

**CENTRO UNIVERSITÁRIO TABOSA DE ALMEIDA, ASCES-  
UNITA**

**BACHARELADO EM ENGENHARIA AMBIENTAL**

**TAIZA KARLA ALVES SOUZA**

**ESTUDO DE PLANTAS NATIVAS DA CAATINGA  
SUBMETIDAS A SOLOS CONTAMINADOS POR METAIS  
PESADOS.**

**CARUARU**

**2017**

TAIZA KARLA ALVES SOUZA

**ESTUDO DE PLANTAS NATIVAS DA CAATINGA  
SUBMETIDAS A SOLOS CONTAMINADOS POR METAIS  
PESADOS.**

Projeto de pesquisa a ser submetida ao Núcleo de Trabalho de Conclusão de Curso – NTCC do Centro Universitário Tabosa de Almeida – ASCES/UNITA como requisito parcial da Disciplina Projeto Final de Curso II do curso de Bacharelado em Engenharia Ambiental.

Orientador: Prof. Msc. Mariana Ferreira Martins Cardoso.

**Caruaru**

**2017**

"É dever de todos proteger e conservar o maior patrimônio nacional, pois a nação que destrói o seu solo destrói a si mesma."

Franklin Delano Roosevelt

## AGRADECIMENTOS

À Deus e as forças do universo, porque se cheguei nessa etapa, tudo deu certo de certa forma;

À minha mãe, por todo apoio e crédito, mesmo estando longe;

À minha irmã, por todo apoio durante essa jornada de graduação;

À minha amiga-irmã Willany, por todo apoio e parceria nos momentos de felicidade e de turbulência.

À minha amiga e orientadora Mariana Cardoso, pela orientação, brigas e ensinamentos que contribuíram para minha evolução como ser humano.

Ao meu amado Coxinha (Prof. Henrique John), que tive a sorte de conhecer e conviver nessa jornada, e por todos os momentos de apoio e pausa para o chocolate;

À minha equipe técnica: Aline Gótica, Emilia Paredão, Fernanda Pitanguinha, Gabriella Maysa, Leticia Pac-Man, Lore Hélio (L. Araújo), Kel (Thainna), Mamedes, Nathy e Zé (L. Matias). Sem a ajuda de vocês esse trabalho não teria acontecido. Gratidão eterna.

À Lely, por ouvir pacientemente minhas reclamações e pelos momentos de descontrações quando necessário (ou não);

Aos técnicos do laboratório da Faculdade, em especial, Letícia e Jéssica;

À todos que contribuíram, diretamente ou indiretamente, para a execução desse trabalho.

TAIZA KARLA ALVES SOUZA

**ESTUDO DE PLANTAS NATIVAS DA CAATINGA  
SUBMETIDAS A SOLOS CONTAMINADOS POR METAIS  
PESADOS.**

Orientadora: Prof<sup>ª</sup>: MSc. Mariana Ferreira Martins Cardoso

Aprovado em: \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_\_

**BANCA EXAMINADORA**

---

Presidente: Prof: MSc. Mariana Ferreira Martins Cardoso

---

Primeiro Avaliador: Prof. Dsc. Deivid Sousa de Figueiroa

---

Segundo Avaliador: Prof. Dsc. Henrique John Pereira Neves

CARUARU – PE

2017

## RESUMO

O solo é visto como opção viável para descarte por ser potencial em absorver metal pesado. Alguns metais são essenciais para a existência de vegetação, mas o excesso de alguns como Cu, Pb e Zn, vem sendo associados a poluição do solo. Diversas tecnologias para remediação do solo por metais vêm sendo questionadas por seu alto custo e geração de resíduos. Espécies brasileiras estão sendo estudadas, quanto ao seu poder de acumulativo de metais pesados para posteriormente ser utilizadas para recuperação de áreas degradadas. Espécies da caatinga apresentam características distintas como resistência a temperaturas e disponibilidade hídrica. Objetivou-se com esse trabalho avaliar plantas nativas da caatinga submetidas a solos contaminados por metais pesados. As espécies *Commiphora Leptophlocos* (Imburana), *Chorisia Glaziovii* (Barriguda) e *Tabebuia Impetiginosa* (Pau D'arco) apresentaram potencial em acúmulo e distribuição dos metais. A espécie *Chorisia Glaziovii* (Barriguda) demonstrou maior eficiência. As caracterizações químicas dos solos e espécies foram determinadas através do espectrômetro de fluorescência de raio x.

**Palavras-chave:** Fitorremediação, metais pesados, contaminação do solo.

## ABSTRACT

The soil is seen as a viable option for disposal because it is potential to absorb heavy metal. Some metals are essential for the existence of vegetation, but the excess of some as Cu, Pb and Zn, has been associated with soil pollution. Several technologies for soil remediation by metals have been questioned because of their high cost and waste generation. Brazilian species are being studied as to their cumulative power of heavy metals to later be used for the recovery of degraded areas. Caatinga species present distinct characteristics such as temperature resistance and water availability. The objective of this work was to evaluate native plants of the caatinga submitted to soils contaminated by heavy metals. The species *Commiphora leptophloea* (Imburana), *Chorisia glaziovii* (Barriguda) and *Tabebuia impetiginosa* (Pau D'arco) presented potential in accumulation and distribution of the metals. The *Chorisia glaziovii* (Barriguda) species showed greater efficiency. The chemical characterization of soils and species were determined using the x-ray fluorescence spectrometer.

**Key words:** Phytoremediation, heavy metals, soil contamination.

## LISTA DE SIGLAS

A	Aluviais
C	Cambissolos
Cd	Cádmio
Cr	Cromo
Cu	Cobre
Fe	Ferro
G	Gleissolos
Hg	Merúrio
Kg	Quilos
Mn	Manganês
NC	Brunos não cálcicos
Ni	Neônio
PA	Podzólicos Amerelos
Pb	Chumbo
pH	potencial Hidrogeniônico
PL	Planassolos e Solonets Solodizados
PV	Podzólicos Vermelho-Amerelos
R	Litólicos
RE	Regossolos
Zn	Zinco

## RELAÇÃO DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Mapa de solos do município de Caruaru-Pe. ....	23
<b>Figura 2.</b> Muda da espécie Imburana. ....	25
<b>Figura 3.</b> Espécie Imburana adulta. ....	26
<b>Figura 4.</b> Muda da espécie Barriguda. ....	27
<b>Figura 5.</b> Espécie Barriguda adulta. ....	28
<b>Figura 6.</b> Muda da espécie Pau D'arco. ....	30
<b>Figura 7.</b> Espécie Pau D'arco adulta. ....	31
<b>Figura 8.</b> Método dos pontos de coleta. ....	36
<b>Figura 9.</b> Método de medições da altura e diâmetro das mudas. ....	37
<b>Figura 10.</b> Processo de plantio iniciado. ....	38
<b>Figura 11.</b> Processo de plantio finalizado. ....	39
<b>Figura 12.</b> Imburana 5 com alteração de cor. ....	45
<b>Figura 13.</b> Imburana 6. ....	46
<b>Figura 14.</b> Barriguda 4. ....	48
<b>Figura 15.</b> Pau D'arco 8. ....	50
<b>Figura 16.</b> Classificação do solo utilizado no estudo de acordo com a Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. ....	53

## RELAÇÃO DE TABELAS

<b>Tabela 1.</b> Solos do município. ....	23
<b>Tabela 2.</b> Espécies selecionadas no estudo. ....	32
<b>Tabela 3.</b> Intervalos dos monitoramentos. ....	40
<b>Tabela 4.</b> Concentrações dos contaminantes. ....	41
<b>Tabela 5.</b> Determinação do potencial Hidrogênico. ....	43
<b>Tabela 6.</b> Monitoramento da espécie Imburana. ....	44
<b>Tabela 7.</b> Monitoramento da espécie Barriguda. ....	47
<b>Tabela 8.</b> Monitoramento da espécie Pau D'arco. ....	49
<b>Tabela 9.</b> Resultado do processo de peneiramento de um ensaio de granulometria do solo utilizado no estudo. ....	52
<b>Tabela 10.</b> Caracterização química do solo da espécie Imburana. ....	54
<b>Tabela 11.</b> Caracterização química do solo da espécie Barriguda. ....	55
<b>Tabela 12.</b> Caracterização química do solo da espécie Pau D'arco. ....	56
<b>Tabela 13.</b> Determinação de Zn, Cu e Pb nos tecidos vegetais da Imburana. ....	57
<b>Tabela 14.</b> Determinação de Zn, Cu e Pn nos tecidos vegetais da Barriguda. ....	58
<b>Tabela 15.</b> Determinação de Zn, Cu e Pb nos tecidos vegetais da Pau D'arco. ....	59

## Sumário

<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	13
<b>2. OBJETIVOS</b> .....	16
2.1 OBJETIVO GERAL .....	16
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	16
<b>3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	17
3.1. SOLOS .....	17
3.2. METAIS PESADOS .....	17
3.3. ESPÉCIES TOLERANTES .....	19
3.4. POTENCIAL DE FITORREMEDIAÇÃO .....	20
3.5. BIOMAS BRASILEIROS.....	21
3.6. AGRESTE.....	21
3.7. ESPÉCIES VEGETAIS TÍPICAS DA CAATINGA.....	24
<b>4. MATERIAIS E MÉTODOS</b> .....	32
4.1. LOCAL E PERÍODO DE ESTUDO.....	32
4.2. TIPO DE ESTUDO.....	32
4.3. SELEÇÃO DAS ESPÉCIES .....	32
4.4. ANÁLISES DO SOLO UTILIZADO NA PESQUISA .....	33
4.5. ANÁLISES DA ESPÉCIE UTILIZADO NA PESQUISA.....	36
4.6. PLANTIO E ACOMPANHAMENTO DAS MUDAS .....	38
4.7. CONTAMINAÇÃO DO SOLO EM LABORATÓRIO POR METAIS PESADOS .....	40
4.8. PARÂMETROS FISIOLÓGICOS E MORFOLÓGICOS DAS ESPÉCIES DE PLANTAS .....	41
4.9. PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS DO SOLO .....	42
<b>5. RESULTADOS E DISCUSSÕES</b> .....	43
5.1. CARACTERIZAÇÃO DO SOLO .....	43
5.2. TAXA DE SOBREVIVÊNCIA .....	43
5.3. DESENVOLVIMENTO INICIAL .....	43
5.4. UMIDADE HIGROSCÓPICA DO SOLO .....	51
5.5. DISPONIBILIDADE DE MATÉRIA ORGÂNICA.....	51
5.6. ANÁLISE GRANULOMÉTRICA POR PENEIRAMENTO.....	51
5.7. CLASSIFICAÇÃO DO SOLO .....	52
5.8. CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA DOS SOLOS .....	54
5.9. CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA DAS ESPÉCIES .....	57

<b>6. CONCLUSÃO</b> .....	60
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	61

## 1. INTRODUÇÃO

No início da civilização, o homem exercia pouca influência ao ambiente, mas com o avanço industrial e urbano, aliado a busca incessante dos bens de consumo, provocou ao meio ambiente danos quase irreversíveis e de difícil restauração (BRADY; WEIL, 2013).

Segundo Viana (2011), essa busca ao consumo tem como uma das consequências, a geração de resíduos e seu descarte inadequado. O descarte inadequado resulta em diversos impactos ambientais como, por exemplo, a contaminação do solo. O impacto ao meio ambiente resultante da decomposição destes resíduos ocorre através da liberação de contaminantes. Estes contaminantes podem ficar depositados no solo por décadas, pois podem ter características bioacumulantes ou serem de lenta degradação.

O solo dentre os recursos naturais tem sua importância, pois ele está aliado a produtividade agrícola, é dele que provém parte dos nossos alimentos, seja direta ou indiretamente. É onde crescem os plantios e pastagens e através dele que os nutrientes são transportados. Recebe a água das chuvas que depois surge nas nascentes e mananciais, assegurando a biodiversidade das florestas, campos e cerrados (LEPSCH, 2010).

As raízes das plantas normalmente crescem no solo, pois este proporciona a elas um ambiente firme para sua sustentação, bem como maleável ao seu crescimento e fornecendo ainda elementos essenciais ao seu desenvolvimento. A composição do solo é variada e, por isso, cada tipo de vegetação se adapta a um certo tipo de solo. Portanto, as características do solo determinam a diversidade de animais que a flora pode sustentar. Parte dos nutrientes do solo provém dos minerais que constituem os materiais dos quais ele se formou. Geralmente, esses materiais geológicos não são capazes de suportar e sustentar plantas superiores, então ocorre o intemperismo, isto é, desgaste das rochas formando o solo em si. Este desgaste permite o crescimento das raízes e o desprendimento de nutrientes minerais tornando os disponíveis para serem assimiláveis pelas raízes (VIANA, 2011; BRADY ; WEIL, 2013).

Segundo Cooper (2008), o solo é visto como uma opção viável para descarte de resíduos por sua eficiência de biodegradação e pela habilidade do solo em absorver metais pesados. Alguns destes resíduos podem ter características químicas úteis ao crescimento

das plantas, tais como: N, P, K, Ca, Fe, Zn, Cu, B, Mg, S e C; mas a maior parte deles é prejudicial ao ambiente podendo conter metais pesados, que se em formas disponíveis, podem ser absorvidos pelas plantas, prejudicando seu desenvolvimento, além do risco de utilização destas plantas por homens e animais. Pombo (1992), ressalta que quando se adiciona um resíduo ao solo, adicionam-se também outros constituintes orgânicos e inorgânicos, entre eles os metais pesados, que no processo de biodegradação, podem aumentar a retenção dos mesmos, diminuindo sua disponibilidade, mas por outro lado, a biodegradação desses resíduos pode tornar acessíveis formas de baixa disponibilidade de metais.

A disponibilidade e as formas químicas que se encontram os metais pesados como: solúvel, trocável, ocluso ou fixado aos minerais, precipitados com outros compostos, na biomassa e complexado na matéria orgânica, irá determinar a proporção do impacto ao ambiente e ao vegetal. Visando a redução dos impactos ambientais por contaminantes do solo, processos e tecnologias de remediação de solos contaminados por metais pesados vêm sendo estudados e aplicados (VIANA, 2011).

Segundo Silva (2012), as tecnologias de remediação de solos poluídos por metais utilizam escavação e aterramento do solo, desejando evitar a perda do mesmo por erosão e lixiviação. No entanto, em seu processo, essas técnicas geram resíduos que exigem tratamento, tornando o processo caro, apesar de sua eficiência. Outra tecnologia utilizada é a imobilização de metais pesados, que se trata da adição de amenizantes químicos ou orgânicos, que possam imobilizar ou tornar os contaminantes menos disponíveis no solo, evitando a absorção por plantas ou lixiviação para lençol freático.

Um método ainda em desenvolvimento e pouco estudado no Brasil é a fitorremediação, no qual plantas são utilizadas para remover, conter, transferir, estabilizar ou tornar inofensivos os metais tóxicos. As vantagens da fitorremediação, além do baixo custo, inclui a mínima destruição e desestabilização da área, baixo impacto ambiental e estética favorável fornecendo contenção dos lixiviados, manutenção e melhoria da estrutura física, da fertilidade e da biodiversidade do solo e absorção de metais do solo, cuja extração é dispendiosa, mas para que a técnica seja eficaz, é fundamental que a planta acumule elevadas quantidades de metais (ANSELMO *et al.*, 2005; SILVA 2015).

Espécies encontradas no Nordeste brasileiro como Sabiá (*Mimosa caesalpiniiifolia* Benth), Leucena (*Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit), Nim (*Azadirachta indica* A.

Juss.), foram testadas com a finalidade de caracterizar o potencial fitorremediador na recuperação de áreas degradadas em solos salinos e sódicos. Outras espécies encontradas no Nordeste, Jacarandá Bico de Pato (*Machaerium nycititan*), Cabreúva (*Myroxylon peruiferum*), Angico (*Piptadenia gonoacantha*), Grandiúva (*Trema micrantha* (L.) Blum.), foram testadas com o intuito de avaliar a tolerância em acumular e distribuir de metais pesados em solo contaminado com Zn, Cd, Cu e Pb, relacionando o comportamento dessas ao excesso de metais pesados no solo (SOARES *et al.*, 2001; SANTOS, 2016).

Neste sentido, o referido estudo apresenta uma análise do comportamento de plantas nativas da caatinga, *Commiphora Leptophlocos* (imburana), *Chorisia Glaziovii* (Barriguda) e *Tabebuia Impetiginosa* (Pau D'arco), que foram submetidas a solos contaminados com metais pesados.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1 OBJETIVO GERAL**

Avaliar o comportamento de plantas nativas da caatinga submetidas a solos contaminados por metais pesados.

### **2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Avaliar a capacidade de resistência ou tolerância de espécies vegetais à metais pesados;
- Identificar a espécie adequada para a recuperação de áreas contaminadas.

### 3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

#### 3.1. SOLOS

Segundo Fadigas *et al.*, (2006), é natural encontrar metais pesados em solos, isso porque a composição e proporção dos componentes de sua fase sólida é a matéria de origem do solo.

As rochas são naturalmente mais ricas em metais. Solos comparados com aqueles formados sobre granitos, gnaisses, arenitos e siltitos, proporciona um maior potencial de ocupação de metais para as plantas, em comparação com os solos derivados de gnaiss, arenito e sedimentos. Outros fatores, como o teor e a composição da fração da argila, conteúdo de matéria orgânica e condições físico-químicas dos solos podem influenciar a concentração de metais pesados em solos (FADIGAS *et al.*, 2002).

Santos (2011), diz que para analisar uma área poluída deve-se comparar os teores dos metais com um solo que apresente condições naturais (não poluídos) ou com valores de referência (padrões). Não existe um sistema padrão de referência de metais pesados, ou seja, no cenário mundial, os parâmetros são diferentes para cada continente, no Brasil ainda não foi elaborado um sistema contendo padrões de referência de metais pesados no solo, para avaliação de áreas em relação à contaminação. Essas mudanças derivam principalmente da diversidade de solos e dos diferentes métodos de extração e análise utilizados. Entre os metais pesados, Cd, Pb, Ni e Cr têm sido normalmente associados à poluição e ao risco ecológico.

#### 3.2. METAIS PESADOS

Segundo Carneiro *et al.*, (2001), alguns metais pesados como Fe, Cu, Zn e Mn são fundamentais para funções fisiológicas nos seres vivos, enquanto outros, como Cd, Pb, Hg, não tem funções biológicas conhecidas. Estes elementos estão presentes em rochas e em concentrações elevadas, em áreas contaminadas com adição de rejeitos industriais, biossólidos e alguns agroquímicos. Quando esses elementos estão em grande quantidade no solo, podem inibir o crescimento das plantas e causar alterações nas comunidades

vegetais, como também resultam impactos adversos sobre os microrganismos do solo, afetando funções do ecossistema, com consequências ao meio ambiente e à saúde pública.

De acordo com, Soares *et al.*, (2001), a reabilitação de solos poluídos com metais pesados tem gerado uma preocupação com pesquisas e esforços que facilitem a reabilitação de solos, e assim, possibilitar o retorno da funcionalidade e estabilidade do ecossistema formado. Para isto, procura-se amenizar o efeito da fitotoxicidade dos metais no solo, visando a implantação da vegetação. Programas de recuperação de áreas degradadas utilizam como estratégias a introdução de vegetação com o máximo de diversidade possível, pois, favorece a estabilização das plantas na área e a sucessão vegetal ao longo do processo de restauração.

A vegetação é uma alternativa para a recuperação de solos degradados pelo excesso de metais pesados. Espécies vegetais devem ser avaliadas quanto a sua capacidade de tolerância em absorção a metais pesados (CARNEIRO *et al.*, 2001). Segundo Carneiro *et al.*, (2002), a sobrevivência das espécies que crescem em solos contaminados é relacionada à capacidade destas de tolerar, e não anular, a toxicidade do metal.

A concentração e o acúmulo de metais nas plantas, raízes e parte aérea dependem de sua disponibilidade na solução do solo. As espécies tolerantes normalmente acumulam maiores concentrações de metais pesados na raiz em relação à parte aérea (CARNEIRO *et al.*, 2002; SOARES *et al.*, 2001). As plantas não conseguem evitar a absorção dos metais, mas limitam sua translocação (CARNEIRO *et al.*, 2001), isso ocorre porque as plantas alcançam sua saturação.

### 3.2.1. COBRE (CU)

O cobre é um elemento essencial para plantas e microrganismos, o nível de concentração média deste metal no solo aceitável é de 20  $\mu\text{g.g}^{-1}$  com variações na faixa de 6 a 80  $\mu\text{g.g}^{-1}$ . Altas concentrações deste metal, pode proporcionar efeitos tóxicos ao tecido vegetal e causar deficiência de outros nutrientes básicos através de relações antagônicas (SODRÉ *et al.*, 2001).

### 3.2.2. CHUMBO (PB)

Um solo contaminado com Pb, pode apresentar série de problemas ambientais, como a contaminação de águas superficiais e de aquíferos e perda de vegetação (MOREIRA *et al.*, 2004). Quando disponível, é prejudicial ao ambiente, podendo ser absorvido pelas plantas, prejudicando seu desenvolvimento, além do risco ao consumir ou utilizar plantas contaminadas por esse metal (POMBO, 1992).

Segundo Alves *et al.* (2008), espécies contaminadas com Pb como (*Vetiveria zizanioides* (L.) Nash), jureminha (*Desmanthus virgatus* (L.) Willd) e algaroba (*Prosopis juliflora* (SW) DC), apresentam maior acúmulo destes elementos nas raízes e podem ser utilizadas para a fitorremediação.

### 3.2.3. ZINCO (ZN)

O zinco é um dos elementos essenciais para as plantas, mas a absorção excessiva desse metal pode causar morte da espécie por toxicidade (ZEITOUNI, 2007).

De acordo com Soares *et al.*, (2001), espécies como apenas *A. mangium*, *C. langsdorffii*, *D. cuneatum* e *T. impetiginosa* apresentam maior sensibilidade a contaminantes como o Zn. Espécies que crescem em solos contaminados podem apresentar efeito fitotóxico aditivo.

## 3.3. ESPÉCIES TOLERANTES

Espécies tolerantes são consideradas acumuladoras, indicadoras e excludoras, de acordo com a capacidade em absorver, transportar e concentrar os metais (SAMPAIO, 2010).

As plantas tolerantes a solos poluídos, são adaptáveis e resistentes a contaminação de metais pesados. Existem mecanismos que influenciam a resistência dos metais pesados na absorção como a consequência da alteração da permeabilidade da membrana, mudança na capacidade de absorção, e mecanismos bioquímicos (SOARES *et al.*, 2001; CARNEIRO *et al.*, 2002; SAMPAIO, 2010).

### 3.4. POTENCIAL DE FITORREMEDIAÇÃO

Os impactos ambientais advindos de atividades industriais e agrícolas, é um agravante e notável responsável pela poluição do solo com metais pesados. Uma das estratégias na reabilitação dessas áreas é a fitorremediação, que consiste na implantação da vegetação no solo mediante distintas técnicas. Na fitoestabilização utilizam-se plantas e agentes amenizantes do solo. Estudos sobre factibilidade de espécies arbóreas para a reabilitação de áreas contaminadas por metais pesados vem recebendo destaque por causa de sua imobilização na biomassa vegetal de forma duradoura e muitas vezes permanente. (CARNEIRO *et al.*, 2002).

A fitorremediação é uma técnica que utiliza como agente descontaminante as plantas, como objetivo de depurar solo e água. É uma opção aos métodos convencionais de bombeamento e tratamento da água, ou remoção física do solo, tendo utilidade principal o potencial economicamente viável. A fitorremediação pode ser empregada em solos contaminados por substâncias inorgânicas e/ou orgânicas, onde resultados promissores já foram alcançados para metais pesados, hidrocarbonetos de petróleo, agrotóxicos, explosivos, solventes clorados e subprodutos tóxicos da indústria (SOUZA, 2010; PIRES *et al.*, 2003).

Segundo Pires *et al.* 2003, a utilização da fitorremediação consiste em algumas espécies que reagem a determinados tipos de compostos ou meios de ação, esse fato é comum em espécies agrícolas e daninhas, resistentes a certos herbicidas. Isso se dá aos compostos orgânicos a possibilidade de serem translocados para outros tecidos da planta e posteriormente volatilizados, podendo ainda sofrer parcial ou completa degradação ou serem alterados para compostos menos tóxicos, combinados e/ou ligados a tecidos das plantas.

A fitorremediação, tem como principal fonte de energia a luz solar, ela vem se popularizando e sugerida como alternativa viável, uma vez que é considerada de baixo custo, promove a manutenção da fertilidade do solo. Embora a avaliação da tolerância e a capacidade de extração de metais por distintas espécies de plantas tenham sido intensificadas, ainda existe a necessidade de incrementar o conjunto de espécies avaliadas para o emprego em programas de fitorremediação de Cu (ANDRADE *et al.*, 2009; ZANCHETA *et al.*, 2011).

Segundo Andrade *et al.* (2009), a avaliação para a planta ideal no uso da fitoextração deve ter as seguintes características: habilidade de hiperacumular metais extraídos, preferencialmente nas partes aéreas; tolerância altas concentrações dos metais no solo; rápido crescimento; alta produção de biomassa e colheita fácil.

### 3.5. BIOMAS BRASILEIROS

Segundo IBGE, o conjunto de tipos de vegetação com fauna e flora distintos, estabelecidos pelas condições físicas predominantes de determinada região, sejam aspectos climáticos, geográficos e litológicos, constituem o bioma, dotado de uma diversidade biológica singular e própria. Os biomas existentes no Brasil são: Amazônia, o cerrado, a Mata Atlântica, a Caatinga, o Pampa e o Pantanal (PORTAL BRASIL, 2009).

De acordo com Embrapa (2007), o nome Caatinga é de origem indígena e significa “mata branca”, trata-se de uma vegetação típica da região nordeste do Brasil (Agreste e Sertão), formada por plantas adaptadas aos períodos de seca prolongados, luminosidade e calor característicos de áreas tropicais, têm como característica uma vegetação de savana estépica, espinhosa e decidual. Abrange nove estados: Piauí, Ceará, Rio Grande do Norte, Paraíba, Alagoas, Sergipe, Bahia, Pernambuco e Minas Gerais. Ocupa uma área de cerca de 800 mil km<sup>2</sup>.

As plantas da Caatinga retratam modificações que permitem sua sobrevivência nos longos períodos de falta de água. São exemplos a queda das folhas na estação seca, a presença de caules e raízes suculentas que armazenam água e nutrientes, o ciclo de vida curto e a dormência das sementes. As plantas nativas apresentam distintas utilidades e podem ser aproveitadas de muitas maneiras, como medicinais; fontes de alimentos e abrigos para insetos; forrageiras; frutíferas; fontes de óleos, cera e fibras; recurso madeireiro e energético e ornamentais (EMBRAPA, 2007).

### 3.6. AGRESTE

O agreste é uma área (faixa paralela à região costeira) do Nordeste brasileiro, situado entre a Zona da Mata e o Sertão. Esta área de transição se estende do Rio Grande

Norte até os planaltos da Bahia. O agreste e o sertão formam o bioma denominado caatinga. As áreas úmidas são próximas à Zona da Mata, enquanto as mais secas estão próximas ao sertão (GARCIA, 2016).

As principais características do Agreste são: presença do clima semiárido; índice pluviométrico médio anual de 700 mm de chuva, onde em algumas áreas é comum a ocorrência de secas; vegetação típica da caatinga com arbustos com galhos retorcidos (aroeiras, angico e juazeiro), além da presença de bromélias e cactos; fauna caracterizada pela presença de várias espécies como, por exemplo, cutia, veado-catingueiro, tatupeba, preá e gambá; criação extensiva de gado, pecuária leiteira e agricultura (em áreas com maior umidade) são as principais atividades econômicas da região; presença de rios intermitentes ou temporários (presença de água apenas no período de chuvas); relevo é variável, com destaque para o Planalto da Borborema, região montanhosa do interior nordestino (GARCIA, 2016).

Algumas cidades localizadas no agreste nordestino são Feira de Santana (Bahia), Campina Grande (Paraíba), Caruaru (Pernambuco) e Arapiraca (Alagoas) (GARCIA, 2016).

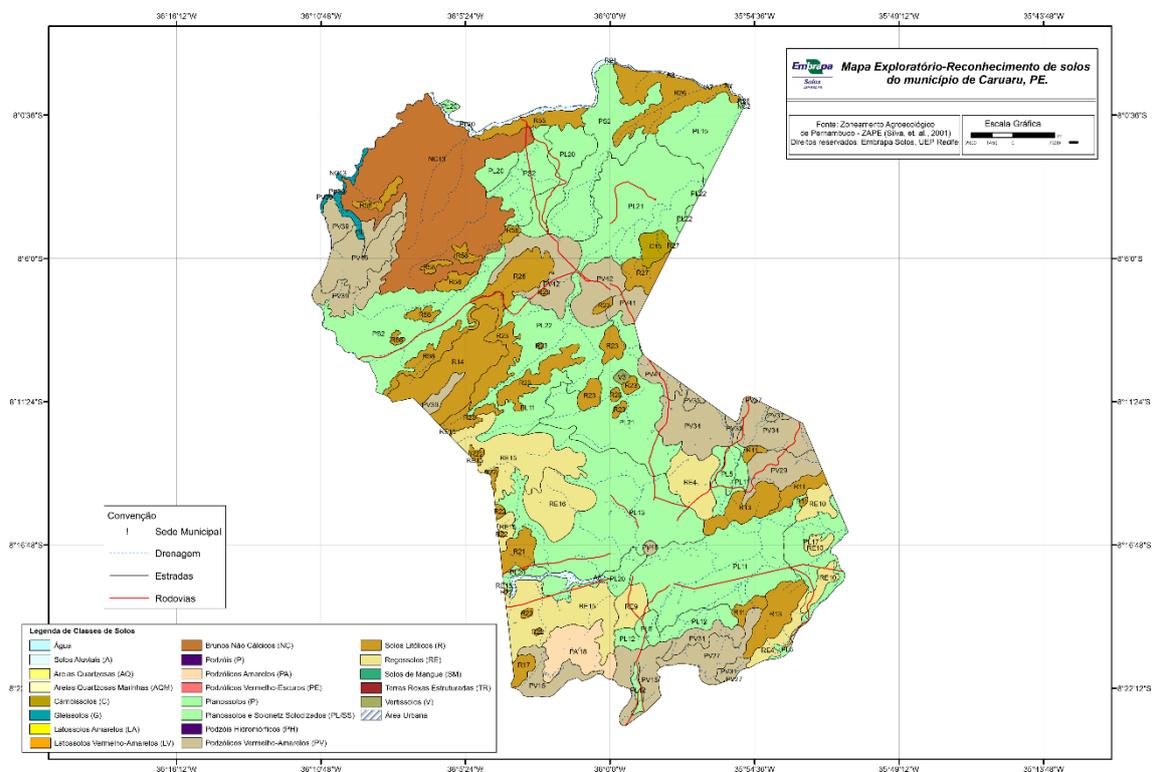
Composto por várias zonas ambientais, contém um gradiente ambiental que se modifica a partir da disponibilidade de água, onde os brejos são mais úmidos, os agrestes compõem uma área importante de transição e os curimataús, cariris e a caatinga desenham uma área mais seca. Cada árvore se adapta a uma região ou mais (AS-PTA, 2011).

De acordo com Garcia (2016), os solos do Agreste possuem excelente qualidade para o plantio de gêneros agrícolas, ou seja, são solos relativamente férteis, que apresentam uma vasta diversidade. Dentre os solos presentes, destacam-se três: os latossolos, argissolos e litossolos encontrados em solos profundos e em solos rasos respectivamente. Na tabela 1, encontram-se os solos presentes no município de Caruaru, local onde o referido trabalho foi realizado, representados também pela figura 1.

**Tabela 1. Solos do município.**

<b>Solos Presentes no Município de Caruaru, PE</b>	
A	Aluviais
C	Cambissolos
G	Gleissolos
NC	Brunos não cálcicos
R	Litólicos
RE	Regossolos
PA	Podzólicos Amerelos
PL	Planossolos e Solonets Solodizados
PV	Podzólicos Vermelho-Amerelos

Fonte: Embrapa Solos.

**Figura 1. Mapa de solos do município de Caruaru - PE.**

Fonte: Embrapa Solos.

### 3.7. ESPÉCIES VEGETAIS TÍPICAS DA CAATINGA

A caatinga é a formação típica do Agreste, formada por plantas tolerantes a períodos de seca. Parte da caatinga é formada por plantas tortas, de folhas pequenas e espinhosas. Bioma rico em plantas e animais, apenas encontrados na região.

No presente estudo, foram utilizadas as espécies descritas nos itens subsequentes.

#### 3.7.1. *Commiphora Leptophlocos*

**Nome científico:** *Commiphora Leptophlocos*

**Família:** Burseraceae

**Nome Popular:** Imburana, Imburana-de-cambão e umburana.

A árvore apresenta um comportamento decíduo. Na idade adulta pode atingir altura de 12 m e 60 cm de diâmetro. Espécie indicada para primeira fase de recuperação de áreas degradadas, com finalidade de enriquecer capoeiras e matas devastadas (EMBRAPA, 2009).

A espécie *Commiphora Leptophloeos* ocorre também na Bolívia. No Brasil, a espécie é encontrada no estado de Alagoas, Bahia, Ceará, Goiás, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Minas Gerais, Paraíba, Pernambuco, Piauí, Rio Grande do Norte e Sergipe (EMBRAPA, 2009).

A sementes frescas germinam rapidamente. Quando produzidas em cativeiros, a reprodução ocorre atrás de estacas, formando rapidamente cercas-vivas. Deve ser semeada meio a sombra (AS-PTA).

**Figura 2.** Muda da espécie Imburana.



Fonte: AS-PTA.

**Figura 3.** Espécie Imburana adulta.



Fonte: Paisagismo Digital.

### **3.7.2. *Chorisia Glaziovii***

**Nome científico:** *Chorisia Glaziovii*

**Família:** Bombacaceae

**Nome Popular:** Barriguda, Paineira-branca, Árvore-da-seda, Árvore-da-lã, Tronco bojudó.

Podendo atingir até 30 m na fase adulta, a espécie apresenta resistência a temperaturas e a disponibilidade de água. Devido ao seu crescimento rápido, é recomendada para áreas degradadas como plantios heterogêneos (EMBRAPA, 2003).

As germinações das sementes podem ocorrer diretamente em sacos ou carregadas pelo vento, pois são revestidas em pluma. Muito utilizada para a confecção de almofadas

e brinquedos, a pluma é usada na germinação da Barriguda por ser um ótimo isolante ao som e temperaturas altas (AS-TA, 2011).

**Figura 4.** Muda da espécie Barriguda.



Fonte: AS-PTA.

**Figura 5.** Espécie Barriguda adulta.



Fonte: Programa Capivara.

### ***3.7.3. Tabebuia Impetiginosa***

**Nome científico:** *Tabebuia Impetiginosa*

**Família:** Bignoniaceae

**Nome Popular:** Ipê-roxo, Pau-D'arco-Roxo, Ipê-Roxo-de-Bola, Ipê-Una, Ipê-Preto, Pau-Cachorro.

Segundo Embrapa (2003), o tamanho da árvore varia de 8 a 12 m, mas pode atingir 20 a 30 m em florestas, diâmetro varia de 60 a 90 cm e apresenta característica decídua. Sua ocorrência estende-se desde estados do Nordeste como Piauí, Pernambuco e Ceará, até o Sudeste e o Sul.

Espécie recomendada para reflorestamento de áreas degradadas, áreas de preservação permanente, devido sua resistência a temperaturas e disponibilidade hídrica, e por apresentar um crescimento rápido.

A germinação ocorre através do vento, pois as sementes possuem asas. Quando produzidas, as sementes devem ser colhidas ainda nas árvores, pois perdem rapidamente o poder de germinação (AS-PTA, 2011).

**Figura 6.** Muda da espécie Pau D'arco.



Fonte: AS-PTA.

**Figura 7.** Espécie Pau D'arco adulta.



Fonte: Naturopatia e terapias orientais.

## 4. MATERIAIS E MÉTODOS

### 4.1. LOCAL E PERÍODO DE ESTUDO

O Presente trabalho foi desenvolvido no Centro Universitário Tabosa de Almeida (ASCES-UNITA), localizado no Município de Caruaru-PE, no período de 02/2017 a 05/2017. A área de plantio das mudas encontrou-se na área experimental do campus 3, enquanto as análises laboratoriais aconteceram nos laboratórios de engenharia ambiental, no campus 2.

### 4.2. TIPO DE ESTUDO

Tratou-se de um estudo exploratório, de campo, laboratorial, com parâmetros morfológicos, sendo estudo analítico transversal obtendo-se dados em um período de tempo específico.

### 4.3. SELEÇÃO DAS ESPÉCIES

Para o estudo foram selecionadas 3 (três) espécies adaptadas ao Bioma Caatinga, segundo tabela 2 abaixo:

**Tabela 2.** Espécies selecionadas no estudo.

<b>Fitofisionomia</b>	<b>Família</b>	<b>Nome Popular</b>	<b>Espécie</b>
Caatinga	Burseraceae	Imburana	<i>Commiphora</i> <i>Leptophlocos</i>
Caatinga	Bombacaceae	Barriguda	<i>Chorisia Glaziovii</i>
Mata Atlântica e Caatinga	Bignoniaceae	Pau-D'arco-Roxo	<i>Tabebuia</i> <i>Impetiginosa</i>

Fonte: Aatoria própria.

Para a escolha das espécies foram levados em consideração disponibilidade e suas características, como: Resistência à seca, desenvolvimento rápido e excelentes espécie para recompor a vegetação de áreas degradadas.

As foram produzidas e adquiridas na sementeira municipal de Caruaru, em fevereiro de 2017 e os critérios para seleção das mudas em viveiro foram: o estado fitossanitário (ausência de infestação de pragas e doenças), a homogeneidade do estado dos lotes de mudas (mesma idade, porte e origem). Foram produzidas em sacos plásticos (14 cm x 25 cm) com substrato composto de solo da região.

#### 4.4. ANÁLISES DO SOLO UTILIZADO NA PESQUISA

Para a caracterização do solo da pesquisa, foram realizadas análise de pH, conforme o Manual de Métodos de Análises de Solo (EMBRAPA, 1997), bem como medição da quantidade de matéria orgânica, pelo método NBR13600, além de análise da umidade do solo, segundo norma NBR6457 e análise granulométrica através do método NBR7217. A classificação do solo, deu-se pelo método ABNT – NBR NM248.

##### 4.4.1. ANÁLISE DO PH DO SOLO

A medição do potencial Hidrogeniônico foi determinada a partir de uma solução de 150ml derivada de 50g de sedimentos. A solução foi deixada em repouso por uma hora. Após procedimento, a solução foi agitada com bastão de vidro, filtrada e determinado seu pH.

##### 4.4.2. MEDIÇÃO DA MATÉRIA ORGÂNICA DO SOLO

De acordo com a NBR 13.600, transfere-se 50g de sedimentos em cápsulas de porcelana para a estufa de 105°C a 110°C, onde deve permanecer por 24 horas. Após esse procedimento a amostra é vedada com papel-alumínio e transferida para o dessecador, onde deve permanecer até atingir a temperatura ambiente. Em seguida, o papel-alumínio é retirado e registrada a massa. Amostra é encaminhada a mufla, onde a temperatura deve

ser aumentada gradualmente até atingir 440°C para que ocorra a incineração total durante o período de 12 horas.

Equações para determinação em porcentagem de matéria orgânica:

$$\% \text{ M.O.} = \left(1 - \frac{b}{a}\right) \times 100$$

Onde:

A= Massa da amostra seca em estufa, à temperatura de 105°C a 110°C, em g;

B= Massa da amostra queimada em mufla, à temperatura de (440 ± 5)°C, em g;

% M.O. = Porcentagem de matéria orgânica;

#### 4.4.3. AVALIAÇÃO DA UMIDADE DO SOLO

De acordo com, Cardoso (2007), uma amostra de material seco ao ar que passa na peneira de 2,00 mm foi pesada e colocada na estufa de secagem por 24hs a 105°C, e pesado novamente para obter o peso seco da amostra e assim determinado sua umidade pela fórmula:

$$h = \frac{Ph - Ps}{Ps} \times 100$$

Onde:

h = Teor de umidade;

Ph = Peso do material úmido;

Ps = Peso do material seco em estufa a 105°C, até constância de peso.

As pesagens são feitas com aproximadamente 0,001g de precisão.

#### 4.4.4. ANÁLISE GRANULOMÉTRICA DO SOLO

A amostra de solo deve seca ao ar ou pelo uso de aparelho secador, para que a temperatura da amostra não exceda 60°C completando a dessecação do ar. Em seguida, a amostra é encaminhada para as peneiras de N° 16 a 200, colocadas uma sobre a outra (CARDOSO, 2007).

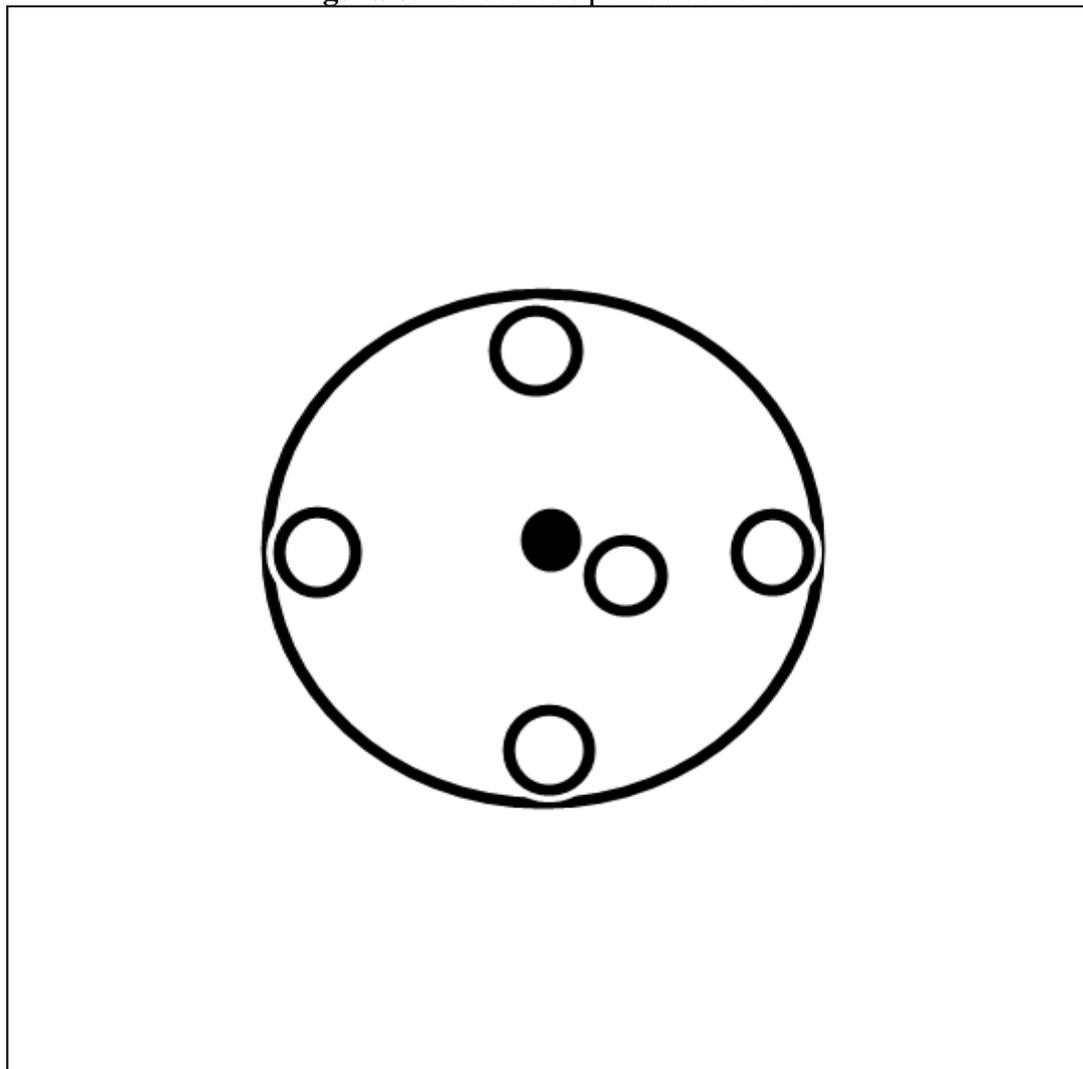
#### 4.4.5. CLASSIFICAÇÃO DO SOLO UTILIZADO NO ESTUDO

Foram realizados 5 (cinco) pontos de coleta para retirada de uma amostra de solo em cada vaso, processo ilustrado na figura 8.

Segundo Cardoso (2007), o material foi coletado e acondicionado em sacos plásticos transparentes e transportados até o Laboratório de Engenharia da Asces-Unita. As análises físicas e químicas foram realizadas nos Laboratórios de Engenharia e Farmácia da Asces-Unita.

Após análises de pH, umidade, matéria orgânica e granulometria, e realizou-se a classificação do solo.

**Figura 8.** Método dos pontos de coleta.



Fonte: Autoria própria.

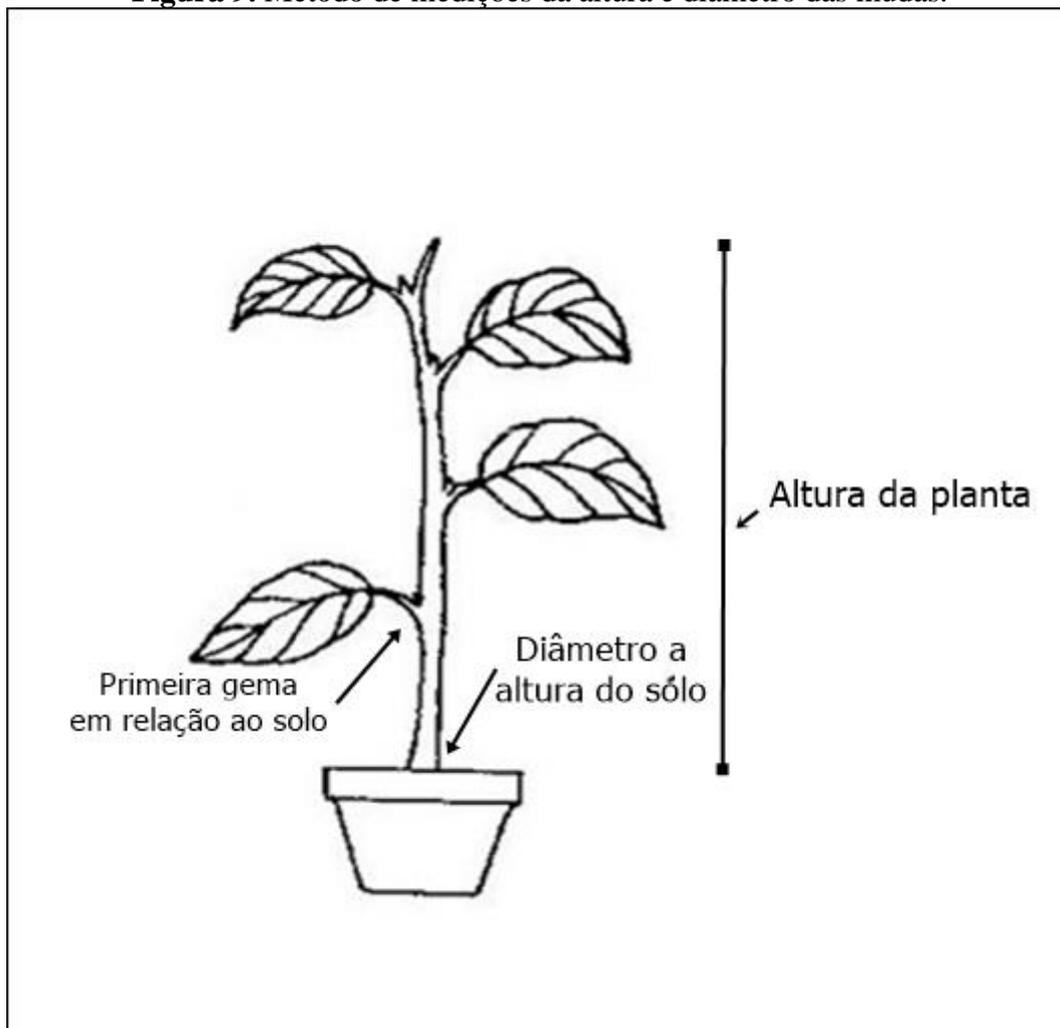
#### 4.5. ANÁLISES DAS ESPÉCIES UTILIZADAS NA PESQUISA

As análises foram baseadas nas taxas de sobrevivência e medições de altura e diâmetro (CARDOSO, 2007).

Foram levados em consideração os seguintes itens:

- Número de espécies vivas;
- Diâmetro na altura do solo, altura total da planta medida do solo até a primeira gema em relação ao solo, com o auxílio de régua graduada em cm, trena e paquímetro.

**Figura 9.** Método de medições da altura e diâmetro das mudas.



Fonte: Autoria própria.

Para avaliar a taxa de sobrevivência durante o estudo, realizou-se cálculos para o período total, utilizando a seguinte equação (CARDOSO, 2007):

$$TS\% = \left( \frac{Ni}{N} \right) \times 100 = \left( \frac{N - Nm}{N} \right) \times 100$$

Onde:

N = Número de indivíduos no início do período avaliado;

Ni = Número de indivíduos sobreviventes durante o período avaliado;

Nm = Número de indivíduos mortos durante o período avaliado.

#### 4.6. PLANTIO E ACOMPANHAMENTO DAS MUDAS

Na área de estudo, foram utilizadas 3 (três) espécies, com triplicata de indivíduos por espécie e por tipo de contaminante do solo, além de um indivíduo de cada espécie para servir de branco (plantado em solo sem adição de contaminantes no solo), totalizando 36 (trinta e seis) indivíduos plantados, monitorados e analisados.

**Figura 10.** Processo de plantio iniciado.



Fonte: A autoria própria.

**Figura 11.** Processo de plantio finalizado.



Fonte: A autoria própria.

O experimento foi realizado em vasos plásticos impermeáveis com capacidade de 10L, sem furos na parte de baixo, para evitar a percolação do contaminante e consequentemente alteração dos resultados, ficando ao ar livre, para garantir às condições climatológicas e pluviométricas da região.

Cada vaso recebeu uma cerca de 9 kg (nove quilos) de solo e uma numeração para identificação, onde os vasos 1 à 09, receberam solo fértil e três tipos de espécies, sendo 3 vasos com (*Commiphora Leptophlocos* – Imburana, *Chorisia Glaziovii* - Barriguda e *Tabebuia impetiginosa* – Pau d’arco roxo) com a finalidade de analisar o comportamento das espécies em um solo fértil e ambiente. Os vasos 10 à 36 receberam solo contaminado com Pb, Cu e Zn.

Cada vaso, recebeu uma espécie e concentração diferente. As concentrações de metais foram determinadas de acordo com a quantidade de solo presente em cada vaso (CARNEIRO *et al.*, 2002).

Durante o período do estudo, foi realizado monitoramentos das espécies, com a finalidade de verificar desenvolvimento por meio de parâmetros fisiológicos (crescimento, desenvolvimento e comportamento), como medição da altura e diâmetro na altura do solo.

Passados os 30 dias do plantio em solo contaminado, foi realizada a coleta de dados para análise dos parâmetros fisiológicos e a retirada das plantas do solo contaminado para avaliação da diminuição ou não do contaminante no solo.

Foram realizados três monitoramentos, onde, a primeira avaliação foi realizada vinte dois dias após o plantio. Intervalos das medições e datas estão descrito na Tabela 2.

**Tabela 3.** Intervalos dos monitoramentos.

Etapa	Tempo Transcorrido	Data
Plantio	-	16/02/2017
1ª Avaliação	22 dias	10/03/2017
2ª Avaliação	53 dias	10/04/2017
3ª Avaliação	80 dias	06/05/2017

Fonte: Autoria própria.

#### 4.7. CONTAMINAÇÃO DO SOLO EM LABORATÓRIO POR METAIS PESADOS

Para realização da pesquisa, optou-se por contaminar o solo em laboratório e não utilizar um solo contaminado em ambiente externo, para manter o controle das variáveis do estudo.

O solo foi contaminado 54 dias após plantio com Chumbo – Pb; Cobre – Cu e Zinco – Zn, através de solução com íons livres de metais para facilitar a absorção das plantas. Pombo (1992), diz que a planta absorve um elemento dependendo da forma íon livre do metal na solução do solo, facilitando o transporte para a raiz.

As concentrações de contaminantes (mg kg<sup>-1</sup>) variavam conforme a quantidade de solo em cada vaso, segundo metodologia descrita por SOARES *et al.* (2001), descritas na tabela abaixo.

**Tabela 4.** Concentrações dos contaminantes.

CONCENTRAÇÕES (mg/L)					
IMBURANA		BARRIGUDA		PAU D'ARCO	
Nº		Nº		Nº	
1	-	1	-	1	-
2	-	2	-	2	-
3	-	3	-	3	-
4	5077	4	5524	4	3961
5	5636	5	6026	5	4798
6	4408	6	5077	6	4854
7	977	7	1180	7	941
8	1096	8	1060	8	941
9	1180	9	1108	9	965
10	0948	10	1068	10	984
11	1080	11	1056	11	984
12	1212	12	1056	12	1020

Fonte: Autoria própria.

#### 4.8. PARÂMETROS FISIOLÓGICOS E MORFOLÓGICOS DAS ESPÉCIES DE PLANTAS

As plantas foram retiradas do solo contaminado e realizado a limpeza de suas raízes para evitar a perda de solo.

Após a retirada do solo, as plantas foram separadas em raiz, caule, folhas e ganhos, para determinar o acúmulo e a distribuição dos metais pesados. Para quantificar o Cu, Pb e Zn, foi usada espectrofotometria de fluorescência de raio X.

#### 4.9. PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS DO SOLO

As amostras dos solos coletados, seco ao ar ou estufa a 40°C, para determinação da proporção destas frações e seu encaminhamento para fins de análises físicas, químicas e mineralógicas (EMBRAPA, 1979).

O solo contaminado, foi analisado para verificar se houve diminuição do contaminante do solo, devido ao plantio da muda. Para quantificar as concentrações de metais pesados presentes no solo, foi usada a espectrofotometria de fluorescência de raio X.

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 5.1. CARACTERIZAÇÃO DO SOLO

Conforme o Manual Internacional de Fertilidade do Solo, solos são classificados com ácidos e alcalinos, onde a troca de íons de hidrogênio irá determinar o grau de acidez e alcalinidade do solo. Solos que apresentam valores de 3,5 a 4,4 são solos extremamente ácidos; 4,5 a 5,0 muito fortemente ácidos; 5,1 a 5,5 fortemente ácido; 5,6 a 6,0 moderadamente ácido; 6,1 a 6,5 levemente ácido; 6,6 a 7,3 neutro; 7,4 a 7,8 levemente alcalino; 7,9 a 8,4 moderadamente alcalino; 8,5 a 9,0 fortemente alcalino. A classificação do solo utilizado no estudo pode ser visualizada por meio da Tabela 5.

**Tabela 5.** Determinação do potencial Hidrogênionico.

DETERMINAÇÃO			
Amostra	Contaminante	pH	Classificação
1	-	5,5	Fortemente ácido
2	Cu	4,5	Muito fortemente ácido
3	Pb	6,0	Moderadamente ácido
4	Zn	6,5	Levemente ácido

Fonte: Aatoria própria.

### 5.2. TAXA DE SOBREVIVÊNCIA

Durante o período do estudo, a taxa de sobrevivência das espécies foi de 100%. Apresentaram resistência a temperatura média de 32°C, disponibilidade hídrica e a capacidade de acúmulo e distribuição de metais.

### 5.3. DESENVOLVIMENTO INICIAL

As mudas foram submetidas a monitoramentos durante o período do estudo, resultados pode ser visualizado nas tabelas 6, 7 e 8.

**Tabela 6.** Monitoramento da espécie Imburana.

ESPÉCIE	METAL	CIRCUNFERÊNCIA na altura do solo (cm)			ALTURA (cm)		
		1 <sup>a</sup> avaliação	2 <sup>a</sup> avaliação	3 <sup>a</sup> avaliação	1 <sup>a</sup> avaliação	2 <sup>a</sup> avaliação	3 <sup>a</sup> avaliação
IMBURANA							
Nº							
1	BRANCO	0,8	1,0	1,0	7,0	7,0	7,0
2	BRANCO	1,0	1,1	1,1	11	11	11
3	BRANCO	0,6	1,0	1,0	32	32	32
4	Zn	0,8	0,9	0,9	12	15	15
5	Zn	0,7	0,7	0,8	5,0	6,0	7,5
6	Zn	0,5	0,5	0,5	9,5	9,5	10
7	Cu	0,5	0,8	1,2	2,0	6,0	6,0
8	Cu	0,7	0,7	0,8	27	27	27
9	Cu	0,7	0,7	0,8	7,8	7,8	9,0
10	Pb	0,4	0,4	0,5	8,0	9,0	9,2
11	Pb	1,1	1,1	1,5	12	12	12
12	Pb	0,9	0,9	1,2	6,5	7,0	7,0

Fonte: Autoria própria.

No último monitoramento as mudas 3, 4 e 6, apresentaram perda de folhas e as de numeração 5 e 8, alteração de cor. Já as mudas 9, 11 e 12, demonstraram alteração de cor e perda de folhas.

As mudas da espécie Imburana padrão banco durante o estudo, não apresentaram alteração em sua taxa de crescimento. Já as mudas contaminadas com Zn, Cu e Pb, demonstraram taxa de crescimento médio de 26,7%, 71,7% e 7,5% respectivamente.

**Figura 12.** Imburana 5 com alteração de cor.



Fonte: Autoria própria.

**Figura 13.** Imburana 6.



Fonte: Aatoria própria.

**Tabela 7.** Monitoramento da espécie Barriguda.

ESPÉCIE BARRIGUDA Nº	METAL	CIRCUNFERÊNCIA na altura do solo (cm)			ALTURA (cm)		
		1ª avaliação	2ª avaliação	3ª avaliação	1ª avaliação	2ª avaliação	3ª avaliação
1	BRANCO	1,0	1,0	1,1	70	73	74
2	BRANCO	0,9	0,9	0,9	29	29	32
3	BRANCO	0,9	0,9	1,0	37	40	40
4	Zn	1,5	1,5	1,5	24	24	35,5
5	Zn	1,0	1,0	1,0	47,7	49	49
6	Zn	0,8	0,8	1,1	74	75,5	75,5
7	Cu	0,8	0,8	1,0	23	51	52
8	Cu	0,9	0,9	1,0	72	73,8	73,8
9	Cu	1,3	1,3	1,3	12	17	17
10	Pb	0,9	0,9	1,0	34,5	39,5	40
11	Pb	0,8	0,8	1,1	70	70,5	70,5
12	Pb	0,7	0,7	0,9	70	70	73,0

Fonte: Autoria própria.

Durante o último monitoramento, as mudas 1, 3, 4, 5, 6, 7, 8 e 9, apresentaram alteração de cor.

As mudas padrão (branco) da espécie Barriguda apresentaram taxa de crescimento médio de 8,05%. Mudanças que receberam concentrações de Zn, Cu e Pb, apresentaram taxa de crescimento médio de 17,5%, 56,7% e 6,93% respectivamente.

Comparando com o padrão (branco), as mudas contaminadas com Zn, apresentaram crescimento médio em 217%. Mudanças com o contaminante Cu em 704% e as mudas com Pb, apresentaram inibição de crescimento em 13,9%.

**Figura 14.** Barriguda 4.



Fonte: Autoria própria.

**Tabela 8.** Monitoramento da espécie Pau D'arco.

ESPÉCIE	METAL	CIRCUNFERÊNCIA na altura do solo (cm)			ALTURA (cm)		
		1 <sup>a</sup> avaliação	2 <sup>a</sup> avaliação	3 <sup>a</sup> avaliação	1 <sup>a</sup> avaliação	2 <sup>a</sup> avaliação	3 <sup>a</sup> avaliação
PAU D'ARCO Nº							
1	BRANCO	0,8	0,8	0,8	70	74	74
2	BRANCO	0,3	0,4	0,4	43	44	44
3	BRANCO	0,4	0,4	0,4	46	47	48
4	Zn	0,5	0,5	0,5	46	47	47
5	Zn	0,6	0,6	0,6	77	79	79
6	Zn	0,3	0,3	0,3	27	28	28
7	Cu	0,6	0,6	0,6	77	78	78,8
8	Cu	0,5	0,5	0,5	63	69	69
9	Cu	0,6	0,6	0,6	65,3	65,4	65,4
10	Pb	0,5	0,5	0,5	66	68	70
11	Pb	0,5	0,5	0,5	84	84,5	85,8
12	Pb	1,1	1,1	1,1	48,5	57	57

Fonte: Autoria própria.

Durante o primeiro monitoramento, o muda 8 da espécie Pau D'arco apresentou perda de folhagem, devido a disponibilidade hídrica e a temperatura. No terceiro e último monitoramento, as mudas de números 2 e 9, tiveram perda de folhas; 8 e 11 aparições de manchas escuras e as mudas 1, 7 e 9, alteração de cor.

As mudas padrão (branco), tiveram taxa de crescimento médio de 4,12%. As mudas que receberam concentrações de Zn, Cu e Pb, apresentaram taxa de crescimento de 2,82%, 4% e 8,56% respectivamente.

Portanto, as mudas contaminadas com Zn, apresentaram inibição de crescimento em 68%. Já as mudas contaminadas com Cu, apresentaram um crescimento dentro do padrão branco e as mudas contaminadas com Pb, taxa de crescimento de 207%.

**Figura 15.** Pau D'arco 8.



Fonte: Autoria própria.

#### 5.4. UMIDADE HIGROSCÓPICA DO SOLO

O teor de umidade do solo é um dos processos utilizados para determinar as características do solo, como por exemplo, a velocidade da permeabilidade.

O solo utilizado no estudo apresenta teor de umidade de 9,39%, o que representa um valor considerável, pois, facilita o fluxo de água.

#### 5.5. DISPONIBILIDADE DE MATÉRIA ORGÂNICA

Matéria orgânica consiste em resíduos de plantas e de animais em fases de decomposição presentes no solo. O solo utilizado no estudo apresentou um teor de matéria orgânica de 8,9%.

#### 5.6. ANÁLISE GRANULOMÉTRICA POR PENEIRAMENTO

A análise granulométrica é o procedimento utilizado para a determinação da textura do solo. Os fatores relacionados ao solo como, água e ar, influencia o arejamento do mesmo, pois ocupam espaços nos poros. A textura do solo é determinada pela quantidade de areia, silte e argila presentes no solo. As proporções de areia, argila e silte iram modificar as características do solo, como: temperatura, disponibilidade de nutrientes, pH, capacidade de retenção de água, entre outros. Composição granulométrica do solo usado no estudo na Tabela 9.

**Tabela 9.** Resultado do processo de peneiramento de um ensaio de granulometria do solo utilizado no estudo.

COMPOSIÇÃO GRANULOMÉTRICA – NBR 7217 – AREIA						
PENEIRAS		DETERMINAÇÃO		% Retida Acumulada	Diâmetro médio (mm)	Classificação
Nº	Abertura (mm)	Peso Retido (g)	% Retida			
16	1,20	0,013	12,1495327	12,149533	1,2	Areia Grossa
30	0,600	0,012	11,2149533	23,364486	1,2	Areia Grossa
40	0,425	0,016	14,953271	38,317757	0,725	Areia Média
60	0,250	0,018	16,8224299	55,1401869	0,4625	Areia Média
100	0,150	0,019	17,7570093	72,8971963	0,275	Areia Fina
200	0,075	0,016	14,953271	87,8504673	0,15	Areia Fina
Fundo	0,010	0,013	12,1495327	100	0,0475	Silte
TOTAL		0,107	0,1	277,570093	4,06	-

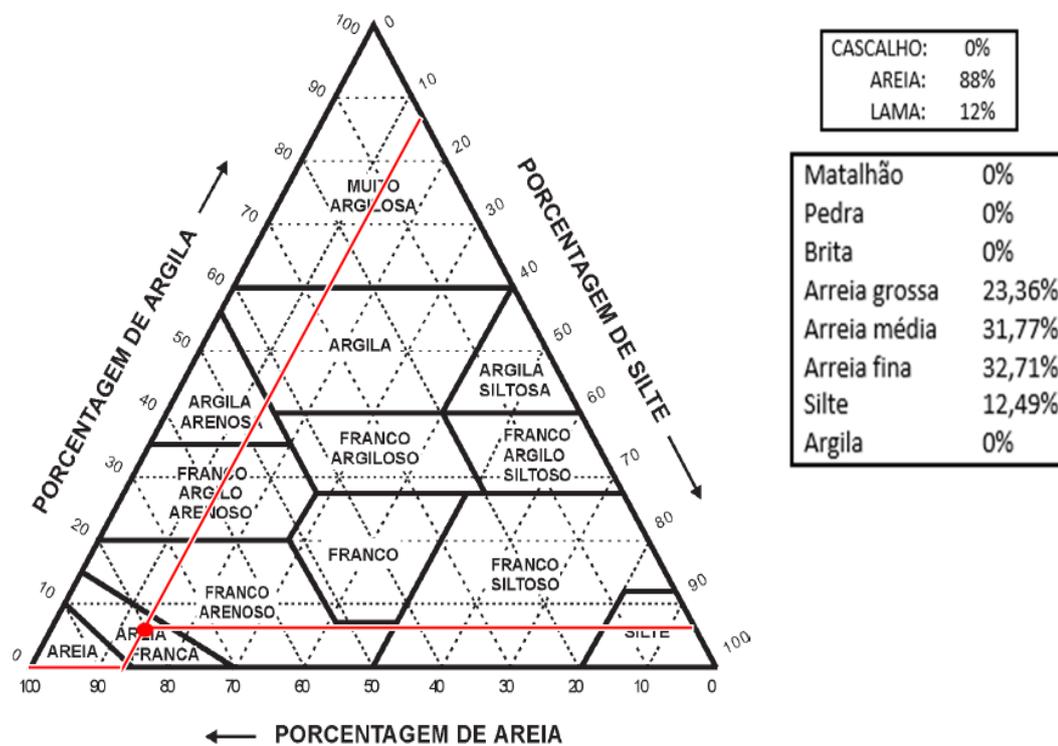
Fonte: Autoria própria.

### 5.7. CLASSIFICAÇÃO DO SOLO

O solo utilizado no estudo, passou pelo processo granulométrico e classificado como um solo arenoso fraco por conter uma pequena quantidade de silte, conforme figura 16.

Solos com essa classificação pode apresentar propriedades e comportamentos como alta potência de lixiviação de poluentes, aeração e potencial de expansão e contração.

**Figura 16.** Classificação do solo utilizado no estudo de acordo com a Sociedade Brasileira de Ciência do Solo.



Fonte: Autoria própria.

## 5.8. CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA DOS SOLOS

Áreas urbanas apresentam altos teores de contaminantes devido à falta de saneamento, descarte incorreto de resíduos domésticos e industriais ou até mesmo produtos agrícolas, como fertilizantes.

Antes do processo de contaminação, o solo já apresentava teores de Pb e Zn, devido a sua localização, por estar situado em área urbana, como indicado nas tabelas 10, 11 e 12 abaixo:

**Tabela 10.** Caracterização química do solo da espécie Imburana.

ESPÉCIE	METAL	DETERMINAÇÃO		
IMBURANA		SÓLIDOS (ppm)		
Nº		Pb	Cu	Zn
1	BRANCO	42,8	< LOD	22,16
2	BRANCO	34,37	< LOD	24,74
3	BRANCO	17,47	< LOD	-
4	ZINCO	39,25	< LOD	1224,51
5	ZINCO	40,06	< LOD	1083,27
6	ZINCO	41,83	< LOD	1217,41
7	COBRE	26,65	80,88	15,76
8	COBRE	35,7	131,24	23,75
9	COBRE	42,11	123,27	34,36
10	CHUMBO	189,97	< LOD	15,27
11	CHUMBO	203,47	< LOD	22,14
12	CHUMBO	215,23	< LOD	20,74

Fonte: Autoria própria.

\*< LOD : valores próximos a zero, incapazes de serem detectados pelo equipamento.

**Tabela 11.** Caracterização química do solo da espécie Barriguda.

ESPÉCIE	METAL	DETERMINAÇÃO		
BARRIGUDA		SÓLIDOS (ppm)		
Nº		Pb	Cu	Zn
1	BRANCO	31,83	< LOD	23,6
2	BRANCO	33,66	< LOD	17,7
3	BRANCO	42,87	< LOD	18,35
4	ZINCO	32,04	< LOD	481,26
5	ZINCO	32,19	< LOD	674,08
6	ZINCO	28,87	< LOD	498,38
7	COBRE	29,7	66,38	23,99
8	COBRE	34,61	68,78	22,02
9	COBRE	33,42	39,9	15,3
10	CHUMBO	419,13	< LOD	19,15
11	CHUMBO	195,93	< LOD	13,22
12	CHUMBO	288,15	< LOD	18,8

Fonte: Autoria própria.

\*< LOD : valores próximos a zero, incapazes de serem detectados pelo equipamento.

**Tabela 12.** Caracterização química do solo da espécie Pau D'arco.

ESPÉCIE	METAL	DETERMINAÇÃO		
PAU D'ARCO		SÓLIDOS (ppm)		
Nº		Pb	Cu	Zn
1	BRANCO	32,39	< LOD*	13,63
2	BRANCO	40,21	< LOD*	13,36
3	BRANCO	45,49	< LOD*	16,99
4	ZINCO	36,56	< LOD*	825,6
5	ZINCO	34,79	< LOD*	828,7
6	ZINCO	37,27	< LOD*	719,46
7	COBRE	38,4	64,96	21,3
8	COBRE	36,01	92,1	24,42
9	COBRE	41,37	61,91	29,84
10	CHUMBO	172,28	< LOD*	15,43
11	CHUMBO	176,42	< LOD*	17,08
12	CHUMBO	204,38	< LOD*	19,5

Fonte: Autoria própria.

\*< LOD : valores próximos a zero, incapazes de serem detectados pelo equipamento.

## 5.9. CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA DAS ESPÉCIES

De acordo com a caracterização química das espécies, é possível identificar e quantificar os teores de metais presentes nos tecidos vegetais, e possibilitando a identificação do potencial fitoextrator de cada espécie, como indicado nas tabelas 13, 14 e 15.

**Tabela 13.** Determinação de Zn, Cu e Pb nos tecidos vegetais da Imburana.

ESPÉCIE	METAL	DETERMINAÇÃO		
IMBURANA		SOLIDOS (ppm)		
		Pb	Cu	Zn
FOLHAS	BRANCO	< LOD	< LOD	265,05
CAULE	BRANCO	< LOD	< LOD	19,73
RAIZ	BRANCO	< LOD	< LOD	44,48
GALHOS	BRANCO	< LOD	< LOD	< LOD
FOLHAS	ZINCO	< LOD	< LOD	< LOD
CAULE	ZINCO	< LOD	< LOD	< LOD
RAIZ	ZINCO	18,65	< LOD	37,97
GALHOS	ZINCO	< LOD	< LOD	< LOD
FOLHAS	COBRE	< LOD	< LOD	< LOD
CAULE	COBRE	< LOD	< LOD	62,86
RAIZ	COBRE	26,42	46,36	65,68
GALHOS	COBRE	< LOD	< LOD	< LOD
FOLHAS	CHUMBO	< LOD	< LOD	< LOD
CAULE	CHUMBO	30,14	< LOD	< LOD
RAIZ	CHUMBO	131,84	< LOD	26,66
GALHOS	CHUMBO	< LOD	< LOD	< LOD

Fonte: Autoria própria.

\*< LOD : valores próximos a zero, incapazes de serem detectados pelo equipamento.

As mudas padrão branco, conseguiram sobreviver em solo com teores de Pb e Zn, porém os teores de Zn ficaram acumulados apenas nas raízes.

As mudas que receberam concentrações de Cu, apresentaram maior acúmulo em relação ao Zn e uma melhor taxa de crescimento.

Mudas que receberam concentrações de Pb, tiveram maior absorção, devido à alta concentração de Pb já existente no solo, antes da contaminação.

**Tabela 14.** Determinação de Zn, Cu e Pn nos tecidos vegetais da Barriguda.

ESPÉCIE BARRIGUDA	METAL	DETERMINAÇÃO		
		SOLIDOS (ppm)		
		Pb	Cu	Zn
FOLHAS	BRANCO	< LOD	< LOD	< LOD
CAULE	BRANCO	< LOD	< LOD	< LOD
RAIZ	BRANCO	< LOD	< LOD	< LOD
GALHOS	BRANCO	< LOD	< LOD	< LOD
FOLHAS	ZINCO	80,77	< LOD	71,56
CAULE	ZINCO	35,6	< LOD	904,54
RAIZ	ZINCO	55,13	< LOD	212,11
GALHOS	ZINCO	151,12	< LOD	< LOD
FOLHAS	COBRE	< LOD	< LOD	23,06
CAULE	COBRE	< LOD	83,46	15,12
RAIZ	COBRE	25,92	< LOD	23,06
GALHOS	COBRE	< LOD	< LOD	194,55
FOLHAS	CHUMBO	19,28	50,8	36,46
CAULE	CHUMBO	53,93	< LOD	112,38
RAIZ	CHUMBO	56,42	33,14	101,46
GALHOS	CHUMBO	42,9	< LOD	63,55

Fonte: Autoria própria.

\*< LOD : valores próximos a zero, incapazes de serem detectados pelo equipamento.

Como base na tabela 14, observa-se que a espécie barriguda apresentou maior acúmulo e melhor distribuição dos metais em seus tecidos vegetais.

**Tabela 15.** Determinação de Zn, Cu e Pb nos tecidos vegetais da Pau D'arco.

ESPÉCIE	METAL	DETERMINAÇÃO		
PAU D'ARCO		SOLIDOS (ppm)		
		Pb	Cu	Zn
FOLHAS	BRANCO	< LOD	< LOD	9,5
CAULE	BRANCO	< LOD	< LOD	< LOD
RAIZ	BRANCO	26,72	< LOD	28,12
GALHOS	BRANCO	< LOD	< LOD	151
FOLHAS	ZINCO	< LOD	< LOD	94,85
CAULE	ZINCO	< LOD	< LOD	135,81
RAIZ	ZINCO	30,32	< LOD	132,01
GALHOS	ZINCO	< LOD	< LOD	< LOD
FOLHAS	COBRE	< LOD	< LOD	< LOD
CAULE	COBRE	< LOD	30,46	47,46
RAIZ	COBRE	21,92	27,07	33,6
GALHOS	COBRE	< LOD	< LOD	49,58
FOLHAS	CHUMBO	< LOD	< LOD	< LOD
CAULE	CHUMBO	25,96	< LOD	44,01
RAIZ	CHUMBO	39,87	45,11	33
GALHOS	CHUMBO	< LOD	< LOD	60,58

Fonte: Autoria própria.

\*< LOD : valores próximos a zero, incapazes de serem detectados pelo equipamento.

A partir da tabela 15, nota-se que a espécie Pau D'arco apresenta bom potencial de absorção em relação aos metais.

## 6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

- As espécies conseguiram sobreviver e se desenvolver submetidas a solo contaminado com metais pesados;
- Observou-se que a espécie Imburana apresentou maior potencial extrator ao zinco em relação aos outros metais;
- Espécie Barriguda apresenta maior potencialidade em acúmulo e distribuição de Zn, Cu e Pb;
- A espécie Pau D'arco obteve boa absorção de Zn, porém, não expressa distribuição homogeneizada nos tecidos vegetais;
- A espécie Barriguda apresenta maior eficiência em acúmulo e distribuição, sendo a espécie mais indicada para recuperação de áreas degradadas por metais pesados.
- As análises do comportamento das espécies nativas da Caatinga em relação aos metais pesados mostraram positivas para o processo de fitorremediação;
- A capacidade de resistência ou tolerância de espécies vegetais à metais pesados foram extremamente positivas, podendo ser recomendadas para este tipo de recuperação;
- As espécies identificadas no estudo mostraram-se adequadas para a recuperação de áreas contaminadas.

## REFERÊNCIAS

- ANDRADE, G.M.; MELO, F.V.; GABARDO, J.; SOUZA, P.C.L.; REISSMANN, B.C. Metais pesados em solos de áreas de mineração e metalurgia de chumbo. I – Fitoextração. R. Bras. Ci. Solo, 33:1879-1888, 2009.
- AS-PTA. Plantar árvores para colher o futuro. Esperança-PB, 2011. (Cartilha)
- BECCAN, N.; ANDRADE, J.C.; GOLDINHO, O.E.S.; BARONE, J.S. Química analítica quantitativa elementar. 3ª edição - - São Paulo: Edgard Blucher – Instituto Mauá de tecnologia, 2001.
- BRADY, Nyle C. & WEIL R.R. Elementos da natureza e propriedades dos solos. São Paulo: Bookman, 2013.
- CARDOSO, M. F. M. Indicação metodológica para a recuperação e diferentes fitofisionomias do entorno do reservatório da UHE Luís Eduardo Magalhães. 2007. 52P. Trabalho de conclusão de Curso (Graduação em Bacharel em Engenharia Ambiental). Fundação Universidade Federal do Tocantins, Palmas, TO.
- CARNEIRO, C.A.M.; SIQUEIRA, O.J.; MOREIRA, S.M.F. Comportamento de espécies herbáceas em misturas de solo com diferentes graus de contaminação com metais pesados. Brasília, v. 37, n. 11, p. 1629-1638, nov. 2002.
- CARNEIRO, C.A.M.; SIQUEIRA, O.J.; MOREIRA, S.M.F. Estabelecimento de plantas herbáceas em solo com contaminação de metais pesados e inoculação de fungos micorrízicos arbusculares. Pesq. agropec. bras., Brasília, v. 36, n. 12, p. 1443-1452, dez. 2001.
- CARVALHO, P. E. R. Espécies arbóreas brasileiras. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica; Colombo: Embrapa Florestas, 2008. v. 3.
- COOPER, M. Degradação e Recuperação de Solos. Universidade de São Paulo - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" Departamento de Ciência do Solo LSN-360 Recuperação de Áreas Degradadas, Piracicaba, 2008.
- EMBRAPA, Embrapa SemiÁrido. – Brasília, DF : Embrapa Informação Tecnológica, 2007. 39 p. : il. – (ABC da Agricultura Familiar, 16).

EMBRAPA, Manual de métodos de análise de solo / Centro Nacional de Pesquisa de Solos. – 2. ed. rev. atual. – Rio de Janeiro, 1997. 212p. : il. (EMBRAPA-CNPS. Documentos; 1).

FADIGAS, S.F.; AMARAL-SOBRINHO, B.M.N.; MAZUR, N.; ANJOS, C.H.L.; FREIXO, A.A. Concentrações naturais de metais pesados em algumas classes de solos brasileiros. *Bragantia*, Campinas, v. 61, n. 2, 151-159, 2002.

FADIGAS, S.F.; SOBRINHO, A.B.M.N.; MAZUR, N.; ANJOS, C.H.L.; FREIXO, A.A. Proposição de valores de referência para a concentração natural de metais pesados em solos brasileiros. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.10, n.3, p.699–705, 2006.

GARCIA, M. Agreste nordestino, disponível em: [http://www.suapesquisa.com/geografia\\_do\\_brasil/agreste\\_nordestino.htm](http://www.suapesquisa.com/geografia_do_brasil/agreste_nordestino.htm). Acesso em: 28/08/2016.

GIL, A. C.. Como elaborar projetos de pesquisa. 5. ed. São Paulo: Atlas, 2008

INSTITUTO DA POTASSA & FOSFATO. Manual Internacioal de Fertilidade do Solo / Tradução a adaptação de Alfredo Scheid Lopes. - - 2 ed., ver. e ampl. - - Piracicaba: POTAFOS, 1998.

LEPSCH, Igor F. Formação e conservação dos solos/ Igor F. Lepsch. – 2. Ed. – São Paulo: Oficina de Textos., p.22, 2010.

MARTINS, L.; LAGO, A. A.; ANDRADE, S. C. A.; SALES, M. R. W. Conservação de sementes de ipê-roxo (*tabebuia impetiginosa* (mart. ex dc.) standl) em nitrogênio líquido. *Revista Brasileira de Sementes*, vol. 31, nº 2, p.071-076, 2009.

PIRES, F.R.; SOUZA, C.M.; SILVA, A.A.; PROCÓPIO, S.O.; FERREIRA, L.R. Fitorremediação de solos contaminados com herbicidas. *Planta Daninha*, Viçosa-MG, v.21, n.2, p.335-341, 2003.

POMBO, A.C.L. Absorção de metais pesados por plantas e métodos de avaliação da disponibilidade de cádmio no solo. Tese de Doutorado em Ciencia do Solo – Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre (84p.) – dezembro, 1992.

PORTAL BRASIL, Conheça os biomas Brasil, disponível em: <http://www.brasil.gov.br/meio-ambiente/2009/10/biomas-brasileiros>. Acesso em: 28/08/2016.

QUIMICA 12. Chumbo, disponível em: <http://quimica12aesl.wixsite.com/quimica/chumbo-pb>. Acesso em: 13/05/2017.

SAMPAIO, T.F. Crescimento de espécies nativas da mata atlântica, modificações de atributos físicos do solo e de metais pesados no solo e na planta, em resposta a aplicação de lodo de esgoto. Tese de Mestre em Ciência Florestal - Faculdade de Ciências Agrônômicas da UNESP, Botucatu – SP, 2010.

SANTOS, D.J.A. Determinação de metais pesados em amostras de solo de sepulturas do cemitério ‘Park’ e em amostras de água no lençol freático de região de Anápolis-GO. Tese de licenciamento em química, Universidade Estadual de Goiás, Anápolis, 2011.

SILVA, J.F. Prospecção de plantas fitorremediadoras em solos contaminados por metais pesados. Tese (Doutorado em Biotecnologia) – Universidade Federal do Amazonas, 2012.

SILVA, M. L. M.; ALVES, U. E.; BRUNO, A. L. R.; MOURA, S. S. S.; NETO, S. P. A. Germinação de sementes de *Chorisia Glaziovii* O. Kuntze submetidas ao estresse hídrico em diferentes temperaturas. Ciência Florestal, Santa Maria, v. 26, n. 3, p. 999-1007, jul.-set., 2016.

SILVA, W.R. Fitoextração e bioacessibilidade de As, Cd, Pb e Zn em solos contaminados por resíduos metalúrgico. Tese de Mestrado em Ciência do Solo – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife-PE, 2015.

SOARES, S.F.R.C.; ACCIOLY, A.M.A.; MARQUES, M.S.L.L.T.; SIQUEIRA, O.J.; MOREIRA, S.M.F. Acúmulo e distribuição de metais pesados nas raízes, caule e folhas de mudas de árvores em solo contaminado por rejeitos de indústria de zinco. Departamento de Ciência do Solo, Universidade Federal de Lavras, 2001.

SOUZA, B.E.; SALES, F.M. O gênero *Staelia* Cham. & Schltdl. (Rubiaceae - Spermaceae) no Estado de Pernambuco, Brasil. 18(4): 919-926, 2004.

SOUZA, M.R.F. Fitorremediação de solo contaminado por Metais Pesados. Título de licenciado no curso de Ciências Biológicas - Centro Universitário Metodista Izabela Hendrix, Belo Horizonte – MG, 2010.

UNESP. Cobre Informações Gerais, disponível em:  
[http://www2.fc.unesp.br/lvq/LVQ\\_tabela/029\\_cobre.html](http://www2.fc.unesp.br/lvq/LVQ_tabela/029_cobre.html). Acesso: 13/05/2017

UNESP. Zinco Informações Gerais, disponível em:  
[http://www2.fc.unesp.br/lvq/LVQ\\_tabela/030\\_zinco.html](http://www2.fc.unesp.br/lvq/LVQ_tabela/030_zinco.html). Acesso: 13/05/2017

VIANA, E.M. Fitoextração em solo contaminado com metais pesados. Piracicaba, 2011. 133 p.: il. Tese (Doutorado) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”.

ZANCHETA, F.C.A.; ABREU, A.C.; ZAMBROSI, B.C.F.; ERISMANN, M.N.; LAGÔA, A.M.M.A. Fitoextração de cobre por espécies de plantas cultivadas em solução nutritiva. *Bragantia*, Campinas, 2011.

ZEITOUNI, F. C.; BERTON, S. R.; ABREU, A. C. Fitoextração de cádmio e zinco de um latossolo vermelho-amarelo contaminado com metais pesados. *Bragantia*, Campinas, v.66, n.4, p.649-657, 2007.