



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AMBIENTE, TECNOLOGIA E SOCIEDADE

**USO DE CINZA DE OLARIA E COMPOSTO ORGÂNICO DE MACRÓFITAS  
AQUÁTICAS NA RECUPERAÇÃO DE SOLOS DEGRADADOS**

HIARA RUTH DA SILVA CÂMARA GAUDÊNCIO

Mossoró

2016

HIARA RUTH DA SILVA CÂMARA GAUDÊNCIO

**USO DE CINZA DE OLARIA E COMPOSTO ORGÂNICO DE MACRÓFITA  
AQUÁTICA NA RECUPERAÇÃO DE SOLOS DEGRADADOS**

Dissertação apresentada à Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA), Campus Mossoró, como parte das exigências para a obtenção do título de mestre em Ambiente, Tecnologia e Sociedade.

Orientadora: Profa. Dra. Elís Regina Costa de Morais

Mossoró

2016

© Todos os direitos estão reservados a Universidade Federal Rural do Semi-Árido. O conteúdo desta obra é de inteira responsabilidade do (a) autor (a), sendo o mesmo, passível de sanções administrativas ou penais, caso sejam infringidas as leis que regulamentam a Propriedade Intelectual, respectivamente, Patentes: Lei nº 9.279/1996 e Direitos Autorais: Lei nº 9.610/1998. O conteúdo desta obra tomar-se-á de domínio público após a data de defesa e homologação da sua respectiva ata. A mesma poderá servir de base literária para novas pesquisas, desde que a obra e seu (a) respectivo (a) autor (a) sejam devidamente citados e mencionados os seus créditos bibliográficos.

G266u Gaudêncio, Hiara Ruth da Silva Câmara.  
Uso de cinza de olaria e composto orgânico de  
macrófita aquática na recuperação de solos degradados  
/ Hiara Ruth da Silva Câmara Gaudêncio. - 2016.  
50 f. : il.

Orientadora: Elís Regina Costa de Moraes.  
Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal  
Rural do Semi-árido, Programa de Pós-graduação em  
Ambiente, Tecnologia e Sociedade, 2016.

1. Recuperação de Áreas Degradadas. 2. Cinza. 3.  
Aguapé. 4. Bioma Catinga. 5. Libidibia ferrea. I.  
Costa de Moraes, Elís Regina, orient. II. Título.

O serviço de Geração Automática de Ficha Catalográfica para Trabalhos de Conclusão de Curso (TCC's) foi desenvolvido pelo Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação da Universidade de São Paulo (USP) e gentilmente cedido para o Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (SISBI-UFERSA), sendo customizado pela Superintendência de Tecnologia da Informação e Comunicação (SUTIC) sob orientação dos bibliotecários da instituição para ser adaptada às necessidades dos alunos dos Cursos de Graduação e Programas de Pós-Graduação da Universidade.

HIARA RUTH DA SILVA CÂMARA GAUDÊNCIO

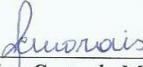
**USO DE CINZA DE OLARIA E COMPOSTO ORGÂNICO DE MACRÓFITAS  
AQUÁTICAS NA RECUPERAÇÃO DE SOLOS DEGRADADOS**

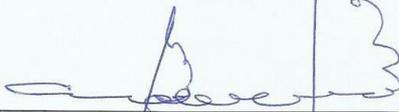
Dissertação apresentada à Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA), Campus Mossoró, como parte das exigências para a obtenção do título de mestre em Ambiente, Tecnologia e Sociedade.

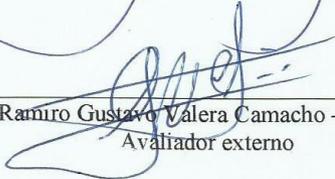
Orientadora: Profa. Dra. Elís Regina Costa de Morais

Aprovada em: 25 / 02 / 2016

**BANCA EXAMINADORA**

  
\_\_\_\_\_  
Elís Regina Costa de Morais – UFERSA  
Presidente

  
\_\_\_\_\_  
Celsemy Eleutério Maia – UFERSA  
Avaliador interno

  
\_\_\_\_\_  
Ramiro Gustavo Valera Camacho – UERN  
Avaliador externo

Ao meu pai Sinésio Câmara Filho (*in memoriam*), pelo esforço, amor e sabedoria incondicionalmente dedicados à educação de suas filhas.

À minha mãe, Isa Maria da Silva Câmara, por todo apoio e por ser esse exemplo de superação e força, que levarei por toda a vida.

## AGRADECIMENTOS

Ao bom Deus por me conceder a força necessária para conduzir esta pesquisa.

Ao meu esposo, Mário Gaudêncio, pela paciência, compreensão e acima de tudo por sua ajuda em alguns momentos desta pesquisa.

À minha família, em especial à minha mãe Isa Maria, por sua confiança e seu apoio incondicional em todas as minhas decisões.

À minha orientadora, Elís Regina, por sua paciente orientação ao longo do desenvolvimento desta pesquisa, aperfeiçoando constantemente a escrita do trabalho. Espero que esta parceria possa seguir um longo caminho durante nossa jornada acadêmica.

Aos membros da banca examinadora, Prof. Celsemy Eleutério Maia e Prof. Ramiro Gustavo Valera Camacho, por suas sábias e valorosas contribuições com este trabalho.

Aos professores do Programa de Pós-Graduação em Ambiente, Tecnologia e Sociedade pelos conhecimentos transmitidos e experiências compartilhadas.

Aos colegas de turma, especialmente à Ana Paula, que está comigo desde a graduação, dividindo conquistas e desafios, por sua ajuda e amizade durante mais essa caminhada; à José Hamilton, pela parceria nos trabalhos, experiências intercambiadas e também pela amizade e respeito conquistados; à Jefferson Alves, pela companhia sempre alegre e por sua valiosa ajuda com a coleta dos aguapés no rio Mossoró. Através dos nomes aqui citados, agradeço a toda turma do mestrado, por tantos momentos vividos e pelos laços de amizade fortalecidos e conquistados. Levarei vocês por toda a vida na memória e no coração.

Aos que fazem o laboratório de biotecnologia da UFERSA, em especial à Maria Valdete da Costa, por sua paciência e disposição para ajudar na preparação das amostras, nas análises e no que mais fosse necessário.

À professora Danielle Marie Macedo Sousa, por sua contribuição valorosa na qualificação do projeto de pesquisa que veio a tornar-se esta dissertação, como também por sua generosa doação das sementes de Jucá para o experimento, além da sua disposição para contribuir com o que mais fosse possível.

Aos empresários e trabalhadores das indústrias cerâmicas visitadas no município de Assú/RN, por nos receber tão bem e por colaborarem com a pesquisa, cedendo informações acerca do processo produtivo bem como as cinzas de seus fornos.

À Kydelmir Dantas e, em seu nome, aos que trabalham na indústria petrolífera do município de Mossoró/RN, por nos permitirem a coleta de solo em área de jazida.

Ao professor Rui Sales Júnior e à professora Jailma Suerda Silva de Lima por nos cederem um espaço em suas estufas para secagem do aguapé e condução do experimento, respectivamente.

Às professoras Carolina Malala Martins e Jeane Cruz Portela e em seus nomes, a todos os que fazem os laboratórios do programa de pós-graduação em Manejo de Solo e Água, pela permissão e ajuda na realização da digestão e análise de plantas.

Ao discente do curso de Agronomia, Henrique Campos, por sua parceria na condução do experimento e também pela amizade e experiências compartilhadas.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão de bolsa durante todo o período em que a pesquisa foi desenvolvida.

Enfim, obrigada a todos e todas que direta ou indiretamente contribuíram para a realização desta pesquisa.

*Se temos de esperar,  
que seja para colher a semente boa  
que lançamos hoje no solo da vida.*

*Se for para semear,  
então que seja para produzir  
milhões de sorrisos,  
de solidariedade e amizade.*

*(Cora Coralina).*

# USO DE CINZA DE OLARIA E COMPOSTO ORGÂNICO DE MACRÓFITA AQUÁTICA NA RECUPERAÇÃO DE SOLOS DEGRADADOS

## RESUMO

A intensificação da atividade humana para fins econômicos tem ocasionado impactos ambientais cada vez mais significativos, como por exemplo, a supressão vegetal e por consequência o empobrecimento do solo. Nesse sentido, esta pesquisa teve como objetivo avaliar o uso de cinza de olaria e composto orgânico de macrófita aquática na recuperação de solos degradados. Assim, o experimento foi conduzido em casa de vegetação com delineamento experimental em esquema fatorial 5x5, sendo cinco doses do composto de aguapé e cinco doses de cinza com três repetições, onde o volume de solo correspondeu a 2 dm<sup>3</sup> e as doses de cinza corresponderam à 0, 1, 3, 5 e 10% do volume de cada vaso e às de composto de aguapé à 0, 5, 10, 20 e 30%. Após a mistura da composição solo, composto e cinza equivalente a cada tratamento, esta foi colocada em vasos plásticos, incubados 20 dias e em seguida realizado o transplântio das mudas de Jucá (*Libidibia ferrea*). Por ocasião da coleta, as mudas foram cortadas ao nível do solo, secas em estufa de circulação forçada de ar a 70°C até peso constante, pesadas, trituradas em moinho para obtenção da matéria seca da parte aérea (MSPA) e posteriormente foram mineralizadas por digestão nítrica. Nos extratos foram determinados os teores totais de Fe, Zn, Mn, Cu, Cd e Pb. Após a retirada das mudas, o solo de cada vaso foi seco ao ar, homogeneizado e quantificado os teores de Fe, Zn, Mn, Cu, Cd e Pb. A adição das doses de cinza e o composto contribuíram para o aumento do pH, que consequentemente influenciou na absorção dos metais pesados pelas mudas, bem como no crescimento das mesmas.

**Palavras-chave:** Recuperação de Áreas Degradadas. Cinza. Aguapé. Bioma Caatinga. *Libidibia ferrea*.

## USE OF POTTERY ASH AND ORGANIC COMPOUND OF AQUATIC MACROPHYTE IN DEGRADED SOIL RECOVERY

### ABSTRACT

The intensification of human activity for economic purposes has caused environmental impacts increasingly significant, for example, the suppression of vegetation and as a result soil impoverishment. In this sense, this research aimed to evaluate the use of pottery ash and organic macrophyte compound in the recovery of degraded soils. Thus, the experiment was conducted in a greenhouse with experimental design in a factorial arrangement of 5x5, being five doses of the compound of water hyacinth and five doses of ash with three replications, where the volume of soil corresponded to 2 dm<sup>3</sup> and ash doses corresponded to 0, 1, 3, 5 and 10% of the volume of each vessel and the water hyacinth compound at 0, 5, 10, 20 and 30%. After mixing the composition of soil, compound and gray equivalent to each treatment, these were placed in plastic vessels, incubated for 20 days and then held the transplanting of Jucá seedlings (*Libidibia ferrea*). On the occasion of collection, the plants were cut at ground level, dry in forced-air oven at 70° C to constant weight, weighed, crushed in a grinder to obtain the dry matter of shoot (MSPA) and they were subsequently mineralized by nitric digestion. In the extracts were determined the total content of Fe, Zn, Mn, Cu, Cd and Pb. After removal of the plants, the soil in each vessel was air dried, homogenised and a sample was removed for performing analysis of Fe, Zn, Mn, Cu, Cd and Pb. The addition of ash and compound doses contributed to the increase in pH, which consequently influenced the absorption of heavy metals by plants as well as in their growth.

**Keywords:** Recovery of Degraded Areas. Ash. Water hyacinth. Caatinga Biome. *Libidibia ferrea*.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Nível de água entre as barragens .....	29
Figura 2 – Coleta, secagem e preparação dos aguapés para o experimento .....	30
Figura 3 – Composto de aguapé .....	31
Figura 4 – Coleta, secagem e preparação de solo para montagem do experimento .....	32
Figura 5 – Produção, transplântio e acompanhamento das mudas de Jucá ( <i>Libidibia Ferrea</i> ) .....	34
Figura 6 – Preparação das plantas e solos para análise .....	35
Figura 7 – Concentrações de Fe (A) e Mn (B) no solo em função de doses de composto para diferentes doses de cinza .....	40
Figura 8 – Concentração de Mn no solo em função de doses de cinza para diferentes doses de composto .....	41
Figura 9 – Matéria seca da parte aérea e concentração de metais pesados em mudas de Jucá em função das doses de composto .....	43
Figura 10 – Matéria seca da parte aérea e concentração de metais pesados em mudas de Jucá em função das doses de cinza .....	44

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Teores de metais pesados nas raízes e parte aérea dos aguapés .....	37
Tabela 2 – pH e teores de metais pesados no composto de aguapé, no solo e na cinza .....	37
Tabela 3 – pH e disponibilidade de metais no solo em função das doses de cinza e composto .....	39
Tabela 4 – Matéria seca e concentração de metais nas mudas de Jucá em função de cinza e composto .....	42
Tabela 5 – Parâmetros ajustados do modelo ( $A_{max}$ , $\alpha$ e $n$ ), coeficiente de determinação ( $R^2$ ), dose que as plantas absorvem 50% da máxima absorção estimada ( $DA_{max50\%}$ ), dose para taxa de absorção máxima ( $DTA_{max}$ ) e taxa de absorção máxima ( $TA_{max}$ ), para os tratamentos com diferentes doses de cinza.....	42

## **LISTA DE ABREVIATURAS**

DCAT – Departamento de Ciências Ambientais e Tecnológicas

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

FEAM – Fundação Estadual do Meio Ambiente de Minas Gerais

IDEMA – Instituto de Desenvolvimento Sustentável e Meio Ambiente do Rio Grande do Norte

MSPA – Matéria Seca da Parte Aérea

MO – Matéria Orgânica

PNUD – Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento

PRAD – Programa de Recuperação de Áreas Degradadas

RAD – Recuperação de Áreas Degradadas

UFERSA – Universidade Federal Rural do Semi-árido

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>15</b>
<b>2 OBJETIVOS .....</b>	<b>17</b>
2.1 GERAL.....	17
2.2 ESPECÍFICOS .....	17
<b>3 REVISÃO DE LITERATURA.....</b>	<b>18</b>
3.1 RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS E O BIOMA CAATINGA .....	18
3.2 PLANTAS DA CAATINGA: CRESCIMENTO E LIMITAÇÕES .....	20
3.2.1 O jucá como objeto de estudo .....	22
3.3 METAIS PESADOS E MICRONUTRIENTES: CONCENTRAÇÕES ACEITÁVEIS DESSES ELEMENTOS NO SOLO E NAS PLANTAS .....	23
3.4 MACRÓFITA AQUÁTICA: CARACTERIZAÇÃO E APLICAÇÕES .....	25
3.5 A CINZA DE OLARIA E SUA DESTINAÇÃO.....	27
<b>4 METODOLOGIA.....</b>	<b>29</b>
4.1 LOCAL DE ESTUDO.....	29
4.2 ETAPAS DA PESQUISA .....	30
4.2.1 Obtenção dos aguapés e do composto de aguapé.....	30
4.2.2 Obtenção do solo .....	31
4.2.3 Obtenção da cinza.....	33
4.2.4 Condução do experimento em casa de vegetação .....	33
4.3 COLETA DE DADOS .....	34
4.4 ANÁLISE DOS DADOS .....	35
<b>5 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>37</b>
5.1 CARACTERIZAÇÃO DO AGUAPÉ, COMPOSTO, SOLO E CINZA.....	37
5.2 pH E DISPONIBILIDADE DE METAIS NO SOLO.....	38
5.3 PRODUÇÃO DE MATÉRIA SECA E ABSORÇÃO DE METAIS PESADOS PELAS PLANTAS DE JUCÁ.....	41
<b>6 CONCLUSÃO.....</b>	<b>45</b>
REFERÊNCIAS .....	46

## 1 INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas, ações antrópicas vêm ocasionando sérias consequências ao meio ambiente, possivelmente porque o sistema econômico vigente demanda uma produção em larga escala e, conseqüentemente, maior uso dos recursos naturais. Porém, a preocupação em se realizar um manejo adequado desses recursos ainda é escassa. É nesse contexto que se insere a necessidade de apoio a técnicas e tecnologias que viabilizem a fertilização orgânica do solo, a fim de que sua vida útil seja prolongada, diminuindo a necessidade de busca de novas áreas de cultivo num curto período de tempo, fato que ocasiona cada vez mais desmatamento das florestas, especialmente no Brasil.

A Recuperação de Áreas Degradadas pode ser entendida como um “conjunto de ações idealizadas e executadas por especialistas das diferentes áreas do conhecimento humano, que visam proporcionar o restabelecimento das condições de equilíbrio e sustentabilidade existentes anteriormente em um sistema natural” (TAVARES et al., 2008, p. 3). Diversas são as técnicas utilizadas para se reestabelecer as condições de equilíbrio e sustentabilidade num determinado ambiente. Malavolta et al. (1989) e Calgaro (2008), por exemplo, afirmam que a incorporação do composto orgânico proveniente de macrófita aquática (*Eichhornia crassipes*) vem se mostrando, por meio de alguns estudos sobre suas propriedades e utilizações, como um recurso eficiente na fertilização do solo, na despoluição de corpos d’água, entre outras destinações.

Da mesma forma, a cinza apresenta-se como uma alternativa viável na fertilização de solos degradados. Estudos apontam que a queima de lenha utilizada nas indústrias dos mais diversos setores, em especial da indústria de cerâmica, tem disponibilizado a cinza de seus fornos para pesquisas, visando dar a este resíduo uma nova destinação, que não seja seu lançamento ao solo ou em corpos d’água sem qualquer tratamento, aumentando os níveis de contaminação onde estão situadas essas indústrias (MAEDA; SILVA; MAGALHÃES, 2007; BONFIM-SILVA et al., 2013).

Nesse contexto, o uso das cinzas como fonte de nutrientes para os solos, minimiza os impactos ambientais negativos em todo seu processo produtivo, desde a extração de espécies arbóreas da Caatinga, retirada de argila das áreas de leito de rios, queima de lenha nativa, até a obtenção do produto final que gera a cinza e lançam poluentes, na forma de gases na atmosfera. Porém, com a instituição do Decreto Nº 14.338/1999, que atesta a competência do Instituto de Desenvolvimento Sustentável e Meio Ambiente do Rio Grande do Norte

(IDEMA) para concessão de licenças a empreendimentos considerados causadores de poluição, as indústrias cerâmicas passaram a ser licenciadas (IDEMA, 2014).

No entanto, disposição final ambientalmente adequada da cinza gerada ao final do processo não é cobrada por essa instituição. Em outras palavras, a cinza ainda não foi incorporada ao processo de licenciamento, deixando esse resíduo que pode assorear corpos d'água (que estão situados próximos a algumas indústrias), ocasionando problemas ambientais cujas consequências podem ser agravadas caso essa prática persista. Com base nessa preocupação, procurou-se analisar pesquisas que já fizeram uso da cinza para que, a partir do estudo das suas propriedades e nutrientes, fosse possível seu reaproveitamento como fertilizante em diversas culturas.

De maneira semelhante ocorre com a macrófita aquática (*E. crassipes*). Esta planta aparece nos corpos d'água que apresentam níveis significativos de poluição por presença de matéria orgânica. A partir de sua instalação, passam a despoluir os rios, retirando deles os nutrientes necessários ao seu desenvolvimento. Encontrando esse ambiente propício à sua manutenção, acabam se proliferando de maneira muito rápida. É a partir dessa realidade que as plantas de aguapé representam um problema. Essa rápida reprodução ocasiona também uma acelerada decomposição de sua biomassa, necessitando da retirada das plantas do rio.

Assim, faz-se necessária uma utilização racional desse recurso, uma vez que apenas sua retirada do rio e o lançamento em local inadequado continuarão ocasionando poluição. Portanto, fez-se também a análise de pesquisas sobre o uso da macrófita aquática na geração de composto orgânico e respectiva aplicação em diferentes culturas, devido à presença de nutrientes importantes em sua biomassa.

Com base nesses fatos, torna-se importante a realização de uma pesquisa que busque avaliar o uso de cinza de olaria e composto orgânico de macrófita aquática (*E. crassipes*) na Recuperação de Áreas Degradadas. Isso porque essa prática visará a preservação da Caatinga, através do cultivo de espécies nativas deste bioma, a fim de melhorar a qualidade de vida das pessoas que nele residem.

## 2 OBJETIVOS

### 2.1 GERAL

Avaliar o uso de cinzas provenientes da indústria da cerâmica e do composto orgânico proveniente de macrófitas aquáticas na recuperação de solos degradados.

### 2.2 ESPECÍFICOS

- a) Avaliar as concentrações de Fe, Zn, Mn, Cu, Cd e Pb nas cinzas, aguapés e no composto de aguapé;
- b) Avaliar as concentrações de Fe, Zn, Mn, Cu, Cd e Pb no solo degradado, bem como analisar esse solo após a inserção dos diferentes teores de cinza e aguapé com base em modelo matemático;
- c) Avaliar as concentrações de Fe, Zn, Mn, Cu, Cd e Pb nas mudas nativas de Jucá (*Libidibia ferrea*) que foram cultivadas a partir da incorporação composto de aguapé e cinza no solo com base em modelo matemático.

### 3 REVISÃO DE LITERATURA

#### 3.1 RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS E O BIOMA CAATINGA

A intensificação da atividade humana para fins econômicos (agricultura, pecuária, mineração, entre outras) tem ocasionado impactos ambientais cada vez mais significativos, como, por exemplo, a supressão vegetal e consequente empobrecimento do solo. O Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente, através de um estudo realizado pelo Projeto de Avaliação Mundial da Degradação do Solo, concluiu que 15% do solo do planeta encontra-se degradado (TAVARES et al., 2008).

Esse cenário crescente de degradação impulsionou a criação da recuperação de áreas degradadas, como ciência e prática, por profissionais de diversas áreas do conhecimento, preocupados com o uso intensivo dos recursos naturais, sem um devido planejamento ou manejo. Em outras palavras, a recuperação de áreas degradadas só existe “pelo fato de existirem atividades humanas que geram degradação ambiental” (MARTINS, 2013, p. 32).

Em âmbito local, tem-se um cenário semelhante: há várias décadas o bioma Caatinga vem sendo utilizado de maneira irracional, principalmente pela extração de madeira para produção de lenha e carvão, pela agricultura, produção animal, entre outros usos, que fazem da Caatinga um bioma bastante fragilizado pela ação humana (RESENDE; CHAER, 2010).

Assim, o conceito de degradação ou de área degradada tem sido utilizado amplamente para designar as alterações de um dado ecossistema provocadas pela atividade humana. Ou ainda, como traz a legislação federal, considera-se degradação: “os processos resultantes dos danos ao meio ambiente, pelos quais se perdem ou se reduzem algumas de suas propriedades, tais como, [...] a capacidade produtiva dos recursos ambientais” (BRASIL, 1989, p. 1).

Já a recuperação de áreas degradadas pode ser entendida como um “conjunto de ações idealizadas e executadas por especialistas das diferentes áreas do conhecimento humano, que visam proporcionar o restabelecimento das condições de equilíbrio e sustentabilidade existentes anteriormente em um sistema natural” (TAVARES et al., 2008, p. 3).

Tavares et al. (2008) explica que a recuperação de áreas degradadas pode ser apresentada de diferentes maneiras, ou seja, utilizando-se conceitos distintos, especialmente no que diz respeito à legislação ambiental vigente. Assim, utilizam-se termos como recuperação, reabilitação e restauração, muitas vezes, para designar ações semelhantes. O autor, porém, estabelece uma distinção básica e diz que os conceitos diferem em função dos objetivos e metas da ação a ser realizada.

Dessa forma, entende-se por recuperação “o retorno do sítio degradado a uma forma de utilização, de acordo com um plano pré-estabelecido para o uso do solo [...]” (BRASIL, 1989, p. 1). Já reabilitação diz respeito ao “retorno da área degradada a uma estado biológico apropriado.” (TAVARES et al., 2008, p. 6), ou seja, uma área que tinha como objetivo a mineração pode ser reabilitada na forma de um parque, por exemplo. Por fim, tem-se a restauração, que, segundo Tavares et al. (2008) refere-se ao retorno da área degradada à sua forma original, antes da degradação. Percebe-se que o objetivo dessa técnica é pouco viável, especialmente caso a atividade degradadora tenha gerado impactos irreversíveis e de grande abrangência.

Diversas são as técnicas utilizadas para se reestabelecer as condições de equilíbrio e sustentabilidade num determinado ambiente, desde as mais simples, como produção de sementes e produção de mudas para inserção no sítio degradado, até as mais elaboradas, ou seja, que exigem mais recursos financeiros e tecnológicos, como as de bioengenharia, biorremediação, bioestimulação, entre outras. A escolha da técnica mais apropriada dependerá de uma série de fatores, que podem ser: disponibilidade de tempo, recursos, tecnologias, tipo e intensidade da degradação, condições ambientais da área degradada, conhecimento técnico da equipe responsável etc.

De maneira geral, quando se trata de recuperação de áreas degradadas no bioma Caatinga, torna-se de grande importância o conhecimento acerca das espécies nativas que compõem esse bioma, além de conhecimentos relacionados aos aspectos ambientais da região, como solo, clima e pluviometria. Em outras palavras, o êxito de um Plano de Recuperação de Áreas Degradadas dependerá de um planejamento bem elaborado aliado às necessidades de cada região (RESENDE et al., 2010).

Feito o planejamento e conhecida a região a ser recuperada e o seu entorno, inicia-se o processo de recuperação. Para o caso de áreas da Caatinga degradadas pela atividade petrolífera, especialmente pela extração de cascalho para a construção de poços em terra e estradas de acesso a esses poços, uma técnica comumente adotada é o plantio direto, podendo ou não ser acompanhado pela adubação. O manual para recuperação de áreas degradadas por extração de piçarra na Caatinga cita como etapas básicas do processo: coleta, beneficiamento, armazenamento e quebra de dormência das sementes (quando necessário), produção das mudas, manutenção em viveiro, encaminhamento para o plantio em campo após cuidados no local e avaliações periódicas (RESENDE et al., 2010).

Outro guia, elaborado pela Associação Caatinga traz algumas situações práticas que podem ser encontradas pelo profissional ao se deparar com uma área a ser recuperada e, a

partir de cada realidade, traça estratégias para um melhor reestabelecimento das condições de equilíbrio do ecossistema. Os autores também dão ênfase ao plantio de mudas nativas como técnica mais apropriada para a restauração florestal da Caatinga, determinando a importância da origem das sementes, que devem ser coletadas por amostragem, para que haja uma maior variabilidade genética, o que contribui para o sucesso da recuperação. E como técnicas de plantio, sugerem que seja feito no período chuvoso, recomendam adubação para o caso de solos pobres em nutrientes, e também que seja feito o coroamento no entorno de cada muda, dando importância à presença de serapilheira para uma melhor retenção de água (ASSOCIAÇÃO CAATINGA, 2012).

Por fim, independente da técnica adotada e do bioma a ser recuperado é fundamental que os atuais modelos de desenvolvimento econômicos sejam repensados, a fim de que a recuperação de áreas degradadas seja apenas uma prática auxiliar no processo de preservação dos ecossistemas e que potencialize a regeneração natural da região.

### 3.2 PLANTAS DA CAATINGA: CRESCIMENTO E LIMITAÇÕES

A Caatinga é um bioma exclusivamente brasileiro que abriga 932 espécies de plantas, sendo 318 endêmicas. As plantas geralmente possuem formas tortuosas, folhas pequenas e muitas vezes espinhos, isso devido a um processo longo de adaptação ao clima semiárido, porém com o processo de ocupação humana e o desenvolvimento de uma série de atividades econômicas, a natureza tem sido explorada e algumas regiões do bioma já apresentam sinais do processo de desertificação (FONTES, 2008). Por esse motivo torna-se de grande relevância a realização de pesquisas que visem à preservação deste ambiente tão fragilizado pelas consequências da atividade humana, especialmente através da investigação sobre as peculiaridades de cada espécie.

Melo e Cunha (2008) analisaram o efeito da luminosidade sob o crescimento de mudas de mulungu (*Erythrina velutina*). Segundo os autores, esse é um fator importante de ser conhecido quando da utilização de espécies nativas em programas de revegetação, uma vez que a disponibilidade de luz é um dos fatores preponderantes para o desenvolvimento das espécies. Assim, submeteram às espécies aos níveis 0, 20, 40, 60 e 80% de sombreamento, avaliando taxa de crescimento, diâmetro do caule e sobrevivência aos 7, 14 e 25 dias após o plantio. Ao final do experimento, perceberam que o sol pleno foi considerado mais indicado para a produção do mulungu.

Lopes et al. (2008), ao estudarem a espécie catingueira (*Caesalpinia pyramidalis*) submetem-na a soluções de sal (NaCl), obtendo diferentes níveis de CE (0, 2, 4, 6 e 8 dS. m<sup>-1</sup>). Segundo Brandão e Lima (2002, p. 47): “a condutividade elétrica (CE) é usada para medir a quantidade de sais presente em solução do solo. Quanto maior a quantidade de sais presente na solução, maior será o valor de CE obtido”. Além disso: “a presença de sais de sódio no solo provoca redução generalizada do crescimento das plantas cultivadas” (LOPES et al., 2008, p. 46). As análises de altura, diâmetro do caule, número de folhas e índice relativo de clorofila (IRC) eram feitas semanalmente. A CE que apresentou melhores resultados nesse caso foi de 2 dS. m<sup>-1</sup> para altura, diâmetro do caule e número de folhas e a CE de 8 dS. m<sup>-1</sup> mostrou maior IRC em relação às outras plantas.

Dantas et al. (2009), também pesquisando acerca da catingueira (*Caesalpinia pyramidalis*) avaliaram o efeito de diferentes níveis de sombreamento e tipos de substratos nas taxas de crescimento de mudas dessa espécie. As sementes foram plantadas em cinco substratos diferentes (apenas solo, apenas areia, solo + areia, solo + areia + esterco caprino e substrato comercial), fazendo-se medições aos 30, 60 e 100 dias. Os autores concluíram que não houve interação significativa entre os dois fatores estudados (sombreamento e substratos diferentes) e que a produção de mudas de catingueira poderia ser realizada em viveiros sem cobertura de tela bem como o substrato utilizado deveria conter material de solo coletado da caatinga.

Domene et al. (2010) estudaram o crescimento da jurema-preta (*Mimosa tenuiflora*) através da análise da formação anual dos anéis de crescimento da planta, confrontando esses dados com os níveis de precipitação local. Apesar de o crescimento ter sido significativo no ano de 2004, cuja precipitação pluviométrica foi elevada, o mesmo não aconteceu em 2006, que teve precipitação anual próxima à média da região. Os autores concluíram que o nível de precipitação não é a única influência sobre o crescimento das plantas, mas também a sua distribuição ao longo do ano.

Sousa et al. (2012) avaliaram o efeito de três corretivos (sulfato de cálcio, ácido sulfúrico e enxofre) a fim de equilibrar os níveis de sais e sódio em um solo degradado e ainda observar o crescimento de quatro espécies nativas da Caatinga (angico, aroeira, catingueira e pau-ferro) sob diferentes tratamentos de correção do solo. Assim, concluíram que a aplicação dos três corretivos ajudou na diminuição dos níveis de sais e sódio do solo e que o pau-ferro (*Caesalpinia ferrea*) mostrou-se como mais resistente ao excesso de sais e sódio.

### 3.2.1 O jucá como objeto de estudo

O jucá (*Libidibia ferrea*), também conhecido como pau-ferro, é uma espécie arbórea nativa da Caatinga que pode alcançar até 10 metros de altura (PEREIRA, 2011). De acordo com esse autor, todas as partes da planta podem ser utilizadas para os mais diversos fins:

A madeira é utilizada em forma de vigas, estacas e caibros na construção civil. As folhas têm potencial forrageiro sendo muito utilizado na alimentação de ovinos e caprinos. Na medicina popular a tintura da vagem é recomendada para estancar hemorragias e em compressas contra luxações. O pó da casca é utilizado como cicatrizante (PEREIRA, 2011, p. 35).

Em estudos sobre o crescimento do Jucá, Lenhard, Scalon e Novelino (2010) buscaram conhecer as necessidades hídricas de mudas dessa espécie. Para isso, submeteram as plantas a diferentes regimes hídricos, por meio de um cálculo baseado no volume total dos poros do substrato, obtendo os tratamentos 70%, 40% e 12,5%, além do tratamento 100%, chamado alagamento. O experimento durou 56 dias e as medições de peso (a fim de manter a capacidade de água em cada tratamento) eram feitas diariamente. A cada semana observavam-se altura e diâmetro do caule e teor de clorofila total. Por fim, concluíram que o melhor regime hídrico para a produção de mudas de pau-ferro é de 70% da capacidade de campo.

Outro estudo, desenvolvido por Scalon et al. (2011), teve como objetivo avaliar a importância da adubação no cultivo de jucá sobre sua capacidade germinativa e crescimento inicial. Assim, foram utilizados diferentes substratos contendo solo nativo da região misturado com areia e acrescidos a essa mistura, diferentes teores de adubo químico e orgânico. Como resultado, constataram que a adição de adubo orgânico apresentou maior número de plantas em menor tempo e plantas mais vigorosas.

Em relação ao sombreamento de mudas de pau-ferro, Lenhard et al. (2013) submeteu essa espécie a 0, 50 e 70% de sombreamento aos 60, 90, 120, 150 e 180 dias após seu transplante. Assim, foram avaliados altura e diâmetro do caule, teor de clorofila total, área foliar, entre outras observações como relação raiz/parte aérea. Após o término do experimento, os autores concluíram que as mudas que foram mantidas a 50% de sombreamento apresentaram melhores parâmetros fisiológicos e taxas de crescimento.

Pesquisas como estas reforçam a importância da preservação do bioma Caatinga, uma vez que este se encontra bastante devastado em decorrência do desmatamento para fins agropecuário ou para manutenção de atividades industriais, por exemplo. Assim, conhecer as propriedades e características de espécies vegetais para uso em reflorestamento ou em planos

de recuperação de áreas degradadas torna-se essencial, a fim de que essas e outras espécies não sejam extintas e as funções que desempenham no bioma sejam resguardadas.

### 3.3 METAIS PESADOS E MICRONUTRIENTES: CONCENTRAÇÕES ACEITÁVEIS DESSES ELEMENTOS NO SOLO E NAS PLANTAS

Entende-se por metais pesados, do ponto de vista químico, aqueles elementos da tabela periódica que vão do Cobre ao Chumbo, passando pelo Zinco, Cádmio, Mercúrio, entre outros. Ou seja, são elementos que possuem densidade atômica maior ou igual a  $5 \text{ g.cm}^{-3}$  e número atômico maior que 20. Do ponto de vista ambiental, esses elementos podem ser subdivididos em dois grupos: essenciais (também chamados micronutrientes) e tóxicos. Os primeiros (Fe, Zn, Cu, Ni e Mn) são imprescindíveis às plantas, porém em baixas concentrações, enquanto que os últimos (As, Pb, Cd, Hg, Al, Ag etc.) não tem função nesses organismos e podem causar danos em qualquer concentração tanto ao solo quanto às plantas (ALLEONI, 2007).

Segundo Alleoni, Borba e Camargo (2005), a presença de metais pesados no solo é comum e resulta de um processo natural de liberação desses elementos pelas rochas, porém as atividades humanas lançam ao ambiente, materiais que contem esses elementos, os quais, por sua vez, podem atingir concentrações muito altas e comprometer o equilíbrio dos ecossistemas. A ação antropogênica pode ocorrer de várias maneiras, tais como: mineração, beneficiamento de metais, aplicação de defensivos agrícolas e fertilizantes, lodo de esgotos urbanos ou industriais e resíduos da indústria química. A seguir, serão tratados alguns metais pesados de maneira mais detalhada, em virtude da sua relação com o objetivo desta pesquisa.

O Ferro, como já foi dito, é um elemento importante ao desenvolvimento das plantas, uma vez que auxilia na sua atividade enzimática e contribui para a síntese de clorofila, ou seja, em sua ausência as plantas apresentam pigmentos amarelados. Porém, o Ferro é considerado um micronutriente, assim chamado porque a planta necessita de baixas concentrações dele para sua sobrevivência. Em outras palavras, o seu excesso pode causar intoxicação. O teor de Ferro considerado normal ao pleno desenvolvimento das plantas varia de 50 a  $100 \text{ mg.kg}^{-1}$ . (DECHEN; NACHTIGALL, 2007).

O Manganês, assim como o Ferro, é um micronutriente cuja função é contribuir para a síntese de clorofila nas plantas e ambos os elementos encontram-se no solo de forma associada. Segundo Dechen e Nachtigall (2007), teores a partir de  $20 \text{ mg.kg}^{-1}$  são adequados para o bom desenvolvimento da planta.

Já em relação ao solo, o Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA) dispõe, na Resolução 420, de 30 de dezembro de 2009, sobre critérios e valores orientadores de sua qualidade quanto à presença de substâncias químicas e estabelece diretrizes para o gerenciamento ambiental de áreas contaminadas por essas substâncias em decorrência de atividades antrópicas. No entanto, para o Ferro e Manganês, a Resolução não apresenta esses valores.

Biondi (2010), em sua pesquisa, explica que devido à relativa abundância desses dois elementos na natureza e à intensa dinâmica deles com o ambiente, estes possuem diversos estados de oxidação no solo e sua especiação depende muito do pH e do potencial e do potencial de oxi-redução. A autora aponta que esse pode ser um dos motivos pelos quais não existem valores orientadores para esses metais especificados pelos órgãos ambientais.

O Cobre é um elemento que pode ser encontrado no tecido das plantas, podendo também estar presente nos órgãos reprodutivos. Sua função está ligada à oxidação do ácido ascórbico (vitamina C), como também influencia na fixação do Nitrogênio atmosférico pelas leguminosas, entre outras funções. O teor satisfatório de Cobre pode variar entre 5 e 20  $\text{g kg}^{-1}$  de matéria seca das plantas (DECHEN; NACHTIGALL, 2007) e no solo o valor recomendado pelo CONAMA é de 60  $\text{mg kg}^{-1}$  (BRASIL, 2009).

O Zinco, segundo Dechen e Nachtigall (2007, p. 124): “é um micronutriente [...] essencial para a atividade, regulação e estabilização da estrutura proteica ou uma combinação destas” na planta. Os autores supracitados afirmam que concentrações inferiores a 25  $\text{mg kg}^{-1}$  indicam deficiência desse elemento nas folhas (DECHEN; NACHTIGALL, 2007). A presença desse elemento no solo, segundo o CONAMA, pode ser de até 300  $\text{mg kg}^{-1}$  (BRASIL, 2009).

O Chumbo é um metal pesado presente em solos localizados especialmente próximos a minas, de onde ele é extraído, ou em lixões contendo pilhas e baterias, mas também pode ser retido pelo solo, passando para as plantas e, conseqüentemente para o organismo humano. Para a saúde, o Chumbo causa diversos efeitos negativos, uma vez que pode se acumular no organismo (KLEIN; HOEHNE, 2014). Entre eles, destacam-se: efeitos neurológicos, hematológicos, endocrinológicos, renais, cardiovasculares, carcinogênicos, sobre o crescimento, desenvolvimento, entre outros (MOREIRA; MOREIRA, 2004). Para o Chumbo no solo, a Resolução nº 420 do CONAMA preconiza o valor de 72  $\text{mg.kg}^{-1}$ (BRASIL, 2009).

Um exemplo de descontaminação de solos afetados por excesso de metais pesados é a inserção de plantas acumuladoras desses metais nas localidades contaminadas. Com a emergência da questão ambiental, diversas técnicas de recuperação de solos contaminados por

metais pesados tem se difundido pelo mundo, porém a maioria ainda possui custos relativamente elevados. A fitorremediação, no entanto, tem se popularizado desde a década de 1990, em virtude do seu custo mais baixo. Esta, segundo os autores, pode ser subdividida em três tipos: fitoextração (uso de plantas para remoção de metais dos solos mediante absorção pelas raízes, transporte e concentração na parte aérea); fitoestabilização (uso de plantas para reduzir a mobilidade de metais nos solos contaminados) e fitovolatilização (capacidade da planta de volatilizar metais do solo). Os autores afirmam que a fitoextração é a técnica mais comumente utilizada e que existem hoje cerca de 430 espécies de plantas acumuladoras de metais pesados (NASCIMENTO; ACCIOLY; BIONDI, 2009).

### 3.4 MACRÓFITA AQUÁTICA: CARACTERIZAÇÃO E APLICAÇÕES

A macrófita aquática (*Eichhornia crassipes*), popularmente conhecida como aguapé, é uma planta aquática flutuante e pode surgir nos corpos d'água que apresentam níveis significativos de poluição orgânica, retirando deles os nutrientes necessários ao seu desenvolvimento e, ao mesmo tempo, despoluindo os ambientes aquáticos onde está inserida. Essa planta, entretanto, por possuir uma rápida reprodução, pode ocasionar uma série de problemas, como: redução do fluxo de água nos rios, dificuldade para pesca e navegação, redução da quantidade de oxigênio dissolvido na água, entre outros (ÁVILA; PITELLI, 2004), podendo gerar ainda problemas de eutrofização hídrica, como é o caso do rio Apodi-Mossoró no trecho urbano do município de Mossoró/RN.

A respeito do processo de eutrofização, afirma Tavares (2008, p. 130, grifo do autor):

Uma das principais causas de redução da qualidade da água é a “eutrofização”, que significa o processo de enriquecimento dos corpos hídricos (rios, açudes, lagos, córregos) por nutrientes (principalmente fósforo e nitrogênio), podendo ocorrer sob condições naturais ou artificiais (aplicação de fertilizantes, dejetos orgânicos, efluentes industriais). Este incremento de nutrientes propicia o desenvolvimento de algumas espécies de algas e a diminuição do oxigênio na água, favorecendo o aumento de bactérias anaeróbias, podendo atribuir sabor e cheiro desagradável ao líquido, restringindo o seu uso. A redução do oxigênio muitas vezes causa a morte da ictiofauna (peixes).

A composição mineral do aguapé foi estudada por Malavolta et al. (1989). Os autores encontraram nutrientes diferenciados em todas as partes da planta, pois a analisaram separadamente (raiz, caule e folhas) e depois a compararam com os nutrientes presentes no esterco bovino. Suas análises permitiram concluir, que seria válido o uso do aguapé seco e moído como adubo verde e fonte de nutrientes (MALAVOLTA et al., 1989).

Calgaro et al. (2008) avaliaram o uso de aguapé e bagaço de cana-de-açúcar como recondicionante de subsolo degradado e também quantificaram seus efeitos sobre a atividade microbiana e a fertilidade do solo quando cultivado com o barbatimão (*Stryphnodendron polyphyllum* Mart.), espécie nativa do bioma Cerrado. Quanto à fertilidade do subsolo, foi possível constatar que, apesar de seu caráter ácido e pobreza de nutrientes terem se mantido após o primeiro ano de medição, os autores afirmam que “o tratamento com resíduos orgânicos apresentaram melhores resultados, com ligeiro potencial positivo para a presença de aguapé” (CALGARO et al., 2008, p. 1077).

Estudou-se também a composição química de duas espécies distintas de macrófitas aquáticas utilizadas no tratamento de efluentes da aquicultura em Jaboticabal/SP. Para isso, os autores analisaram a composição química das espécies *Eichhornia crassipes* e *Pistia stratiotes*. Feitas as análises, concluíram que *E. crassipes* apresentou valores mais elevados de cálcio, magnésio, manganês, zinco, ferro e cobre, quando comparados com os valores encontrados na espécie *P. stratiotes*. Mesmo apresentando valores diferenciados de nutrientes, os autores sugerem a possibilidade de aproveitamento dessas macrófitas aquáticas como fertilizantes de solo (HENRY-SILVA; CAMARGO, 2006).

Em relação aos metais pesados que as macrófitas aquáticas podem acumular, Pereira et al. (2011) afirma que pesquisas já comprovaram a presença de cromo, chumbo, cádmio, e arsênio. Sendo que deste último elemento, os estudos ainda são escassos e sua toxicidade quando lançado ao ambiente causa graves consequências. Assim, cultivou algumas plantas de aguapé em solução nutritiva hidropônica com diferentes concentrações de arsênio, por um período de 20 dias. O trabalho teve por objetivo observar modificações na anatomia e fisiologia das plantas de *E. crassipes* submetidas a concentrações distintas de arsênio, no intuito de pontuar possíveis mecanismos que atribuam tolerância a esse elemento. Assim, os autores observaram que “o estresse por intoxicação pelo arsênio, nas concentrações testadas, não é evidente nas plantas de *E. crassipes*, e os mecanismos de tolerância são relacionados com modificações na anatomia e fisiologia das plantas” (PEREIRA et al., 2011, p. 259).

Outro estudo quantificou Mn, Fe, Zn, Cu, Pb e Ni na parte aérea e raízes de aguapés no baixo, médio e alto curso do rio Paraíba do Sul e no rio Imbé. Além disso, avaliou pigmentos fotossintéticos e fluorescência da clorofila “a” nessas plantas. Os resultados da análise fotossintética mostraram que elas não se encontram sob estresse, mesmo em lugares onde a ação antrópica é mais frequente. Sobre a acumulação por metais pesados, a pesquisa mostrou que as concentrações de Mn e Fe foram as mais altas. Apenas Cr não foi detectado nas análises e Pb e Ni encontraram-se em menores níveis. As amostras retiradas do médio

curso do rio Paraíba do Sul apresentaram as maiores concentrações de metais, especialmente Cr, Pb e Ni. Tais estudos, segundo os autores, reforçam a importância da complementaridade entre análises de laboratório e estudos das condições naturais para avaliar como as plantas respondem a condições ambientais diversas (VITÓRIA et al., 2010).

### 3.5 A CINZA DE OLARIA E SUA DESTINAÇÃO

De maneira geral, as cinzas compreendem todo e qualquer resíduo sólido proveniente da queima de algum material. De acordo com estudos realizados pela Fundação Estadual de Meio Ambiente do Estado de Minas Gerais (FEAM), o volume de cinza resultante da queima de lenha vegetal para produção de material cerâmico é pequeno, levando-se em consideração a quantidade de material produzido. O estudo conclui que a taxa de geração de cinza vai depender do tipo de combustível utilizado, como também da tecnologia do forno cerâmico. Em média são gerados  $5 \text{ kg.milheiro}^{-1}$  de produto (FEAM, 2012).

Mesmo assim, a adoção de técnicas que viabilizem uma destinação adequada deste resíduo é de grande importância, visto que a disposição inadequada da cinza pode gerar poluição do solo ou dos recursos hídricos, dependendo da localização da indústria. Assim, torna-se importante sua reutilização, visto que a cinza pode ser considerada como um resíduo rico em nutrientes, porém seus teores irão variar de acordo com a biomassa utilizada na atividade industrial e da temperatura de carbonização, que pode causar maior ou menor sublimação dos componentes químicos (MAEDA; SILVA; MAGALHÃES, 2007).

Darolt, Blanco Neto e Zambon (1993, p. 38), avaliando os efeitos de doses crescentes de cinza vegetal (0, 10, 15, 20 e  $30 \text{ t.ha}^{-1}$ ) na produção de alface em Piraquara/PR, concluíram que: “A adição de cinza vegetal proporcionou aumentos no peso médio e diâmetro médio de cabeças, número médio de folhas/planta e produções total corrigida e comercial, nas dosagens de 10 e  $15 \text{ t/ha}$ ”. E recomendam a utilização de cinza como corretivo e fonte de nutrientes nas dosagens de 10 a  $15 \text{ t.ha}^{-1}$  (DAROLT; BLANCO NETO; ZAMBON, 1993).

Prado, Corrêa e Natale (2002) pesquisando o efeito da aplicação de cinza em características químicas do solo e na nutrição de mudas de goiabeira no município de Taquaritinga/SP, concluíram que: “A aplicação da cinza resultou em redução da acidez do solo, com aumento na concentração de Ca e Mg, [...] e na concentração dos micronutrientes B, Cu, e Mn do solo. Os teores dos nutrientes nas folhas aumentaram especialmente para P, Ca, Mg, B, Cu e Mn”. (PRADO; CORRÊA; NATALE, 2002, p. 1493).

Estudando o potencial nutritivo da cinza proveniente da queima de eucalipto (*Eucalyptus* spp.), Bonfim-Silva et al. (2013) cultivaram uma espécie nativa do Cerrado (capim-marandu) com diferentes doses de cinza (0,00; 0,75; 1,50; 2,25; 3,00 e 3,75 g.dm<sup>-3</sup>) e verificaram que nos primeiros 30 dias a espécie teve crescimento linear até a dose 3,75 g/dm<sup>3</sup>. E no segundo mês a maior produção ficou entre 3,11 e 3,54 g.dm<sup>-3</sup>. Sendo assim, concluíram que a cinza aumenta a produção e o teor de clorofila da espécie teste.

Uma caracterização sobre algumas propriedades químicas, físicas e mineralógicas da cinza vegetal mostrou que: “Application of wood ash in agriculture and silviculture does not present any major risk for the environment, provided that no excessive amounts are applied and only ashes from burning of pure woods residues are used<sup>1</sup>” (DEMEYER; VOUNDI-NKANA; VERLOO, 2001, p. 294).

Ao comparar, através de análise de pH, o calcário e dois tipos de cinzas, uma resultante do processo de dessulfuração e outra que era lançada ao ambiente sem qualquer tratamento, Martins et al.(2000) perceberam que a cinza cujo enxofre havia sido removido elevou o pH do solo de 4,5 para 5,1, “podendo assim substituir parcialmente o calcário na correção da acidez do solo” (MARTINS et al., 2000, p. 248).

Em sua análise química de cinzas de fornos de cerâmica, Guariz et al. (2009) recomenda um aproveitamento cuidadoso desse resíduo na agricultura e conclui que:

O aproveitamento das cinzas na agricultura promove uma proteção ao meio ambiente, porque não mais são lançadas em cursos d'água, evitando a eutrofização e a turbidez dos corpos d'água. As cinzas tem a capacidade de promover uma grande elevação dos níveis de pH do solo, concluindo que em pequenas propriedades, onde é viável a aplicação de cinzas, a necessidade de calcário pode ser prontamente eliminada; além de serem fonte de matéria orgânica (GUARIZ et al., 2009, p. 5).

Assim, diante do atual cenário de degradação ambiental no Brasil, e em especial no Semiárido Potiguar, em virtude da crescente atividade econômica das indústrias cerâmicas, torna-se essencial o conhecimento de técnicas e de pesquisas que visam dar um novo destino às cinzas dos fornos cerâmicos, uma vez que seu lançamento ao ambiente sem qualquer preocupação pode, em médio e longo prazo, assorear corpos d'água, bem como contribuir para o processo de eutrofização nesses ambientes.

---

<sup>1</sup> Traduzido do original: A aplicação de cinza vegetal na agricultura e silvicultura não apresenta grandes riscos para o meio ambiente, desde que não sejam aplicadas quantidades excessivas e apenas cinzas resultantes da queima vegetal sejam utilizadas.

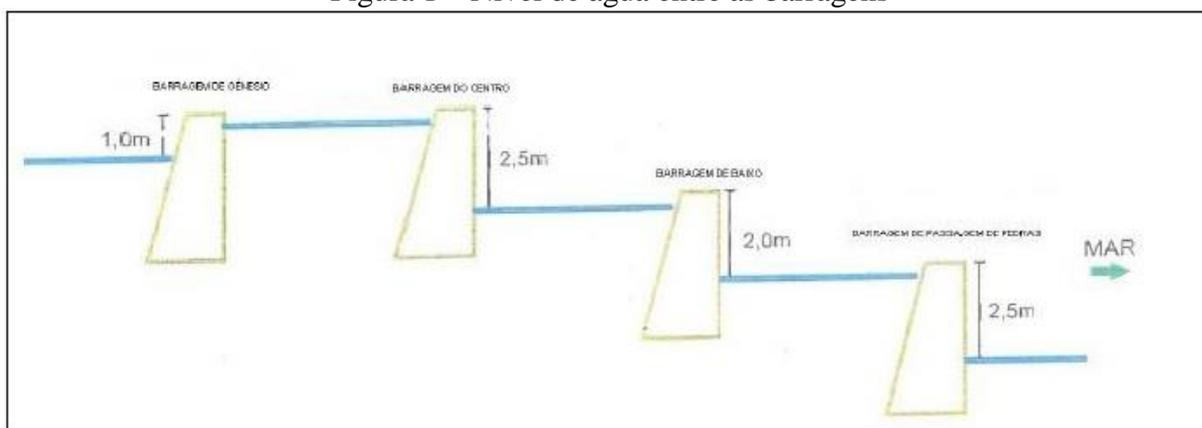
## 4 METODOLOGIA

### 4.1 LOCAL DE ESTUDO

O município de Mossoró está localizado na mesorregião Oeste Potiguar e na microrregião Mossoró, abrangendo uma área de 2.099 km<sup>2</sup> (IBGE, 2010), a qual equivale a cerca de 4% da superfície do estado do Rio Grande do Norte (IDEMA, 2008). Esta área possui clima muito quente e semiárido e nela encontra-se uma biodiversidade de espécies, características do bioma Caatinga (IBGE, 2010). Além disso, apresenta chuvas concentradas entre os meses de fevereiro a abril, com precipitação em torno de 700 mm anuais (IDEMA, 2008). No tocante aos recursos hídricos, a cidade está totalmente inserida na Bacia Hidrográfica do rio Apodi-Mossoró, o qual margeia a cidade no sentido sudoeste-nordeste (GRIGIO; DIODATO, 2011).

O trecho do rio Mossoró que abrange a faixa urbana da cidade vai da barragem de Genésio, sob a ponte da BR-304, até a barragem de Passagem de Pedras. Nessa área, o rio sofreu intervenções para a construção de dois canais artificiais. Esses canais, associados a um sistema de quatro barragens sucessivas (Figura 1), no trecho principal, controlam a vazão das águas durante todo o ano, principalmente nas épocas de cheias.

Figura 1 – Nível de água entre as barragens



Fonte: Morais (2013).

## 4.2 ETAPAS DA PESQUISA

### 4.2.1 Obtenção dos aguapés e do composto de aguapé

Os aguapés foram coletados na área urbana do município de Mossoró/RN, mais precisamente nas proximidades da barragem de baixo, no bairro Barrocas (Figura 2A), visto que nessa localidade encontravam-se em melhor estado de conservação, ou seja, mais verdes do que em regiões como o centro da cidade e os bairros Alto da Conceição e Belo Horizonte, além de mais acessíveis, em virtude da facilidade em se encontrar pescadores com barcos, fato que é mais comum nessa região.

Figura 2 – Coleta, secagem e preparação dos aguapés para o experimento



**Fonte:** Dados da Pesquisa (2015).

Após a coleta, as plantas foram distribuídas em bancadas dentro de uma estufa, para facilitar a desidratação (Figura 2B). Dessas plantas, aleatoriamente foi retirada uma amostra e conduzida para o Núcleo de Estudos Ambientais professor Mauricio de Oliveira

(DCAT/UFERSA), que foi cuidadosamente lavada com água destilada, em seguida seccionada em folha, caule e raiz, acondicionada separadamente em sacos de papel devidamente identificados e levado para secagem na estufa a 70° até peso constante (Figura 2C), em seguida pesada para obtenção do peso seco. A matéria seca foi triturada em moinho tipo Wiley e mineralizada por digestão nítrica. Nos extratos foram quantificados os teores totais de Fe, Zn, Mn, Cu, Cd e Pb, seguindo metodologia da EMBRAPA (2011).

Após totalmente secas, as raízes das plantas de aguapé foram retiradas, a parte aérea utilizada para preparar o composto e as raízes descartadas. O composto foi montado em caixas plásticas vazadas, deixando-se espaço para posterior revolvimento, recebeu água diariamente e era revolvido de uma a duas vezes por semana (Figura 3A). As caixas foram acondicionadas à sombra de uma árvore e a parte superior protegida por tela de nylon. Além disso, eram suspensas do chão com ajuda de tijolos, a fim de que nenhum tipo de material proveniente do ambiente externo pudesse ser incorporado. Após o período de maturação, o composto foi posto para secar (Figura 3B) e em seguida foi retirada uma amostra para análise.

Figura 3 – Composto de aguapé



Fonte: Dados da Pesquisa (2015).

#### 4.2.2 Obtenção do solo

O solo foi coletado às margens da RN 011. A escolha do local deu-se em razão de ser uma jazida de retirada de cascalho ativa, entretanto selecionou-se uma área desativada dentro da jazida, pois já estava esgotada e iria ser iniciado o processo de recuperação. Inicialmente, realizou-se a limpeza da área com auxílio de uma pá, em seguida amostras simples foram coletadas iniciando do topo até uma profundidade 15 cm (Figura 4A). As amostras foram acondicionadas em sacos de plásticos limpos e levadas ao Laboratório de Biotecnologia, da

Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA), no Departamento de Ciências Ambientais e Tecnológicas. Posteriormente, o solo foi seco ao ar (Figura 4B), homogeneizado e peneirado em peneira com 2 mm de malha para remover restos de material vegetal e diminuir grandes torrões de terra, melhorando assim sua homogeneidade (Figura 4C). Em seguida, do solo peneirado, foi retirada uma amostra para caracterização química, segundo a metodologia recomendada por EMBRAPA (2011), na qual foram determinados o pH, pela relação solo: água (relação 1:2,5), além de Fe, Zn, Mn, Cu, Cd e Pb.

Figura 4 – Coleta, secagem e preparação de solo para montagem do experimento



Fonte: Dados da Pesquisa (2015).

### 4.2.3 Obtenção da cinza

As cinzas foram obtidas em duas indústrias cerâmicas da região do Vale do Açu/RN, sendo acondicionadas em sacos plásticos e trazidas ao laboratório de biotecnologia da UFERSA, onde foram homogeneizadas e retirada uma amostra para caracterização química, conforme metodologia da EMBRAPA (2011). Segundo informações cedidas pelos empresários desse setor, a cinza é proveniente da queima de material vegetal que abrange a espécie invasora algarobeira (*Prosopis juliflora*) e a poda de cajueiro (*Anacardium occidentale*), que é uma planta nativa da Caatinga.

### 4.2.4 Condução do experimento em casa de vegetação

O experimento foi conduzido em delineamento experimental com esquema fatorial de 5x5, sendo cinco doses do composto de aguapé e cinco doses de cinza com três repetições, onde o volume de solo correspondeu a 2 dm<sup>3</sup> e as doses de cinza corresponderam à 0, 1, 3, 5 e 10% do volume de cada vaso e às de composto de aguapé à 0, 5, 10, 20 e 30%.

Após a mistura da composição solo, composto e cinza equivalente a cada tratamento, esta foi colocada em vasos plásticos (Figura 5C), incubados 20 dias e em seguida realizado o transplântio das mudas de Jucá (*Libidibia ferrea*).

As mudas de Jucá (*Libidibia ferrea*), após escarificadas utilizando-se lixa d'água nº 100 (Figura 5A), foram produzidas em bandejas de poliestireno expandido de 128 células (Figura 5B), utilizando-se o substrato à base de fibra de coco, sendo o transplântio realizado dez dias após a semeadura e o estande corrigido através do replântio das mudas cinco dias após. Uma semana mais tarde foi realizada a primeira medição, no dia 13 de julho de 2015. O crescimento das plantas passou a ser monitorado a partir dessa data e as demais medições ocorreram a cada dez dias por um período de dois meses, bem como o registro fotográfico (Figura 5D).

Figura 5 – Produção, transplântio e acompanhamento das mudas de Jucá (*Libidibia Ferrea*)



Fonte: Dados da Pesquisa (2015).

#### 4.3 COLETA DE DADOS

Por ocasião da coleta, após 60 dias as plantas foram cortadas ao nível do solo (Figura 6A), acondicionadas em sacos de papel, secas em estufa de circulação forçada de ar a 70°C até peso constante, pesadas para obtenção da matéria seca da parte aérea (MSPA), conforme Figura 6B, trituradas em moinho tipo Wiley (Figura 6C) e posteriormente foram mineralizadas por digestão nítrica. Nos extratos foram determinados os teores totais de Fe, Zn, Mn, Cu, Cd e Pb (EMBRAPA, 2011).

Após a retirada das plantas, o solo de cada vaso foi seco ao ar, homogeneizado, passado em peneira de 2 mm de malha (Figura 6D) e uma amostra foi retirada, para realização das análises de Fe, Zn, Mn, Cu, Cd e Pb (EMBRAPA, 2011).

Figura 6 – Preparação das plantas e solos para análise



Fonte: Dados da Pesquisa (2015).

#### 4.4 ANÁLISE DOS DADOS

Para avaliar a absorção de metais pesados pelas plantas em função das doses de cinza e composto, foi utilizado o modelo proposto por Maia et al. (2009), de acordo com a equação 1:

$$A = \frac{A_{\max}}{1 + (\alpha \cdot d)^n} \quad (1)$$

Em que:

A é a absorção de metais pelas plantas no tempo t;

$A_{\max}$  é a absorção máxima estimada de metais pelas plantas no tempo t;

$\alpha$  e  $n$  são parâmetros do modelo ajustados por metodologia de regressão não linear.

A dose onde ocorre a taxa de absorção máxima ( $D.TA_{\max}$ ) foi calculado pela equação 2, enquanto para estimar a dose que as plantas absorvem 50% da máxima absorção estimada ( $D.A_{\max 50\%}$ ), utilizou-se a equação 3. Para calcular a taxa de absorção em função das doses ( $TA_{\max}$ ) para uma fração de  $A_{\max}$  (n), utilizou-se a equação 4.

$$D.TA_{\max} = \frac{1}{\alpha} * \left( \frac{n-1}{n+1} \right)^{1/n} \quad (2)$$

$$D.A_{\max 50\%} = \frac{1}{\alpha} \quad (3)$$

$$TA_{\max} = \frac{A_{\max} \cdot n \cdot \alpha^n \cdot D^{n-1}}{[1 + (\alpha \cdot D)^n]^2} \quad (4)$$

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1 CARACTERIZAÇÃO DO AGUAPÉ, COMPOSTO, SOLO E CINZA

Na biomassa dos aguapés, tem-se que os metais Fe, Mn e Zn apresentaram maiores concentrações na raiz do que na parte aérea, sendo a diferença maior entre raiz e parte aérea a do Mn (Tabela 1). Esses dados corroboram com os encontrados por Low e Lee (1990), que afirmam que os metais são concentrados nas raízes das plantas e o processo de translocação para as partes aéreas é normalmente lento, tal fenômeno se dá possivelmente em razão desse comportamento pode ser explicado pela saturação das raízes de aguapés e também pelo contato efetivo entre a solução e as raízes de aguapés. A capacidade de remoção de micronutrientes pela *E. crassipes* em rios e córregos foi estudada por Cooley et al., (1979). Os autores observaram que seu crescimento é estimulado pela presença de Fe e Mn na água.

Porém, com a produção do composto de aguapé, os teores de metais diminuíram significativamente, com exceção do Mn. Vale salientar que o pH do composto apresentou um valor elevado, influenciando na absorção de micronutrientes pelas plantas (Tabela 2). Entretanto, deve-se salientar que para produção do composto as raízes foram descartadas.

Tabela 1 – Teores de metais pesados nas raízes e parte aérea dos aguapés

	Fe	Zn	Mn	Cu	Cd	Pb
	----- mg. kg <sup>-1</sup> -----					
Raiz	215,00	72,50	10,59	13,90	0,00	10,00
Parte aérea	195,00	52,02	2,46	19,10	0,00	10,50

Fonte: Dados da Pesquisa (2015).

Tabela 2 – pH e teores de metais pesados no composto de aguapé, no solo e na cinza

pH	Fe	Zn	Mn	Cu	Cd	Pb
	----- Composto (mg dm <sup>-3</sup> ) -----					
8,15	1,35	0,00	8,70	0,0005	0,00	0,21
	----- Solo (mg dm <sup>-3</sup> ) -----					
6,20	5,50	0,00	1,23	0,0043	0,00	0,48
	----- Cinza (mg kg <sup>-1</sup> ) -----					
12,85	195,00	0,00	2,19	0,24	0,00	33,50

Fonte: Dados da Pesquisa (2015).

Para o solo, tem-se que os teores de metais podem ser considerados pouco significativos, se comparados aos encontrados nas plantas de aguapé, por exemplo. Além

disso, apresentou um pH de 6,20, e para a cinza, vale destacar seu elevado pH (12,85), além de concentrações significativas dos metais Fe e Pb (Tabela 2).

## 5.2 pH E DISPONIBILIDADE DE METAIS NO SOLO

Verificou-se acréscimo nos valores de pH do solo com a adição do composto e da cinza, entretanto tem-se que para uma mesma dose de cinza, o acréscimo no valor de pH é maior para as doses de 0, 5 e 10% de composto. Já em relação à cinza, quanto maior a dose, maior o valor do pH (Tabela 3). Darolt, Blanco Neto e Zambon (1993), concluíram que as elevações de pH com a adição de cinza ao solo podem ser atribuídas principalmente pela liberação de carbonato de potássio pela reação da cinza no solo. Em pesquisas realizadas com esterco bovino, biofertilizante e aguapé Silva et al., (2011) e Calgaro et al, (2008), concluíram que a matéria orgânica (MO) também pode contribuir para o aumento do pH do solo.

No tratamento testemunha verificou-se baixa variação do pH do solo, de 6,20 (Tabela 2) antes da condução do experimento para 6,88 (Tabela 3) com o término do mesmo. Essa variação pode ter ocorrido em virtude da qualidade da água de irrigação durante o período em que o experimento foi conduzido.

Com a adição de cinza houve redução nas concentrações da maioria dos metais no solo, inclusive do Zn, que só foi quantificado até a adição de 1% de cinza. Para o Cu e Cd não houve quantificação em nenhum dos tratamentos (Tabela 3). Segundo Sousa, Miranda e Oliveira (2007), a disponibilidade de Fe, Mn, Cu e Zn diminuem com a elevação do pH do solo. Uma possível razão para esse decréscimo é que a mobilidade dos metais pesados no solo diminui com o aumento do pH, em virtude da precipitação de formas insolúveis desses elementos, como hidróxidos, carbonatos e complexos orgânicos (NACHTIGALL; NOGUEIROL; ALLEONI, 2009).

Variando as doses de composto, observa-se que o Fe e o Pb apresentaram maiores concentrações nas doses iniciais (0 e 5%), sendo que para o Pb, essas variações na concentração foram pouco significativas. Já o Zn e o Mn apresentaram maiores concentrações nas doses finais (20 e 30%) de composto e para Cu e Cd não houve quantificação em nenhum dos tratamentos (Tabela 3). Segundo Abreu, Lopes e Santos (2007), o Fe pode estar presente no solo numa forma mais solúvel ( $Fe^{2+}$ ) e outra de menor solubilidade ( $Fe^{3+}$ ). Devido à hidrólise de  $Fe^{3+}$ , outras espécies iônicas desse elemento predominam na faixa de pH entre 5 e 9. Assim, sua solubilidade decresce em proporções significativamente maiores do que a de elementos como Mn, Cu ou Zn.

Tabela 3 – pH e disponibilidade de metais no solo em função das doses de cinza e composto

Cinza	Composto	pH	Fe	Mn	Cu	Zn	Cd	Pb
%	%		mg dm <sup>-3</sup>					
0	0	6,88	14,17	1,90	0,01	2,48	0,00	0,46
0	5	8,25	7,83	5,06	0,01	2,23	0,00	0,32
0	10	8,23	6,83	6,46	0,01	3,05	0,00	0,27
0	20	8,27	11,33	14,83	0,01	4,66	0,00	0,27
0	30	8,17	7,67	19,11	0,01	5,44	0,00	0,26
1	0	9,03	12,00	4,56	0,03	1,51	0,00	0,42
1	5	8,87	11,00	9,98	0,02	2,29	0,00	0,33
1	10	8,73	8,50	12,97	0,01	3,12	0,00	0,28
1	20	8,48	4,83	18,12	0,02	4,26	0,00	0,31
1	30	8,20	2,83	14,12	0,01	3,75	0,00	0,25
3	0	9,87	3,33	10,53	0,03	0,44	0,00	0,31
3	5	9,45	2,00	10,39	0,01	0,00	0,00	0,30
3	10	8,62	0,35	7,25	0,00	0,00	0,00	0,25
3	20	9,31	2,17	13,02	0,01	0,00	0,00	0,24
3	30	8,75	0,98	12,25	0,00	0,00	0,00	0,20
5	0	10,15	1,15	7,03	0,01	0,00	0,00	0,19
5	5	9,88	1,48	8,32	0,01	0,00	0,00	0,24
5	10	9,58	0,80	8,48	0,00	0,00	0,00	0,26
5	20	9,37	0,63	6,13	0,00	0,00	0,00	0,20
5	30	9,15	0,58	5,96	0,00	0,00	0,00	0,22
10	0	10,30	0,22	1,81	0,00	0,00	0,00	0,20
10	5	10,10	0,27	3,04	0,00	0,00	0,00	0,21
10	10	10,09	0,17	1,43	0,00	0,00	0,00	0,21
10	20	9,95	0,22	1,32	0,00	0,00	0,00	0,28
10	30	9,68	0,23	1,89	0,00	0,00	0,00	0,25

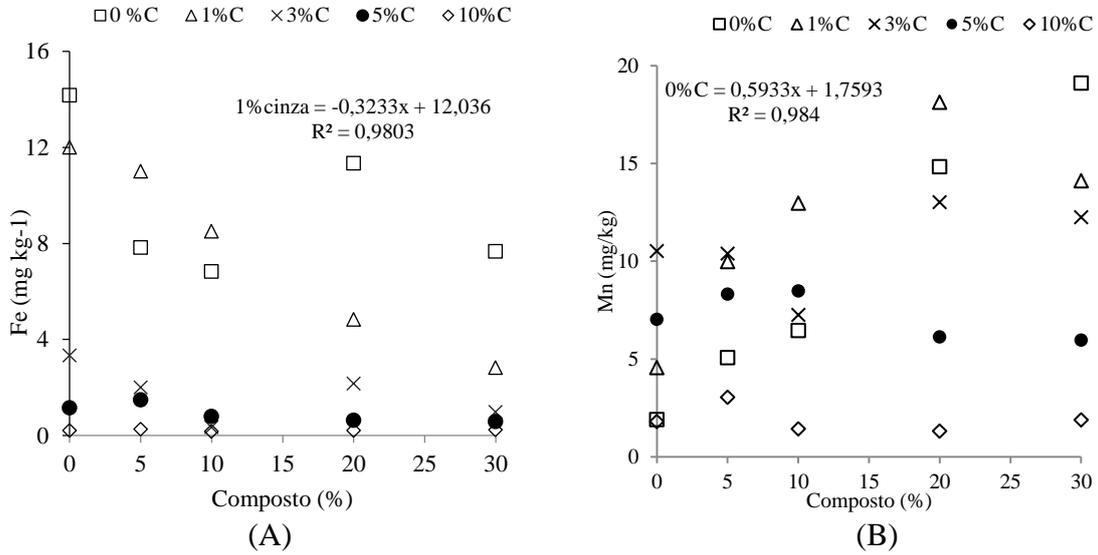
Fonte: Dados da Pesquisa (2015).

Sobre o aumento da disponibilidade do Mn no composto de aguapé, Abreu, Lopes e Santos (2007) explicam que ocorrem frequentemente no solo reações de oxirredução e isso influencia na disponibilidade de micronutrientes no mesmo, com destaque para o Fe e o Mn. Os autores explicam que em solos drenados e arejados, o potencial de oxirredução é bastante elevado e em solos inundados, esse potencial cai significativamente. Porém, o potencial de oxirredução do Mn de Mn<sup>4+</sup> para Mn<sup>2+</sup> ocorre tanto em condições de solo drenado quanto inundado. Segundo os autores, “isso explica porque, mesmo em solos não inundados, a toxidez de Mn é frequente.” (ABREU, LOPES, SANTOS, 2007, p. 658).

Variando as doses de composto houve ajuste dos dados ao modelo para a concentração de Fe no solo quando foi adicionado 1% de cinza e para o Mn quando não houve adição de cinza (Figura 7A e 7B). Quando houve variação de doses de cinza, tem-se resposta apenas para Mn com adição de 20 e 30% de composto (Figura 8). Essas informações podem ser

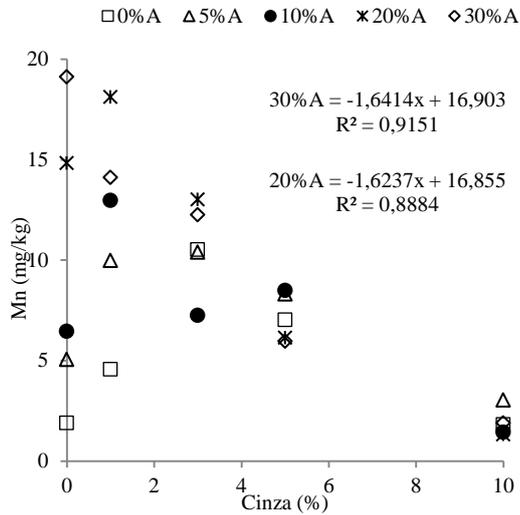
confirmadas a partir da observação dos gráficos, onde se percebe valores bastante variados para as diferentes doses, dificultando o ajuste ao modelo.

Figura 7 – Concentração de Fe (A) e Mn (B) no solo em função de doses de composto para diferentes doses de cinza



Fonte: Dados da Pesquisa (2015).

Figura 8 – Concentração de Mn no solo em função de doses de cinza para diferentes doses de composto



Fonte: Dados da Pesquisa (2015).

### 5.3 PRODUÇÃO DE MATÉRIA SECA E ABSORÇÃO DE METAIS PESADOS PELAS PLANTAS DE JUCÁ

Houve diferença na produção de Matéria Seca da Parte Aérea (MSPA) e absorção de metais pesados pelas plantas de Jucá com a adição das doses de cinza e composto (Tabela 4). A produção de MSPA aumentou com o aumento das doses de composto e diminuiu a partir da elevação das doses de cinza. A absorção Fe, Mn, Cu e Zn diminuem para uma mesma dose de cinza e aumento das doses de aguapé.

Em relação às doses de cinza, é possível perceber que, para o Fe os valores são crescentes até a terceira dose, em seguida decrescem; para o Mn e o Cu, os valores sobem até a segunda dose depois voltam a diminuir. Para o Cu o valor diminui, mas volta a aumentar na dose máxima de cinza, porém trata-se de um aumento pouco significativo. Para o Zn e Pb, houve aumento da absorção com o aumento das doses de cinza (Tabela 4).

Sobre a absorção de alguns micronutrientes (Fe, Mn e Cu) pelas plantas, os valores foram decrescentes possivelmente porque a partir da terceira dose de cinza e também das doses crescentes de composto, as plantas começaram a apresentar taxas de mortalidade também crescentes, motivadas possivelmente pelo aumento do pH do solo.

As concentrações crescentes de Pb na planta com o aumento das doses de cinza explicam-se porque na cinza foi possível constatar valores elevados desse metal, ou seja, valores em torno de  $30 \text{ mg kg}^{-1}$  (Tabela 2). O mesmo não pode se justificar para o Zn, uma vez que não foi possível quantificar esse elemento nem na cinza nem no solo ou no composto previamente à montagem do experimento. Sobre o Zn, portanto, essas pequenas alterações na absorção pela planta podem ter sido influenciadas pelo modo como o Zn poderia estar disponível no solo, no composto ou na cinza, ou seja, o Zn poderia não estar disponível numa forma que o extrator pudesse identificar.

Conforme mencionado anteriormente, o pH no solo após o cultivo, aumentou a partir da incorporação de doses crescentes de composto e principalmente de cinza. A respeito dos fatores que influenciam na disponibilidade de micronutrientes para as plantas, Abreu, Lopes e Santos (2007) afirmam que o pH do solo é um dos mais relevantes na alteração da disponibilidade de certos elementos, visto que o aumento do pH diminui a presença dos micronutrientes Fe, Mn, Cu e Zn, reduzindo sua solubilidade no solo e, conseqüentemente sua disponibilidade para as plantas.

Tabela 4 – Matéria seca e concentração de metais nas mudas de Jucá em função de cinza e composto

Cinza	Composto	MSPA	Fe	Mn	Cu	Zn	Cd	Pb
%	%	mg vaso <sup>-1</sup>						
0	0	0,19	0,339	0,295	0,018	0,067	0,001	0,011
0	5	0,40	0,299	0,060	0,019	0,032	0,001	0,011
0	10	0,85	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
0	20	2,31	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
0	30	4,02	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
1	0	0,19	0,397	0,087	0,027	0,052	0,001	0,006
1	5	0,66	0,333	0,060	0,021	0,035	0,001	0,009
1	10	0,95	0,139	0,030	0,012	0,020	0,001	0,010
1	20	1,51	0,027	0,003	0,002	0,004	0,000	0,002
1	30	4,17	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
3	0	0,00	0,517	0,093	0,038	0,072	0,001	0,009
3	5	0,29	0,353	0,075	0,023	0,038	0,001	0,012
3	10	1,09	0,118	0,023	0,010	0,016	0,001	0,008
3	20	2,06	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
3	30	3,81	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
5	0	0,14	0,532	0,109	0,043	0,076	0,001	0,017
5	5	0,43	0,198	0,048	0,012	0,045	0,001	0,012
5	10	0,70	0,091	0,018	0,008	0,014	0,001	0,006
5	20	1,87	0,036	0,004	0,003	0,006	0,000	0,002
5	30	2,69	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
10	0	0,00	0,616	0,122	0,048	0,111	0,002	0,026
10	5	0,00	0,254	0,064	0,026	0,051	0,002	0,020
10	10	0,31	0,061	0,011	0,004	0,013	0,000	0,004
10	20	1,71	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
10	30	1,94	0,033	0,003	0,003	0,007	0,000	0,002

Fonte: Dados da Pesquisa (2015).

Para os tratamentos com adição de composto, os dados não se ajustaram ao modelo (Figura 9), entretanto, o modelo se ajustou aos dados das características avaliadas para os tratamentos onde se adicionou cinza (Figura 10), com coeficientes de determinação para todas as regressões maiores que 0,98 (Tabela 5). O valor estimado para absorção máxima ( $A_{max}$ ) do Fe foi superior aos demais, com valor máximo de absorção de 0,48%, mesmo comportamento para a taxa de absorção máxima ( $TA_{max}$ ). Em relação à dose para a taxa de absorção máxima ( $DTA_{max}$ ), esta foi maior para o Cd, com a absorção de 2,649%, a taxa foi mais lenta para o Zn, com absorção de 0,290% (Tabela 5).

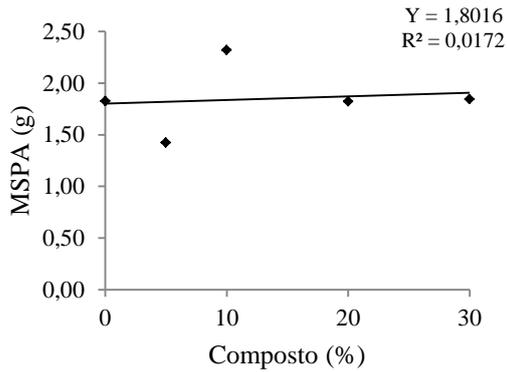
Tabela 5 – Parâmetros ajustados do modelo ( $A_{max}$ ,  $\alpha$  e  $n$ ), coeficiente de determinação ( $R^2$ ), dose que as plantas absorvem 50% da máxima absorção estimada ( $DA_{max50\%}$ ), dose para taxa de absorção máxima ( $DTA_{max}$ ) e taxa de absorção máxima ( $TA_{max}$ ), para os tratamentos com diferentes doses de cinza

	MSPA	Fe	Mn	Cu	Zn	Cd	Pb
$A_{max}$ (%)	3,32	0,48	0,14	0,03	0,08	0,00	0,01

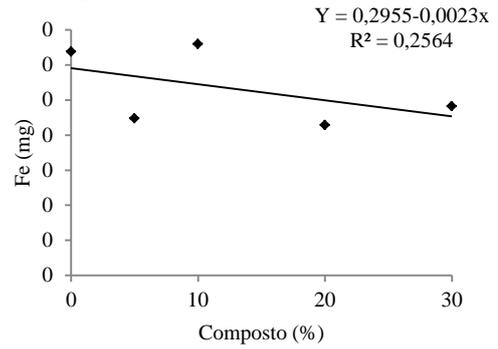
$\alpha$	0,78	0,78	1,16	0,78	0,91	0,32	0,34
n	1,22	1,62	1,59	1,44	1,38	3,42	2,53
R <sup>2</sup>	1,00	1,00	1,00	0,99	0,99	0,98	0,98
DA <sub>max50%</sub>	1,278	1,280	0,861	1,278	1,094	3,159	2,910
DTA <sub>max</sub>	0,189	0,526	0,340	0,390	0,290	2,649	2,092
TA <sub>max</sub>	1,735	0,229	0,100	0,017	0,043	0,000	0,004

Fonte: Dados da Pesquisa (2015).

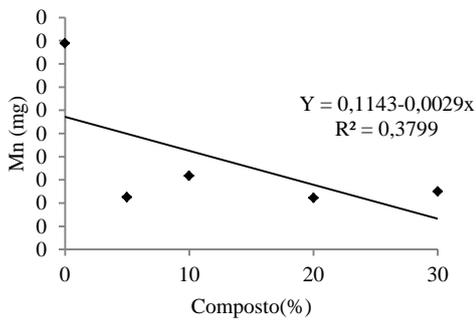
Figura 9 – Matéria seca da parte aérea e concentração de metais pesados em mudas de jucatã em função das doses de composto



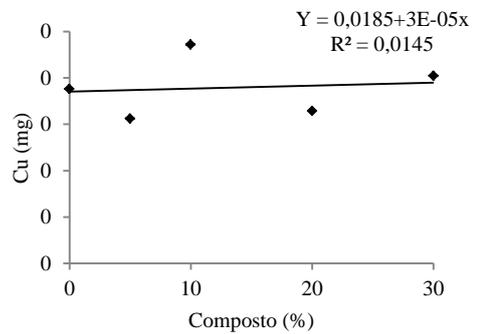
(A)



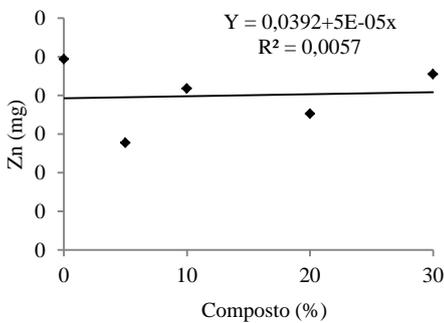
(B)



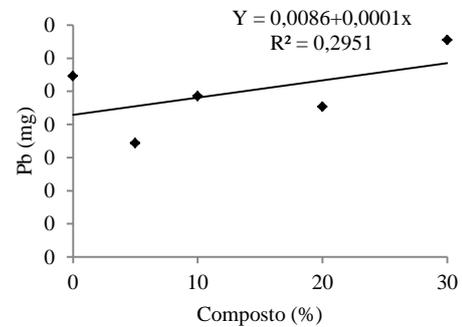
(C)



(D)



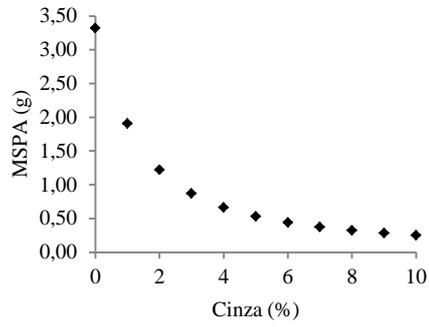
(E)



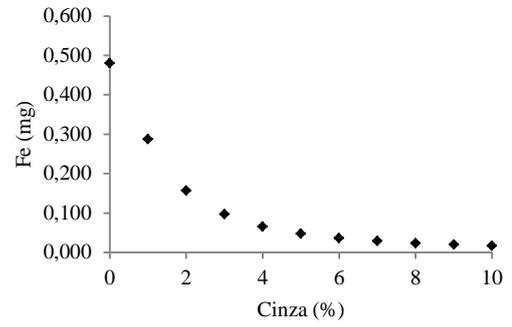
(F)

Fonte: Dados da Pesquisa (2015).

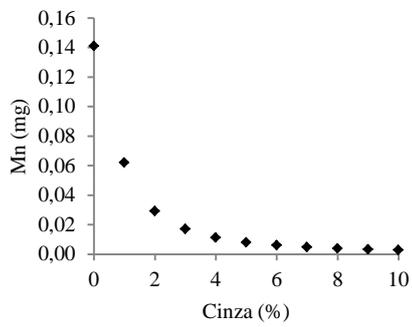
Figura 10 – Matéria seca da parte aérea e concentração de metais pesados em mudas de jucá em função das doses de cinza



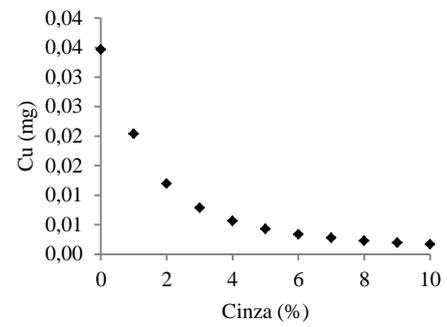
(A)



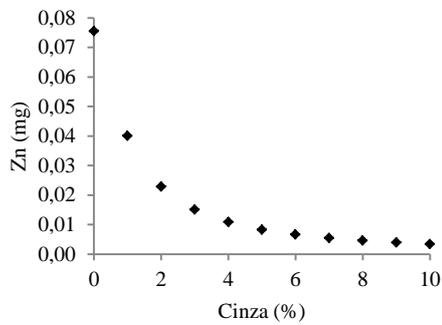
(B)



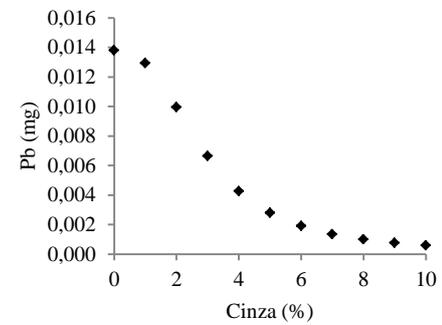
(C)



(D)



(E)



(F)

Fonte: Dados da Pesquisa (2015).

## 6 CONCLUSÃO

Com base na pesquisa realizada, foi possível concluir que:

- As raízes dos aguapés apresentaram concentrações de metais pesados superior as da parte aérea. As maiores concentrações de metais pesados na cinza foi para Fe e Pb, tem-se ainda que a cinza apresentou elevados teores de pH (12,85). O solo apresentou baixas concentrações de metais e pH de 6,2.
- A matéria seca das mudas de Jucá (*Libidibia ferrea*), bem como os teores de Fe, Mn e Cu, com o aumento das doses de cinza, foram decrescentes em virtude do aumento do pH do solo. Por esse motivo também, a partir da terceira dose de cinza (3%), as mudas começaram a apresentar taxas de mortalidade mais altas.
- O modelo matemático estimou satisfatoriamente a absorção máxima de metais pesados pelas mudas e disponibilidade desses elementos no solo em função das doses de cinza e composto de aguapé.

## REFERÊNCIAS

ABREU, C. A.; LOPES, A. S.; SANTOS, G. C. G. Micronutrientes. In: NOVAIS, R. F. et al., **Fertilidade do solo**. Viçosa, MG: SBCS, 2007. cap. 11, p. 645-736.

ALLEONI, L. R. F. **Coeficientes de distribuição de metais pesados em solos de São Paulo**. Piracicaba, SP: USP, 2007. Slides apresentados em Brasília-DF. Disponível em: <<http://docplayer.com.br/10694274-Coeficientes-de-distribuicao-de-metais-pesados-em-solos-de-sao-paulo-luis-reynaldo-f-alleoni-esalq-usp-dep-de-ciencia-do-solo.html>>. Acesso em: 22 dez. 2015.

ALLEONI, L. R. F.; BORBA, R. P.; CAMARGO, O. A. Metais pesados: da cosmogênese aos solos brasileiros. In: VIDAL-TORRADO, P. et al. (Ed.). **Tópicos em ciência do solo – vol. IV**. Viçosa, MG: SBCS, 2005. p. 1-42.

ASSOCIAÇÃO CAATINGA. **Restauração florestal da Caatinga**. Fortaleza: Associação Caatinga, 2012. Disponível em: <<http://www.terrabrasil.org.br/ecotecadigital/pdf/restauracao-florestal-da-caatinga.pdf>>. Acesso em: 14 jul. 2014.

ÁVILA, Z. R. de; PITELLI, R. A. Crescimento, esporulação e virulência do inóculo de *Cercosporapiaropi*, agente de biocontrole do aguapé. **Fitopatologia Brasileira**, v. 29, n. 2, p. 189-192, 2004. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/fb/v29n2/19563.pdf>>. Acesso em: 18 set. 2014.

BIONDI, C. M. **Teores naturais de metais pesados nos solos de referência do estado de Pernambuco**. 2010. 70f. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) – Universidade Federal Rural de Pernambuco. Recife, 2010.

BONFIM-SILVA, E. M. et al. Cinza vegetal: características produtivas e teor de clorofila do capim-marandu. **Biosci. J.**, Uberlândia, v. 29, n. 5, p. 1215-1225, set./out. 2013. Disponível em: <[www.seer.ufu.br/index.php/biosciencejournal/article/download/.../13015](http://www.seer.ufu.br/index.php/biosciencejournal/article/download/.../13015)>. Acesso em: 25 ago. 2014.

BRANDÃO, S. L.; LIMA, S. C. pH e Condutividade Elétrica em solução do solo, em áreas de Pinus e Cerrado na chapada, em Uberlândia (MG), **Caminhos de Geografia**, Uberlândia, v. 3, n. 6, p. 46-56, jun/2002. Disponível em: <<http://www.seer.ufu.br/index.php/caminhosdegeografia/article/view/15294/8593>>. Acesso em 5 dez. 2015.

BRASIL. Decreto nº 97.632, de 10 de abril de 1989. Dispõe sobre a regulamentação do Artigo 2º, inciso VIII, da Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981, e dá outras providências. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**. Poder Executivo, Brasília, DF, 10 abr. 1989. Disponível em: <<http://goo.gl/TZ3cYy>>. Acesso em: 08 set. 2014.

BRASIL. Conselho Nacional de Meio Ambiente. 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**. Poder Executivo, Brasília, DF, 30 de dezembro de 2009. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=620>>. Acesso em: 7 jan. 2016.

CALGARO, H. F. et al. Resíduos orgânicos como condicionante de subsolo degradado e efeitos na atividade microbiana e fertilidade em cultivo de Barbatimão. **R. Árvore**, Viçosa, MG, v. 32, n. 6, p. 1069-1079, 2008. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rarv/v32n6/a12v32n6.pdf>>. Acesso em: 18 set. 2014.

COOLEY, T. N.; GONZALEZ, M. H.; MARTIN, D. F. Radio, Manganese, Iron and phosphorous uptake by *water hyacinth* and economic implications. **Economic Botany**, v. 32, n. 4, p. 371-378, 1979.

DANTAS, B. F. et al. Taxas de crescimento de mudas de catingueira submetidas a diferentes substratos e sombreamentos. **R. Árvore**, v. 33, n. 3, p. 413-423, 2009. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rarv/v33n3/03.pdf>>. Acesso em: 06 jul. 2015.

DAROLT, M. R.; BLANCO NETO, V.; ZAMBON, F. R.A. Cinza vegetal como fonte de nutrientes e corretivo de solo na cultura de alface. **Hort. Bras.**, v. 11, n. 1, p. 38-40, maio 1993. Disponível em: <[http://www.iapar.br/arquivos/File/zip\\_pdf/darolt\\_cinzavegetal.pdf](http://www.iapar.br/arquivos/File/zip_pdf/darolt_cinzavegetal.pdf)>. Acesso em: 12 ago. 2014.

DECHEN, A. R.; NACHTIGALI, G. R. Elementos requeridos à nutrição de plantas. In: NOVAIS, R. F. et al., **Fertilidade do solo**. Viçosa, MG: SBCS, 2007. cap. 3, p. 91-132.

DEMEYER, A.; VOUNDI-NKANA, J. C.; VERLOO, M. G. Characteristics of wood ash and influence on soil properties and nutrient uptake: an overview. **Elsevier**, v. 77, p. 287-295, 2001. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S096085240000432>>. Acesso em: 18 set. 2014.

DOMENE, V. D. et al. Crescimento diamétrico de jurema-preta (*Mimosa tenuiflora*). In: EVENTO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA, 9., 2010, Colombo, PR. **Anais...** Colombo, PR: EVINCI, 2010. Disponível em: <<http://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/873937/1/14110.pdf>>. Acesso em: 06 jul. 2015.

EMBRAPA – EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Manual de métodos de análise de solo**. Rio de Janeiro: EMBRAPA, 2011. Disponível em: <<http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/990374/1/ManualdeMtodosdeAnilisedeSolo.pdf>>. Acesso em: 19 abr. 2014.

FEAM – FUNDAÇÃO ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE. **Plano de ação para adequação ambiental e energética das indústrias de cerâmica vermelha no estado de Minas Gerais**. Belo Horizonte: FEAM, 2012. Disponível em: <[http://www.feam.br/images/stories/producao\\_sustentavel/plano\\_acao\\_ceramica\\_vermelha.pdf](http://www.feam.br/images/stories/producao_sustentavel/plano_acao_ceramica_vermelha.pdf)>. Acesso em: 22 set. 2014.

FONTES, C. Caatinga. In: INSTITUTO SOCIOAMBIENTAL. **Almanaque Brasil socioambiental**. São Paulo: ISA, 2008. p. 107-127.

GRIGIO, A. M.; DIODATO, M. A. Dimensões físico-ambiental. In: PESSOA, Z. S. et al. (Org.). **Como anda Mossoró: análise da conjuntura sociourbana**. Natal: UFRN, 2011. cap. 4.

GUARIZ, H. R. et al. Uso de cinzas de fornos de cerâmica como fonte de nutrientes para aproveitamento na agricultura. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE RESÍDUOS

ORGÂNICOS. 1., 2009, Vitória, **Anais...** Vitória: CBRO, 2009. Disponível em: <<http://www.incaper.es.gov.br/biossolido/icbro/cbro/Artigos/AGROECOLOGIA/Usode%20cinzas%20de%20fornos%20de%20ceramica%20como%20fonte%20de%20nutrientes%20para%20aproveitamento%20na%20agricultura.pdf>>. Acesso em: 3 ago. 2015.

HENRY-SILVA, G. G.; CAMARGO, A. F. M. Composição química de macrófitas aquáticas flutuantes utilizadas no tratamento de efluentes da aquicultura. **Planta Daninha**, v. 24, n. 1, p. 21-28. 2006. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/pd/v24n1/a03v24n1.pdf>>. Acesso em: 18 set. 2014.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **IBGE Cidades:** Rio Grande do Norte: Mossoró, 2010. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/cidadesat/topwindow.htm?1>>. Acesso em: 30 set. 2014.

IDEMA - INSTITUTO DE DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL E MEIO AMBIENTE DO RIO GRANDE DO NORTE. **Licenciamento ambiental:** competência para licenciar. 2014. Disponível em: <<http://www.idema.rn.gov.br/Conteudo.asp?TRAN=ITEM&TARG=2114&ACT=&PAGE=0&PARM=&LBL=Licenciamento+Ambiental>>. Acesso em: 29 set. 2014.

KLEIN, F. C.; HOEHNE, L. Determinação de chumbo em solo de uma antiga fábrica de acumuladores elétricos e proposta de remediação. **Revista destaques acadêmicos**, v.6, n. 4, p. 66-75, 2014. Disponível em: <<http://www.univates.br/revistas/index.php/destaques/article/view/1226/671>>. Acesso em 22 dez. 2015.

LENHARD, N. R. et al. Crescimento de mudas de pau-ferro sob diferentes níveis de sombreamento. **Pesq. Agropec. Trop.**, v. 43, n. 2, p. 178-186, abr./jun. 2013. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/pat/v43n2/v43n2a12>>. Acesso em 06 jul. 2015.

LENHARD, N. R.; SCALON, S. P. Q.; NOVELINO, J. O. Crescimento inicial de mudas de pau-ferro (*Caesalpinia ferrea* Mart. ex Tul. var. *leiostachya* Benth.) sob diferentes regimes hídricos. **Ciênc. Agrotec.**, v. 34, n. 4, p. 870-877, jul./ago. 2010. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/cagro/v34n4/v34n4a11.pdf>>. Acesso em: 06 jul. 2015.

LOPES, A. P. et al. **Crescimento inicial de plantas de catingueira submetidas ao estresse salino.** Petrolina: Embrapa Semiárido, 2008. Disponível em: <[http://www.cpatsa.embrapa.br/public\\_eletronica/downloads/OPB1604.pdf](http://www.cpatsa.embrapa.br/public_eletronica/downloads/OPB1604.pdf)> Acesso em: 06 jul. 2015.

LOW, K. S.; LEE, C. K. Removal of arsenic from solution by water hyacinth (*Eichhornia crassipes*). **Ibid**, v. 13, n. 1, p. 129-131, 1990.

MAEDA, S.; SILVA, H. D.; MAGALHÃES, W. L. E. **Caracterização química de cinza de biomassa vegetal e respostas à sua aplicação em Latossolo e Cambissolo de Piraí do Sul, PR.** Colombo: Embrapa Florestas, 2007. Disponível em: <<http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/314054/1/Doc155.pdf>>. Acesso em 22 ago. 2014.

MAIA, C. E. et al. Crescimento do meloeiro Orange flesh em função do preparo do solo e construção de camalhão. **Revista Ciência Agronômica**, v. 40, n. 1, p. 41-47, 2009. Disponível em: <<http://ccarevista.ufc.br/seer/index.php/ccarevista/article/view/401>>. Acesso em: 22 dez. 2015.

MALAVOLTA, E. et al. Sobre a composição mineral do aguapé (*Eichhornia crassipes*). **An. Esalq.**, v. 46, pt. 1, p. 155-162, 1989. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/aesalq/v46n1/11.pdf>>. Acesso em: 20 ago. 2014.

MARTINS, S. V. **Recuperação de áreas degradadas: ações em áreas de preservação permanente, voçorocas, taludes rodoviários e de mineração**. 3. ed. Viçosa, MG: Aprenda Fácil, 2013.

MARTINS, J. L. et al. Eficiência da cinza do carvão mineral resultante da dessulfuração na correção da acidez do solo. **Revista Brasileira de Agrociência**, v. 6, n. 3, p. 248-250. 2000. Disponível em: < <https://periodicos.ufpel.edu.br/ojs2/index.php/CAST/article/viewFile/342/336> >. Acesso em: 30 set. 2015.

MELO, R. R.; CUNHA, M. C. L. Crescimento inicial de mudas de mulungu sob diferentes níveis de luminosidade. **Ambiência**, v. 4, n. 1, p. 67-77, jan./abr., 2008. Disponível em: <[http://www.researchgate.net/publication/251232004\\_Crescimento\\_inicial\\_de\\_mudas\\_de\\_mulungu\\_\(Erythrina\\_velutina\\_Wild.\)\\_sob\\_diferentes\\_nveis\\_de\\_luminosidade](http://www.researchgate.net/publication/251232004_Crescimento_inicial_de_mudas_de_mulungu_(Erythrina_velutina_Wild.)_sob_diferentes_nveis_de_luminosidade)>. Acesso em: 16 jul. 2015.

MORAIS, E. R. C. de. **Recuperação de áreas degradadas pela exploração de petróleo usando cinza de olaria e composto orgânico de macrófita aquática**. Mossoró: UFERSA, 2013. Edital Universal MCTI/CNPq nº 14/2013.

MOREIRA, F. R.; MOREIRA, J. C. Os efeitos do chumbo sobre o organismo humano e seu significado para a saúde. **Revista Panam Salud Publica**, v. 15, n. 2, p. 119–129, 2004. Disponível em: < <http://www.scielosp.org/pdf/rpsp/v15n2/20821.pdf> >. Acesso em: 22 dez. 2015.

NACHTIGALL, G. R.; NOGUEIROL, R. C.; ALLEONI, L. R. F. Extração sequencial de Mn e Zn em solos em função do pH e adição de cama-de-frango. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 13, n. 3, p. 240-249, 2009. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rbeaa/v13n3/v13n03a04.pdf>>. Acesso em 27 jan. 2016.

NASCIMENTO, C. W. A.; ACCIOLY, A. M. A.; BIONDI, C. M. Fitoextração de metais pesados em solos contaminados: avanços e perspectivas. In: RIBEIRO, M. R (Ed.). **Tópicos em ciência do solo – vol. VI**. Viçosa, MG: SBCS, 2009. p. 461-497.

PEREIRA, F. J. et al. Mecanismos anatômicos e fisiológicos de plantas de aguapé para a tolerância à contaminação por arsênio. **Planta Daninha**, v. 29, n. 2, p. 259-267, 2011. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/pd/v29n2/a03v29n2.pdf>>. Acesso em: 23 abr. 2014.

PEREIRA, M. S. **Manual técnico: conhecendo e produzindo sementes e mudas da Caatinga**. Fortaleza: Associação Caatinga, 2011. Disponível em: <<http://www.terrabrasil.org.br/ecotecadigital/images/abook/pdf/1sem2015/Passivo/Manual%20Tcnico%20-%20Conhecendo%20e%20Produo%20de%20Sementes%20e%20Mudas%20na%20Caatinga.pdf>>. Acesso em: 3 out. 2012.

PRADO, R. de M.; CORRÊA, M. C. de M.; NATALE, W. Efeito da cinza da indústria cerâmica no solo e na nutrição de mudas de goiabeira. **Acta Scientiarum**, Maringá, v. 24, n. 5, p. 1493-1500, 2002. Disponível em: <<http://periodicos.uem.br/ojs/index.php/ActaSciAgron/article/view/2412/1810>>. Acesso em: 25 ago. 2014.

RESENDE, A. S.; CHAER, G. M. Prefácio. In: \_\_\_\_\_ (Ed.). **Manual para recuperação de áreas degradadas por extração de piçarra na Caatinga**. Seropédica: Embrapa Agrobiologia, 2010.

RESENDE, A. S. et al. Plantio de espécies florestais em jazidas de extração de piçarra. In: RESENDE, A. S.; CHAER, G. M. (Ed.). **Manual para recuperação de áreas degradadas por extração de piçarra na Caatinga**. Seropédica: Embrapa Agrobiologia, 2010. cap. 3. p. 29-50.

SCALON, S. P. Q. et al. Germinação e crescimento de *Caesalpinia ferrea* Mart. Ex Tul. em diferentes substratos. **Revista Árvore**, v. 35, n. 3, p. 633-639, 2011. Disponível em: <<http://repositorio.unesp.br/handle/11449/27747>>. Acesso em: 06 jul. 2015.

SILVA et al. Avaliação do pH e do teor de matéria orgânica do solo após colheita do inhame adubado com esterco bovino e biofertilizante. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE OLEICULTURA, 51., 2011, Viçosa, **Anais...**, Viçosa: Hort. Brasileira, 2011. Disponível em: <[http://www.abhorticultura.com.br/eventosx/trabalhos/ev\\_5/a3891\\_t5179\\_comp.pdf](http://www.abhorticultura.com.br/eventosx/trabalhos/ev_5/a3891_t5179_comp.pdf)>. Acesso em: 01 fev. 2016.

SOUSA, D. M.; MIRANDA, L. N.; OLIVEIRA, S. A. Acidez do solo e sua correção. In: NOVAIS, R. F. et al., **Fertilidade do solo**. Viçosa, MG: SBCS, 2007. cap. 5, p. 205-274.

SOUSA, F. Q. et al. Crescimento e respostas fisiológicas de espécies arbóreas em solo salinizado tratado com corretivos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 16, n. 2, p. 173-181, 2012. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rbeaa/v16n2/v16n02a07.pdf>>. Acesso em: 16 jul. 2015.

TAVARES, S. R. de L. et al. **Curso de recuperação de áreas degradadas: a visão da ciência do solo no contexto do diagnóstico, manejo, indicadores de monitoramento e estratégias de recuperação**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos; Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, 2008. Disponível em: <<http://goo.gl/yehHJl>>. Acesso em: 22 abr. 2014.

VITÓRIA, A. P. et al. Ecophysiological adaptation and metal accumulation in water hyacinth from two tropical rivers. **Brazilian Journal of Plant Physiology**, v. 22, n. 1, p. 49-59, 2010. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/bjpp/v22n1/v22n1a06.pdf>>. Acesso em: 23 abr. 2014.