i>	CLT	3,23 a	0,25 ab	12,91 a	3,47 a
	EST	2,20 b	0,29 a	7,44 b	2,49 b
	HMS	3,16 a	0,23 b	13,60 a	3,40 a
	MST	2,70 ab	0,21 b	12,39 a	2,91 ab
<i>Canna indica</i>	CLT	2,76 a	0,25 a	11,15 a	3,01 a
	EST	2,73 a	0,25 a	11,42 a	2,98 a
	HMS	3,16 a	0,24 a	12,80 a	3,41 a
	MST	2,67 a	0,24 a	11,04 a	2,91 a

Siglas: CLT :Controle;EST :esterco; HMS:Humus; MST: Mistura

Para o beijinho (*I. walleriana*), o peso da raiz reduziu do CTL e do HMS para a MST e o EST, variando entre 3,23 g/vaso (CTL) a 2,20 g/vaso (EST), e da raiz entre 0,29 g/vaso (EST) a 0,21 g/vaso (MST) (Tabela 2). Na parte aérea e razão raiz:parte aérea, a melhor produção de biomassa foi no EST (0,29 g/vaso) e no HMS (13,60 g/vaso), respectivamente. O comportamento de *I. walleriana* indicou melhor produção da biomassa da raiz no controle > húmus > mistura > esterco; na biomassa da parte aérea no esterco > controle > húmus > mistura; na relação raiz: parte aérea no húmus > controle > mistura > esterco; e o peso total no controle > húmus > mistura > esterco. Estes resultados mostram que a adição dos insumos, em geral, não influenciou no controle, mantendo-o melhor que o EST, HMS e CTL. O baixo alongamento da raiz e parte aérea em *Helianthus annuus* foram observados por Chhotu *et al.* (2008) quando as plantas foram expostas a elevadas concentrações de Pb, Cd e Ni. As espécies aqui utilizadas não demonstraram este comportamento.

Os resultados obtidos no presente estudo indicam que a baixa produção de biomassa no solo contaminado, como o de Santo Amaro, reduz as chances da *H. psittacorum*, *C. indica* e *I. walleriana* serem indicadas como espécies fitoextratoras, o que também impossibilita que estas espécies sejam possíveis fontes de renda para os agricultores da região.

3.2 Acúmulo de metais pesados na parte aérea e raiz

Entre os parâmetros utilizados para avaliar o potencial de fitoextração em plantas, a quantidade total de metais acumulados na parte aérea está entre as mais importantes. A absorção de metais pelas plantas é influenciada pela disponibilidade, fatores associados ao solo e às plantas (Alaboudi *et al.*, 2008).

A capacidade de acúmulo de metais é vital para as plantas ornamentais utilizadas na fitorremediação, e é refletida pela concentração de metais em cada parte da planta (Nunes, 2022). As concentrações da absorção de Cu, Cd, Ni, Pb e Zn na parte aérea e raiz de *H. psittacorum*, *I. walleriana* e *C. indica* estão apresentadas na Tabela 3. Cu, Ni e Zn são elementos essenciais para as plantas, mas o Cd e Pb são considerados tóxicos mesmo em baixas concentrações com efeitos citotóxicos, genotóxicos e mutagênicos nas plantas (Xu *et al.*, 2020; Sharma *et al.*, 2022).

Tabela 3: Concentração de metais pesados de biomassa vegetal da parte aérea e raiz da *H. psittacorum*, *I. walleriana* e *C. indica*, após cultivados com adição de Esterco (EST), húmus (HMS) e Mistura (MST) comparadas com o controle (solo sem insumo).

Espécies	Trat	CuPA	CuR	CdPA	CdR	NiPA	NiR
<i>Heliconia</i>	CTL	21,76 a	59,36 a	5,50 a	10,56 a	0,86 b	9,57 a
	EST	27,97 a	36,22 bc	8,95 a	6,26 b	5,42 a	20,67 a
	HMS	19,59 a	25,74 c	6,31 a	6,40 b	1,27 b	4,71 a
	MST	20,53 a	43,71 b	5,23 a	9,08 ab	0,56 b	4,61 a
<i>Impatiens</i>	CTL	34,85 a	58,18 a	7,68 b	6,48 b	0,84 a	9,24 b
	EST	37,65 a	35,05 bc	16,84 a	6,78 b	0,51 a	55,39 a
	HMS	15,38 b	23,90 c	8,19 b	6,52 b	0,62 a	4,16 c
	MST	22,19 b	47,54 ab	7,60 b	9,94 a	0,83 a	5,24 c
<i>Cana</i>	CTL	25,79 ab	62,70 a	7,46 b	10,98 a	0,56 b	11,82ab
	EST	33,44 a	39,58 b	12,58 a	7,26 ab	6,70 a	29,63 a
	HMS	24,12 ab	30,47 b	8,28 b	6,43 b	1,70 ab	5,91 b
	MST	20,33 b	40,73 b	6,53 b	9,20 ab	0,41 b	4,51 b

Espécies	Trat	PbPA	PbR	ZnPA	ZnR
Heliconia	CTL	-	1.294,20 ab	181,24 a	3.928,68 a
	EST	-	386,66 b	707,37 a	730,30 b
	HMS	-	394,18 b	356,10 a	704,52 b
	MST	-	1558,43 a	174,53 a	3.173,56 ab
Impatiens	CTL	-	545,21 ab	180,85 bc	2.670,39 a
	EST	-	319,70 bc	1798,84 a	607,50 b
	HMS	-	223,45 c	99,66 c	310,63 b
	MST	-	765,23 a	247,19 b	1.389,30 ab
Cana	CTL	-	957,62 a	128,37 a	2.777,54 a
	EST	-	378,60 b	935,37 a	832,27 b
	HMS	-	432,72 b	524,00 a	782,35 b
	MST	-	634,26 ab	196,84 a	1.172,91 b

3.2.1 Heliconia psittacorum

Estudos têm indicado a capacidade de bioacumulação da *Heliconia* em solos contaminados por metais pesados (Orojuela *et al.*, 2018; Baharuddin *et al.*, 2020; Woraharn *et al.*, 2021), resultados opostos aos obtidos no presente estudo, pois a adição dos insumos nas plantas indicou alta sensibilidade da espécie *H. psittacorum* em relação ao controle para CuR, CdR, ZnR (Tabela 3). O efeito dos insumos sob a parte aérea da helicônia-papagaio não foi significativo em relação ao CTL para Cu, Cd, Ni e Zn, enquanto que para a biomassa das raízes apenas o tratamento MST foi superior aos demais. Na parte aérea foi observada uma variação apenas para o Ni de 0,56 (MST) a 5,42 mg.kg⁻¹ (EST), e na raiz para o Cu entre 25,74 (HMS) a 59,36 mg.kg⁻¹ (CLT), Cd entre 6,26 (EST) para 10,56 mg.kg⁻¹ (CLT), Pb entre 386,66 (EST) a 1.558,43 mg.kg⁻¹ (MST) e Zn entre 704,52 (HMS) a 3.928,68 mg.kg⁻¹ (CLT) (Tabela 3).

A capacidade de *H. psittacorum* em absorver Pb, Cd, As e Hg foi avaliada por Samuel *et al.* (2022) em águas e solos poluídos. Os autores observaram que a taxa de absorção do Hg, Cd e As indicou uma razão parte aérea: raiz > 1 quando os poluentes estavam em solução sozinhos. Os metais tendem a acumular em maior quantidade na *H. psittacorum* na região das raízes; menos o Cd que se acumula da parte aérea (Samuel *et al.*, 2022), o que também divergiu acerca deste metal, onde demonstra mais uma questão que merece ser estudada.

As concentrações de Pb na Parte Aérea estavam abaixo do limite de detecção, enquanto que para o Zn os resultados não diferiram significativamente, o que pode estar associado ao metal ser um nutriente essencial para o crescimento das plantas (Jiyeon *et al.*, 2012). O comportamento do metal pode ser inibido por outros com características geoquímicas semelhantes (Jiyeon *et al.*, 2012), a exemplo dos minérios de Zn que possuem entre 0,1 a 5% de

Cd o qual é liberado no ambiente durante o processamento do Zn (Adriano, 1986). Esta interação pode ser observada tanto na parte aérea ($R^2 = 0,99$) quanto nas raízes da *Heliconia* ($R^2 = 0,98$).

3.2.2 *Impatiens walleriana*

O efeito dos insumos sob na parte aérea da *I. walleriana* não foram significativos para o Ni relacionando o controle com os demais tratamentos. Para os demais metais o EST demonstrou o melhor resultado quando comparado ao CTL e aos demais tratamentos. Para a raiz os resultados foram superiores na presença do HMS. Para a parte aérea foi observada uma variação no Cd 7,6 mg.kg⁻¹ (MST) a 16,64 mg.kg⁻¹ (EST), e no Zn de 99,66 mg.kg⁻¹ (HMS) a 1798,84 mg.kg⁻¹ (EST), e na raiz para o Cu variações entre 23,9 mg.kg⁻¹ (HMS) a 58,18 mg.kg⁻¹ (CTL), Cd de 6,52 mg.kg⁻¹ (HMS) a 9,94 mg.kg⁻¹ (MST), para Ni de 4,16 mg.kg⁻¹ (HMS) a 55,39 mg.kg⁻¹ (EST), para Pb de 223,45 mg.kg⁻¹ (HMS) a 765,23 mg.kg⁻¹ (MST) e para Zn 310,63 mg.kg⁻¹ (HMS) a 2670,39 mg.kg⁻¹ (CTL) (Tabela 3). As concentrações de Pb na Parte Aérea estavam abaixo do limite de detecção.

3.2.3 *Canna indica*

Em relação aos efeitos dos insumos na *C. indica*, não foram significativos em relação ao Zinco quando comparado o controle aos três tratamentos. Para os demais metais, foi observada variação para o Cu de 20,33 mg.kg⁻¹ (MST) a 33,40 mg.kg⁻¹ (EST), para o Cd de 6,53 mg.kg⁻¹ (MST) a 12,58 mg.kg⁻¹ (EST), para Ni de 0,41 mg.kg⁻¹ (MST) a 6,70 mg.kg⁻¹ (EST). Para a raiz, houve variações para todos os metais, sendo que para o Cu de 30,47 mg.kg⁻¹ (HMS) a 62,70 mg.kg⁻¹ (CTL), Cd de 6,43 mg.kg⁻¹ (HMS) a 10,98 mg.kg⁻¹ (CTL), Ni de 4,5 mg.kg⁻¹ (MST) a 29,63 mg.kg⁻¹ (EST), para o Pb de 378,60 mg.kg⁻¹ (EST) a 957,62 mg.kg⁻¹ (CTL) e Zn de 782,35 mg.kg⁻¹ (HMS) a 2777,54 mg.kg⁻¹ (CTL) (Tabela 3). As concentrações de Pb estavam abaixo do nível de detecção na parte aérea da *C. indica*.

O acúmulo de Pb na biomassa da raiz foi muito alto na CLT e na MST, não indicando translocação para a biomassa da parte aérea (Tabela 3). Avaliando o potencial da *C. indica*, em fitorremediar Pb em água contaminada, Cule e colegas (2016) observaram acúmulo do metal na biomassa da raiz (2.807,85 mg kg) em até 90 vezes em relação à biomassa da parte aérea. Estes resultados indicam que a *Canna indica* pode ser utilizada como fitoestabilizadora.

As plantas necessitam indicar uma alta capacidade de bioacumulação de metais pesados para serem reconhecidas como hiperacumuladoras (Santana, 2020). O acúmulo nas raízes deve ser

de mais de 100 mg.Kg de Cd na biomassa seca, ou mais de 1.000 mg.kg de Ni, Cu e Pb, ou mais de 10.000 mg.kg de Zn ou Mn na parte aérea(Almeida , 2012). Estes parâmetros não foram atendidos pelas três espécies avaliadas.

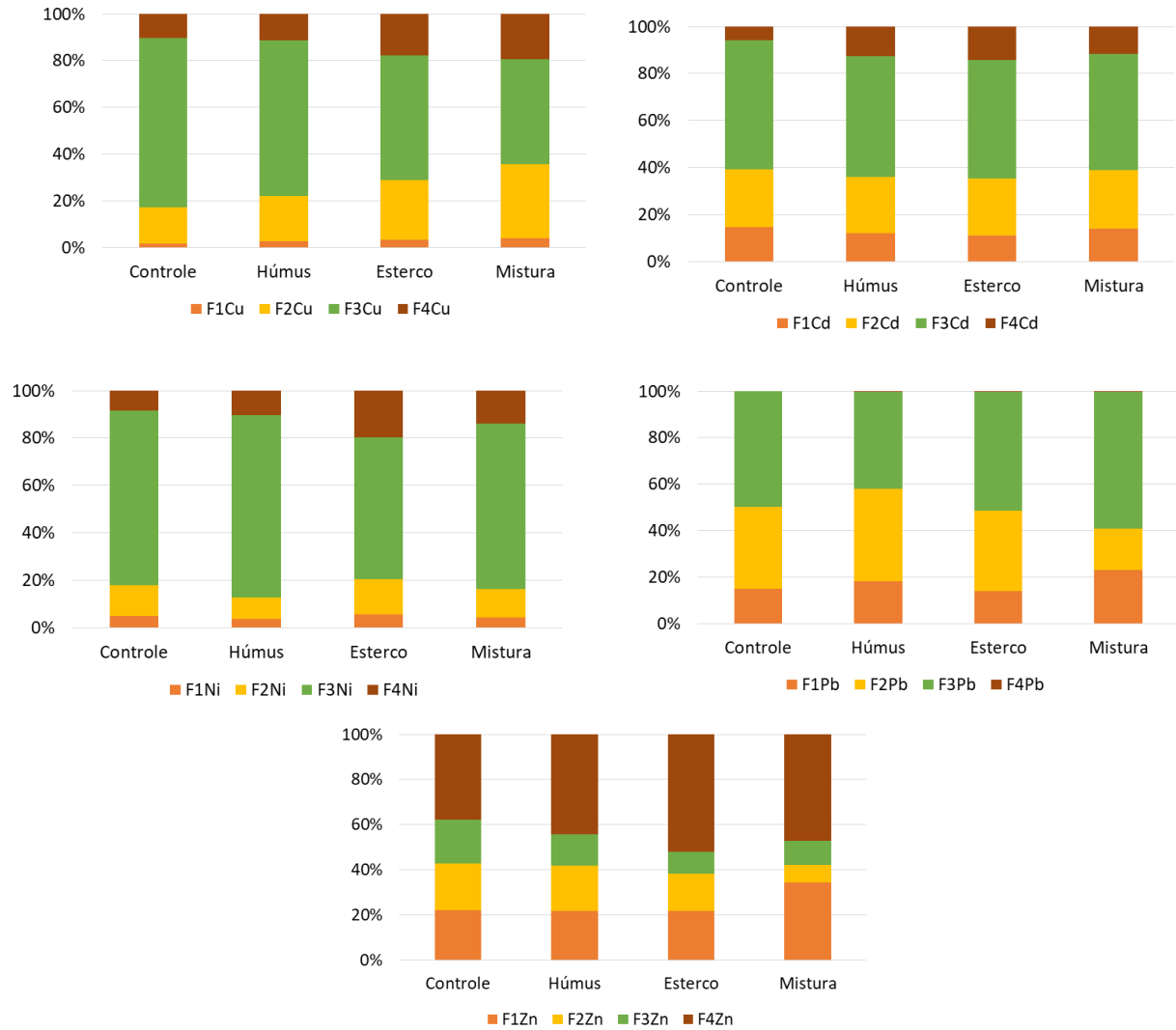
3.3 Fracionamento químico do Vertissolo após experimento

O solo utilizado neste estudo está na faixa de praticamente neutro (6,6-7,3) (EMBRAPA, 2013), textura argilosa (Teixeira *et al.*, 2017) e concentração de Cu (433,74 mgkg⁻¹), Cd (26,29 mgkg⁻¹), Ni (99,62 mgkg⁻¹), Pb (5.787,15 mgkg⁻¹) e Zn (13.797,37 mgkg⁻¹) superiores a CONAMA (2009), evidenciado também em pesquisas anteriores nesta área (Bonfim *et al.*, 2015; Costa *et al.*, 2019). Para compreender os potenciais riscos, a distribuição dos elementos nas frações do solo deve ser conhecida, permitindo, assim, determinar a toxidez em plantas e organismos (Tytla, 2019; Duan; Feng, 2022). O plantio de *H. psittacorum*, *C. indica* e *I. walleriana* causou alteração na distribuição dos metais nas frações do Vertissolo, como apesentado abaixo.

3.3.1 Heliconia psittacorum

Conforme se observa na Figura 13, a concentração total de Cu (518,90 CLT a 123,28 mg kg-1 MST), Cd (43,68 CLT a 23,93 mg kg-1 MST), Ni (95,49 HMS a 22,25 mg kg-1 MST), Pb (8.464,15 CLT a 4.314,44 mg kg-1 EST) e Zn (18.833,56 CLT a 12.174,60 mg kg-1 MST), no geral, reduziu com a adição do Húmus, Esterco e da Mistura em relação ao controle. A indisponibilidade em relação ao controle reduziu para Cu na MST (44,59% F3+F4), reduziu a disponibilidade para o Ni do HSM (11,22%), do EST (41,10%) e da MST 46,66%), para o Pb na MST (27,13%), no EST (34,37%) e para o Zn do HMS (31,99%), dp EST (35,10%) e da MST (42,83%). Esta relação pode estar associada a possíveis interações dos coloides do Vertissolo (argila e óxidos metálicos) (Chen *et al.*, 2020), que podem envolver processos de adsorção (Ahmed *et al.*, 2020). A disponibilidade para o Cd (F1+F2) aumentou na MST (83,73%), no EST (82,30) e no HMS (59,32%).

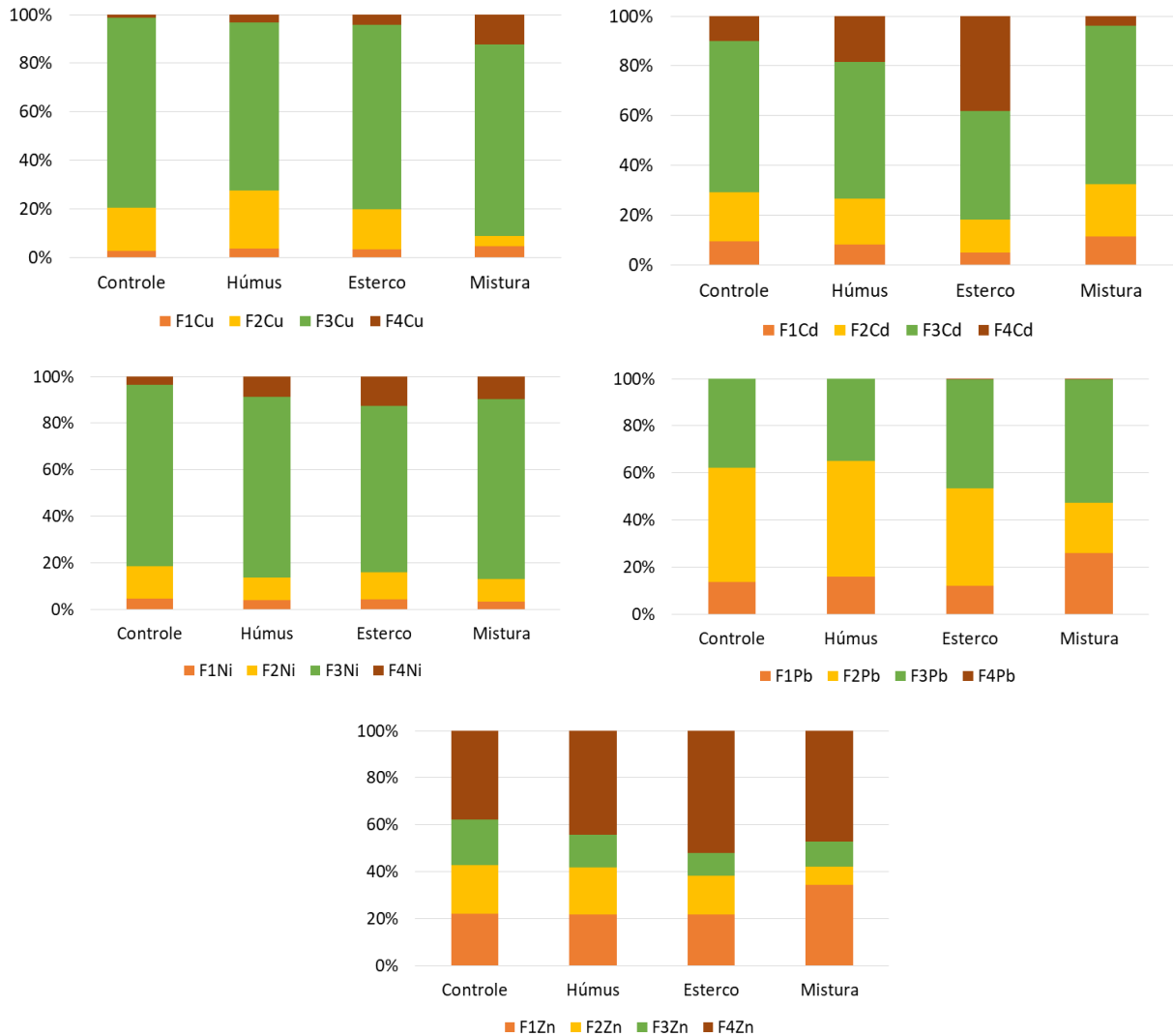
Figura 13: Distribuição de Cu (a), Cd (b), Ni (c), Pb (d), e Zn (e) no Vertissolo após o cultivo de *H. psittacorum*.



3.3.2 Canna indica

Na Figura 14 se observa que a concentração total de Cu (31,01 CLT a 38,79 mg kg⁻¹ no EST), Cd (30,59 CLT a 39,62 mg kg⁻¹ EST), Ni (90,60 MST a 107,9 mg kg⁻¹ EST), Pb (5659,62 HMS a 3963,65 mg kg⁻¹ EST) e Zn (21183,73 EST a 16806,65 HMS mg kg⁻¹), no geral, aumentou a concentração de Cu, Cd com a adição do Húmus, Esterco e da Mistura em relação ao controle, entretanto, a disponibilidade (F1+F2) aumentou em relação às frações de maior capacidade de imobilização (F3+F4). As concentrações de Ni, Pb e Zn reduziram com a adição dos insumos, em relação ao controle também de maneira geral, e as disponibilidades (F1 + F2) aumentaram em relação às frações de maior capacidade de imobilização (F3 + F4).

Figura 14: Distribuição de Cu (a), Cd (b), Ni (c), Pb (d), e Zn (e) no Vertissolo após o cultivo da *C. indica*.

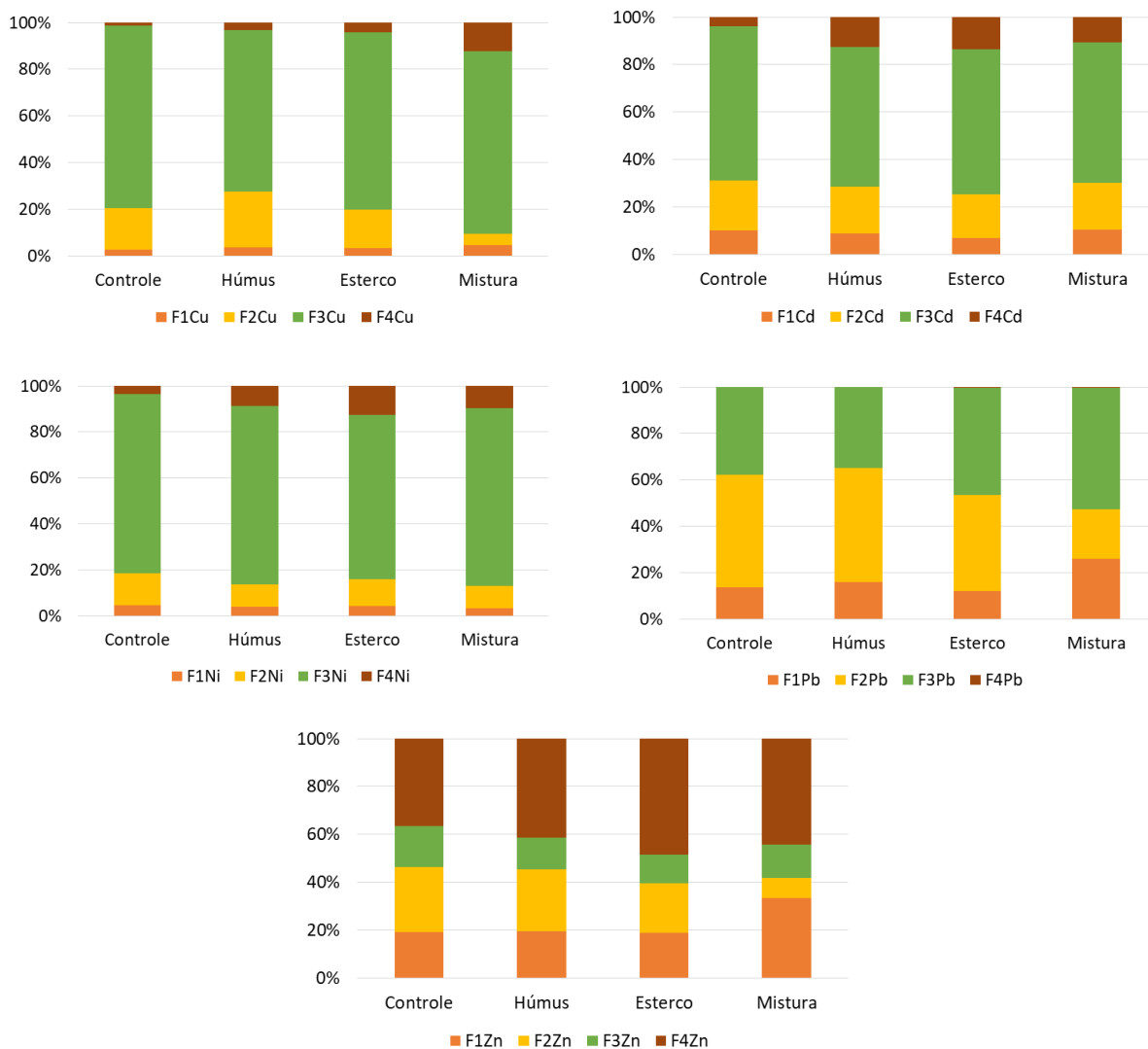


3.3.3 Impatiens walleriana

A concentração total de Cu (395,68 CLT a 291,83 mg kg⁻¹ MST), Cd (39,42 CLT a 28,76 mg kg⁻¹ HMS), Ni (119,42 MST a 33,81 mg kg⁻¹ EST), Pb (13320,56 CTL a 4888,27 mg kg⁻¹ MST) e Zn (18368,88 CTL a 11965,04 mg kg⁻¹ MST), no geral, reduziu com a adição do Húmus, Esterco e da Mistura em relação ao controle, porém, a disponibilidade (F1+F2) diminuíram em relação às frações de maior capacidade de imobilização (F3+F4) apenas no Cu. Para o Cd, Pb e Zn, de maneira geral, as frações disponíveis (F1 +F2) e as frações de maior capacidade mobilização também foram reduzidas. Para o Ni o efeito foi inverso dos outros metais aumentando a disponibilidade de (F1+F2) e (F3+F4) quando analisada a adição dos

insumos em relação ao controle, não apresentando assim diferenças de maneira geral (Figura 15).

Figura 15: Distribuição de Cu (a), Cd (b), Ni (c), Pb (d), e Zn (e) no Vertissolo após o cultivo de *I. walleriana* (beijinho).



Para as três espécies avaliadas o Cd manteve-se na sua forma mais disponível (F1 e F2), o que é preocupante porque este metal, assim como outros, limita a abundância, atividade e biodiversidade das plantas e animais e tem meia vida de 10 a 30 anos (Sharma *et al.*, 2023). No entanto, a fração lábil pode ser influenciada por inúmeros fatores, como o pH do solo, a quantidade de água disponível no solo, a CTC e o teor de matéria orgânica (Alloway, 2013).

3.4 Fator de Bioacumulação e Translocação

Espera-se que plantas utilizadas na fitoextração tenha o FB e FT > 1, os quais estão apresentados na Tabela 4. Para os tratamentos associados ao desenvolvimento de *Heliconia*, apenas o EST foi > 1 para o Cd, Ni e Zn, enquanto que o FBPA e FBR foram menores que 1. De forma geral, o FBR > FBPA e se estes valores tivessem sido superiores 1, as plantas poderiam ser indicadas como fitoestabilizadoras. De acordo com Liu *et al.* (2017), as plantas ornamentais apresentam grande potencial para fitoestabilizar solos contaminados por metais pesados, porem neste experimento os resultados nas condições as quais as espécies ornamentais escolhidas foram expostas, diferem do estudo de Liu.

Tabela 4: Valores de Bioacumulação e translocação de metais pesados.

		ETCu	FBCu	FBRCu	ETCd	FBCd	FBRCd	FTNi	FBNi	FBRNi
<i>Heliconia</i>	CLT	0,37 b	0,21 a	0,80 a	0,60 a	0,10 a	0,19 ab	0,14 b	0,01 b	0,14 ab
	EST	0,77 a	0,33 a	0,48 a	1,32 a	0,24 a	0,15 b	1,5 a	0,08 a	0,73 a
	HMS	0,76 a	0,34 a	0,40 a	0,98 a	0,14 a	0,15 b	0,23 b	0,01 b	0,05 b
	MST	0,48 b	0,27 a	0,54 a	0,57 a	0,13 a	0,25 a	0,11 b	0,01 b	0,10 a
<i>C. indica</i>	CLT	0,42 c	0,31 a	1,15 a	0,82 b	0,14 a	0,17 a	0,05 b	0,01 b	0,17 ab
	EST	0,87 a	0,44 a	0,62 a	1,77 a	0,33 a	0,15 a	1,73 a	0,07 a	1,04 a
	HMS	0,78 ab	0,50 a	0,58 a	1,29 ab	0,18 a	0,14 a	0,26 ab	0,01 b	0,06 b
	MST	0,51 bc	0,32 a	0,61 a	0,71 b	0,15 a	0,20 a	0,07 b	0,00 b	0,04 b
<i>Impatiens</i>	CLT	0,60 b	0,08b	0,14 a	1,18 b	0,19 b	0,16 c	0,09 b	0,01 a	0,18 b
	EST	1,07 b	0,13 a	0,12 ab	2,49 a	0,58 a	0,23 b	0,009 c	0,01 a	2,05 a
	HMS	0,64 a	0,05 c	0,07 b	1,25 b	0,28 b	0,22 b	0,15 a	0,00 b	0,05 c
	MST	0,48 a	0,07b	0,16 a	0,78 c	0,24 b	0,30 a	0,15 a	0,00 b	0,04 c
<i>Heliconia</i>			ETPb	FBPb	FBRPb	ETZn	FBZn	FBRZn		
	CLT		0,00 a	0,00 a	0,17 ab	0,05 b	0,00 a	0,18 ab		
	EST		0,00 a	0,00 a	0,08 b	1,16 a	0,02 a	0,03 b		
	HMS		0,00 a	0,00 a	0,06 b	0,37 ab	0,01 a	0,03 b		
<i>C. indica</i>			ETPb	FBPb	FBRPb	ETZn	FBZn	FBRZn		
	CLT		0,00 a	0,00 a	0,14 a	0,04 b	0,00 a	0,11 a		
	EST		0,00 a	0,00 a	0,07 a	1,51 a	0,03 a	0,03 b		
	HMS		0,00 a	0,00 a	0,06 a	0,54 ab	0,02 a	0,04 b		
<i>Impatiens</i>			ETPb	FBPb	FBRPb	ETZn	FBZn	FBRZn		
	CLT		0,00 a	0,04 b	0,04 b	0,06 b	0,005 c	0,08 a		
	CLT		0,00 a	0,03 b	0,03 b	2,96 a	0,06 a	0,02 a		
	EST		0,00 a	0,02 b	0,02 b	0,32 b	0,003 c	0,00 a		
			ETPb	FBPb	FBRPb	ETZn	FBZn	FBRZn		
HMS		0,00 a	0,14 a	0,14 a	0,31 b	0,016 c	0,09 a			

O valor de FB da planta é < 1 para espécies excludentes de metais e > 1 para espécies hiperacumuladoras de metais pesados (Aihemaiti et al., 2017).

Em geral, para a helicônia, o FB nos tecidos radiculares foi maior em comparação com os tecidos da parte aérea (Tabela 4). Diferenças significativas foram observadas para o FBRCd entre 0,15 (EST e MST) a 0,25 (MST), FBRNi entre 0,05 (CTL) a 0,73 (EST), FBRPb entre 0,06 (HMS) a 0,17 (CLT) e FBRZn entre 0,03 (EST e MST) a 0,24 (MST). Apesar destas variações, o FB calculado não indica que *Heliconia* seja uma espécie hiperacumuladora (FB > 1), mas escluseras (FB < 1).

Considerando o FT, o tratamento com EST foi o que indicou a capacidade de fitoextrair Cd, Ni e Zn, pelos valores acima de 1. Como observado nos valores da Tabela 4, as outras espécies não obtiveram resultados expressivos.

4. Considerações Finais

Os resultados obtidos aqui demonstram a necessidade de mais estudos acerca da temática de fitorremediação, enfatizando especialmente na adição de insumos pois estes demonstraram que na relação espécies escolhidas – solo massapê – insumos, o comportamento destes fatores se deu de forma diferente dos outros resultados apresentados em outros estudos; porém como já citado as condições que estas mesmas plantas foram expostas (tipo de substrato e adição de insumos são diferentes dos utilizados aqui). Nestas condições no quesito produção de biomassa nenhuma das três espécies apresentou resultados satisfatórios no período em que o experimento fora realizado; outros resultados podem ser obtidos com um tempo maior de experimentação.

No tocante de absorção de metais apenas a *Impatiens walleriana* (beijinho) apresentou o melhor teor de absorção de metais, já a *Canna indica* e a *Heliconia psittacorum* obtiveram resultados que reforçam a aplicabilidade destas espécies em condições de solos alagados ou na aplicação em *wetlands*. A helicônia pode ser utilizada para medidas de fitorremediação como fitoestabilizadora e excludora de alguns metais, porém recomenda-se mais estudos e possíveis associações com outras espécies que apresentem outras características para a fitorremediação (como fitoextração).

O solo demonstrou alterações expressivas quando associadas as espécies e os insumos afetando a disponibilidade dos elementos potencialmente tóxicos, reiterando a motivação desta investigação.

As observações realizadas no acompanhamento do modo de manejo de solo dos agricultores familiares de Santo Amaro (solo esta grande parte contaminada por EPT's) ocasionando o aumento das frações disponíveis destes metais tóxicos deve ser monitorado, e investigações mais profundas sobre os mecanismos que desencadeiam esta disponibilidade das frações indisponíveis - em especial nas condições do solo de Santo Amaro – devem ser exploradas e estudadas.

Referências

ADRIANO, D.C. **Trace elements in the terrestrial environment**. New York: Springer-Verlag, 1986.

AHMED, S. F. *et al.* Heavy metal toxicity, sources, and remediation techniques for contaminated water and soil. **Environmental Technology & Innovation**, v. 25, p. 102-114, 2022.

ALABOUDI, K. A.; AHMED, B.; BRODIE, G. Phytoremediation of soils contaminated with Pb and Cd using the sunflower plant (*Helianthus annuus*). **Annals of Agricultural Sciences**, v. 63, n. 1, p. 123-127, 2018.

ALLOWAY, B. J. **Heavy metals in soils**. 3. ed. Springer Science+Business, 2013.

ALMEIDA, R. F de. Plantas acumuladoras de metais pesados no solo – uma revisão. *Revista de Biotecnologia & Ciência*. v. 2, nº 1, p.28-46. 2012.

ALMEIDA NETO, W. R.; IMBASSAHY, A. **Plumbum Santo Amaro**. Ministério Público do Estado da Bahia. junho de 2014.

ALVES, G. da S. *et al.* "Efeito da adubação orgânica sobre o crescimento inicial do pinhão manso (*Jatropha Curcas* l.)." In: CONGRESSO BRASILEIRO DE MAMONA, 4.; SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE OLEAGINOSAS ENERGÉTICAS, 1., 2010, João Pessoa. **Anais**. Campina Grande: Embrapa Algodão, 2010.

ASGARI LAJARYER, B. *et al.* Phytoextraction of heavy metals from contaminated soil, water and atmosphere using ornamental plants: Mechanisms and strategies for improving efficiency. **Environmental Science and Pollution Research**, 26(9), 8468–8484.2019.

AWAD, M. *et al.* Ornamental plant efficiency for heavy metals phytoextraction from contaminated soils amended with organic materials. **Molecules**, v. 26, n. 11, p. 3360, 2021.

BAHARUDDIN, M. I. *et al.* Isolation and Identification of *Heliconia psittacorum* Phytoremediation Plant Bacteria. In: IOP Conference Series: Earth and Environmental Sciences. IOP Publisher, 2020. p. 012069.

BOMFIM, M. R. *et al.* Genesis, characterization, and classification of mangrove soils in the Subaé River basin, Bahia, Brazil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 39, p. 1247-1260, 2015.

CHEN, L. *et al.* Heavy metals chemical speciation and environmental risk of bottom slag during co-combustion of municipal solid waste and sewage sludge. **Journal of Cleaner Production**, v. 262, p. 121-318, 2020.

CHHOTU *et al.* Phytoremediation: application of vermicompost for removal of zinc, cadmium, copper, nickel and lead by sunflower. **Environment. Eng. Manage J.**, v. 7, p. 547-558, 2008.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE - CONAMA. Resolução no 420, de 28 de dezembro de 2009. "Dispõe sobre critérios e valores orientadores de qualidade do solo quanto à presença de substâncias químicas e estabelece diretrizes para o gerenciamento ambiental de áreas contaminadas por essas substâncias em decorrência de atividades antrópicas.", **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, nº 249, de 30 de dez. 2009. p.81-84.

COSTA, O. V. *et al.* Dispersion of contaminants from a lead processing industry in a toposequence dominated by vertisol. **International journal of environmental science and technology**, v. 16, p. 3539-3548, 2019.

CULE, Nevena et al. Phytoremediation potential of *Canna indica* L. in water contaminated with lead. **Fresenius Environmental Bulletin**, v. 25, n. 11, p. 3728-3733, 2016.

DOUAY, F. et al. Assessment of the potential health risk of inhabitants living near an old lead foundry. Part 1: Metal concentrations in soils, agricultural crops and home grown vegetables. **Environmental Monitoring and Assessment**, 185(5), 3665–3680, 2013.

DUAN, B.; FENG, Q. Risk Assessment and Potential Analysis of the Agricultural Use of Sewage Sludge in Central Shanxi Province. **International Journal of Environmental Research and Public Health** , v. 19, n. 7, 2022.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA -EMBRAPA. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos.3ed. **Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento**, Brasília, 353 p. 2013.

GAVRILESCU, M. Melhorar a fitorremediação de solos poluídos com metais pesados. **Opinião atual em biotecnologia**, v. 74, p. 21-31, 2022.

GÜNTHER, W. M. R. **Contaminação ambiental por disposição inadequada de resíduos industriais contendo metais pesados: estudo de caso**. 1998. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

HAKANSON, L. An ecological risk index for aquatic pollution control. A sedimentological approach. **Water research**, v. 14, n. 8, p. 975-1001, 1980.

HE, Z. *et al.* Stoffella Soil contamination by heavy metals: sources, indicators and evaluation J. Environ. Indic., v. 9, p. 1718, 2015.

HWANG, Jeong-In *et al.* Potential use of established floating treatment wetlands with *Canna flaccida* to remove organic contaminants from surface water. **International Journal of Phytoremediation**, v. 22, no. 12, pg. 1304-1312, 2020

JHEN-LIAN WEI, HUNG-YU LAI, ZUENG-SANG CHEN. Chelator effects on bioconcentration and translocation of cadmium by hyperaccumulators, *Tagetes patula* and *Impatiens walleriana*. *Ecotoxicology and Environmental Safety*

KHAN, A. H. A. *et al.* Ornamental plants for the phytoremediation of heavy metals: Present knowledge and future perspectives. **Environmental Research**, v. 195, p. 110780, 2021.

Lai, H. Y. *et al.*. Cadmium Uptake by Cuttings of *Impatiens walleriana* in Response to Different Cadmium Concentrations and Growth Periods. *Bull Environ Contam Toxicol*. 2017 Mar;98(3):317-322.

LIU, J; XIN, X.; ZHOU, Q. Phytoremediation of contaminated soils using ornamental plants. **Environmental Reviews**, September, 2017.

Manual de métodos de análise de solo. 3. ed. rev. e ampl. Brasília, DF: Embrapa, 2017.

MOTTA, N. S. D., *et al.* Análise Morfométrica Da Bacia Hidrográfica Do Rio Subaé, Bahia, Brasil. **Ambiência**, v. 13, n. 2, 2017.

NUNES, Júlio César. Prata e metais pesados em partes vegetativas e pétalas de rosa sp. 2022. o da Amazônia *Macrobrachium amazonicum* em diferentes pontos da foz do rio Amazonas. 2022

OREJUELA Arejuela J; GONZÁLEZ, JC, LINDAO, V, SANTILLÁN, L; GODOY, S. Avaliação da eficácia de *Heliconia psittacorum* (Heliconiaceae) cultivada hidroponicamente na fitorremediação de águas com presença de cromo (VI). In: **Anais da Conferência AIP**, 2003, vol. 2003, nº 1, pág. 020009.

Park Ji-yeon; KIM, Ju-Yong; KIM, Kyoung-Woong. Fitorremediação de solo contaminado com metais pesados usando *Brassica napus*. **Engenharia de geossistemas** , v. 15, n. 1, pág. 10-18, 2012.

PRADIT, S. *et al.* Fracionamento químico de oligoelementos em sedimentos de mangue do lago Songkhla, Tailândia, usando a técnica BCR..**Science**, Asia, 2019, vol. 45 Edição 5, p465-473.

ROCHA, Camila Silva *et al.* Fitorremediação por plantas ornamentais: uma bela e ecológica alternativa. **Ciência Ambiental e Pesquisa sobre Poluição** , p. 1-19, 2022

SANTANA, Natielo Almeida. **Estratégias Biológicas na Fitorremediação do Cobre**. Simplíssimo, 2020

Samuel, W., Richard, B. & Nyantakyi, JA Fitorremediação de águas e solos contaminados por metais pesados de enclave de mineração artesanal usando *Heliconia psittacorum* . **Modelo. Terra Sist. Ambiente**. V. 8 , 591–600 (2022).

SAMUEL, Wiafe; RICHARD, Buamah; NYANTAKYI, Jackson Adiyiah. Phytoremediation of heavy metals contaminated water and soils from artisanal mining enclave using *Heliconia psittacorum*. **Modeling Earth Systems and Environment**, p. 1-10, 2021.

SANTOS, et al., J. Â. S. A. Evolution of soil contamination by toxic metals: The case of Plumbum Mineração e Metalurgia Ltda, Santo Amaro, Bahia, Brazil. *Geologia USP - Serie Científica*, v. 22, n. 1, p. 109–123, 1 mar. 2022.

SANTOS, Aldeneidiane Santana dos ; ANJOS, José Ângelo Sebastião Araújo dos. Evolução da contaminação do solo por metais tóxicos: o caso da Plumbum Mineração e Metalurgia Ltda, Santo Amaro, Bahia, Brasil. **Revista do Instituto de Geociências - USP Geol. USP**, Sér. cient., São Paulo, v. 22, n. 1, p. 110-123, Março 2022

Sharma, JK; Kumar, N.; Singh, NP; Santal, AR .Phytoremediation Technologies e seu mecanismo para remoção de metais pesados de solo contaminado: uma abordagem para um ambiente sustentável. **Frente. Plant Sci**. 2023, 14 , 2023.

SILVA, S. R. et al. Avaliação de metais pesados no camarão da Amazônia *Macrobrachium amazonicum* em diferentes pontos da foz do rio Amazonas. 2022

Swarnakar, Arvind Kumar Ahmad, Samir Bajpai, Ishtiyah. AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DE DIFERENTES SOILBASE FLUXO HORIZONTAL SUBSUPERFICIAL TERRA CONSTRUÍDA PARA TRATAMENTO DE ÁGUAS RESIDUAIS. *Eur. Chem. Bull.* 2023, 12(Issue 7), 1842-1851

TEIXEIRA, P. C.; DONAGEMMA, G. K.; FONTANA, A.; TEIXEIRA, W. G. **Manual de métodos e análise de solos**. Embrapa, Brasília, 2017.

TYTŁA, M. Assessment of Heavy Metal Pollution and Potential Ecological Risk in Sewage Sludge from Municipal Wastewater Treatment Plant Located in the Most Industrialized Region

in Poland-Case Study. **International journal of environmental research and public health**, v. 16, n. 13, 1 jul. 2019. Volume 84, 1 October 2012, Pages 173-178

WORAHARN, Sasimar et al. Potencial de monocotiledôneas ornamentais para rizofiltração de cádmio e zinco em sistemas hidropônicos. **Ciência Ambiental e Pesquisa sobre Poluição** , v. 28, p. 35157-35170, 2021.

WORAHARN,S; MEEINKUIRT, W., PHUSANTISAMPAN, T. *et al.* Potencial de monocotiledôneas ornamentais para rizofiltração de cádmio e zinco em sistemas hidropônicos. **Environ Sci Pollut Res**, 28 , 35157–35170 ,2021.

XU, Xiaoxun et al. Remoção de metais pesados de lodo industrial com novos agentes de lavagem à base de plantas. **Chemosphere** , v. 246, pág. 125816, 2020.

Yeomans J.C. and Bremner J.M. 1988. A rapid and precise method for routine determination of organic carbon in soil. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 19: 1467–1476.

APÊNDICES

Apêndice 1: registros fotográficos

Vista da ruína da Cobrac.



Solo contaminado com escoria de Chumbo coletado na área externa da Cobrac



Coleta de solo na área externa da fábrica.



Vista de área alagada de beneficiamento da galena (PbS) ao fundo e o aviso de perigo pelos materiais tóxicos presentes no local. E presença de Capim Braquiária (*Brachiaria decumbens*).



Aroeira (*Schinus terebinthifolia*) e espada-de-são-jorge (*Dracaena rifasciata*).



Goiabeira (*Psidium guajava*) e bambu (Bambusoideae)



Guiso de cascavel (*Crotalaria vitellina*).



Dona Dora e seu companheiro em frete sua residência.



Participação na pratica de adubação no Paulo Cunha I.



Propriedade de agricultor familiar Paulo Cunha I.



Apêndice 2 - Protocolo de entrevista semiestruturada.

Número: _____ Data da aplicação: ___/___/___ Local: _____

a. Identificação do entrevistado

Nome (Apelido): _____ Idade: _____

Data de nascimento: ___/___/___ Sexo: F () M ()

Naturalidade (cidade/Estado): _____

Escolaridade: _____ Estado civil: Solteiro () Casado () Outro ()

Possui filhos: () Sim Não () Se sim, quantos: _____

Atividade profissional: _____ Principal renda familiar: _____

b) Sobre as condições de trabalho na agricultura

- 1) Qual o tamanho da área reservada para produção agrícola em sua propriedade?
- 2) Qual é a estrutura existente (se existem tanques de irrigação, maquinário etc.)?
- 3) Utiliza diferentes pessoas na produção agrícola? Funcionários? Parentes próximos?
- 4) Quais são os tipos de cultivos que desenvolve?
- 5) Como o(a) senhor(a) faz o trabalho de realiza manejo do solo e dos cultivos?
- 6) Qual técnica é utilizada para a limpeza do solo?
- 7) Utiliza quais maneiras de enriquecer o solo (orgânica, química ou outras)?
- 8) Utiliza ou já utilizou fertilizantes ou agrotóxicos? Se sim, quais?
- 9) Como o(a) senhor(a) se sente em relação a sua atividade como agricultor(a) na região de Santo Amaro?
- 10) Na sua opinião, quais são os tipos de solo mais propícios para a prática da agricultura aqui na região onde mora? Por quê?
- 11) Pode citar algum problema com o solo da região?
- 12) O que faz para melhorar o solo para a agricultura?
- 13) O(A) senhor(a) possui algum conhecimento sobre a contaminação/poluição do solo?
- 14) O(A) senhor(a) possui algum conhecimento sobre metais pesados?
- 15) Existe algum familiar ou alguém próximo que possua comorbidades? Se sim, faz algum tipo de acompanhamento médico?

- 16) Relaciona esta comorbidade a alguma problemática com o solo e/ ou aos metais presentes na contaminação?
- 17) Algum órgão municipal, estadual ou federal já tomou conhecimento ou coletou dados, informações ou amostras em sua propriedade?
- 18) Considerando sua renda familiar e seu cultivo agrícola, já recorreu ao(à) senhor(a) realizar compra de produtos de terceiros? Por qual motivo?
- 19) Em algum momento já percebeu alterações em suas plantas cultivadas, seja aquelas da lavoura, do jardim ou no entorno da residência?
- 20) Por acaso já observou alguma alteração nos animais de criação (em especial nos herbívoros que pastoreiam ao redor da propriedade)?
- 21) Já teve algum problema para escoar a produção agrícola que o(a) senhor(a) produz? Se sim, qual?