



**MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO  
UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DA AMAZÔNIA  
EMBRAPA AMAZÔNIA ORIENTAL**



**IDEMÊ GOMES AMARAL**

**EFEITO DO LODO DE CURTUME COMO SUBSTRATO NO CRESCIMENTO DE  
PLÂNTULAS DO AÇAIZEIRO, CULTIVAR BRS-PARÁ**

**Belém  
2009**



**MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO  
UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DA AMAZÔNIA  
EMBRAPA AMAZÔNIA ORIENTAL**



**IDEMÊ GOMES AMARAL**

**EFEITO DO LODO DE CURTUME COMO SUBSTRATO NO CRESCIMENTO DE  
PLÂNTULAS DO AÇAIZEIRO, CULTIVAR BRS-PARÁ**

Tese apresentada à Universidade Federal Rural da Amazônia e Embrapa Amazônia Oriental, como parte das exigências do Curso de Doutorado em Ciências Agrárias: área de concentração Agroecossistemas da Amazônia, para obtenção do título de Doutor.

Orientador: Eng. Agrônomo Prof. Dr. George Rodrigues da Silva

**Belém  
2009**

---

Amaral, Idemê Gomes

Efeito do lodo de curtume como substrato no crescimento de plântulas do açaizeiro, cultivar BRS- Pará. / Idemê Gomes Amaral.- Belém, 2009.

98f.:il.

Tese (Doutorado em Ciências Agrárias/Agroecossistemas da Amazônia) – Universidade Federal Rural da Amazônia/Embrapa Amazônia Oriental, 2010.

1. Resíduo Industrial 2. Metais pesados 3. *Euterpe oleracea* Mart.  
4. Fitorremediação 5. Nutrientes I. Título.

CDD –634.6

---



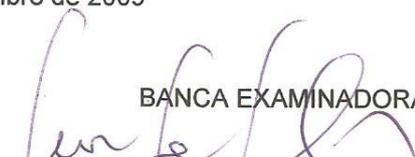
**IDEMÊ GOMES AMARAL**

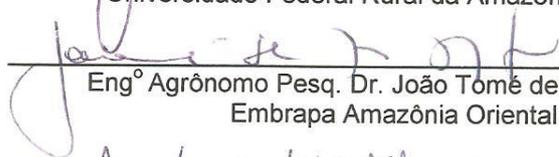
**EFEITO DO LODO DE CURTUME COMO SUBSTRATO NO CRESCIMENTO DE  
PLÂNTULAS DO AÇAIZEIRO, CULTIVAR BRS-PARÁ**

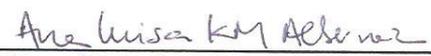
Tese apresentada à Universidade Federal Rural da Amazônia e Embrapa Amazônia Oriental, como parte das exigências do Curso de Doutorado em Ciências Agrárias: área de concentração Agroecossistemas da Amazônia, para obtenção do título de Doutor.

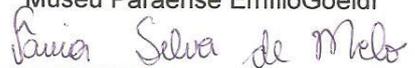
Aprovada em 29 de dezembro de 2009

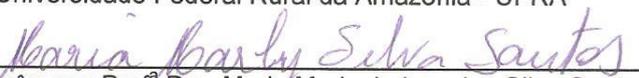
**BANCA EXAMINADORA**

  
Eng<sup>o</sup> Agrônomo Prof. Dr. George Rodrigues da Silva – Orientador  
Universidade Federal Rural da Amazônia – UFRA

  
Eng<sup>o</sup> Agrônomo Pesq. Dr. João Tomé de Farias Neto  
Embrapa Amazônia Oriental

  
Bióloga Pesq. Dra. Ana Luisa Kerti Mangabeira Albernaz  
Museu Paraense Emílio Goeldi

  
Eng<sup>a</sup> Agrônoma Prof<sup>a</sup> Dra. Vânia Silva de Melo  
Universidade Federal Rural da Amazônia - UFRA

  
Eng<sup>a</sup> Agrônoma Prof<sup>a</sup> Dra. Maria Marly de Lourdes Silva Santos  
Universidade Federal Rural da Amazônia - UFRA

Aos meus pais, **Gregório Henrique e Maria** (In memoriam).

*Pelo exemplo e incentivo aos estudos e a toda a minha  
família sempre presente em todos os momentos de minha vida*

## **DEDICO**

**Ao Museu Paraense Emílio Goeldi (MPEG) e à  
Universidade Federal Rural da Amazônia (UFRA)**

*Pela contribuição em minha formação e pela oportunidade de poder  
conviver com pessoas tão representativas da comunidade científica e do ensino.*

**OFEREÇO**

## AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar, ao Deus Supremo pela força e coragem, iluminando e protegendo meus caminhos;

À minha família, que é meu alicerce, fonte de apoio, incentivo e compreensão, principalmente quando precisei ausentar-me;

Ao Ministério da Ciência e Tecnologia - MCT, ao Museu Paraense Emílio Goeldi – MPEG e a Universidade Federal Rural da Amazônia – UFRA, através da Coordenadoria de Pós-Graduação do Curso de Doutorado em Ciências Agrárias, pela oportunidade de realizar este curso;

Ao professor Dr. George Rodrigues da Silva (UFRA), pela orientação dedicada a este trabalho;

A todos os professores da UFRA, que contribuíram para minha formação desde a minha graduação;

Ao Dr. Mário Augusto Gonçalves Jardim (pesquisador do MPEG), por disponibilizar, gentilmente, um espaço no Horto Botânico da Coordenação de Botânica (CBO-MPEG), para montagem do experimento e pela revisão do texto;

Ao prof. Dr. Karl Henkel, pelos ensinamentos e disponibilidade na solução de dúvidas nas análises estatísticas;

À Shirley Costa, secretária do curso de Doutorado em Ciências Agrárias, pela preocupação em atender sempre de forma eficiente e atenciosa em todos os momentos em que precisei de sua ajuda;

Ao corpo técnico da Fundação Mokiti Okada (Ipeúna-SP), pelo treinamento recebido e agradáveis momentos de convivência;

À EMBRAPA-CPATU, particularmente na pessoa da Dra. Sonia Maria Botelho Araujo, responsável pelo Laboratório de Solos, pela colaboração prestada na utilização de equipamentos para secagem do material vegetal e do Dr. Raimundo Nonato Brabo Alves, responsável pela EMBRAPA-Moju, pelo apoio logístico durante a realização de atividades, inerentes ao trabalho de tese, desenvolvidas naquela localidade;

À professora Dra. Leonilde dos Santos Rosa (UFRA), coordenadora do Projeto Mata Ciliar, pela oportunidade de participar da equipe do Projeto, que possibilitou a coleta e análise laboratorial do solo utilizado nesta pesquisa;

À Direção da Empresa de Curtume, pela disponibilização do resíduo para realização dos testes experimentais;

Aos colegas da Coordenação de Ciências da Terra e Ecologia (CCTE/MPEG), em especial, ao técnico Paulo Sarmiento e a química Lêda Saffiotti, por toda ajuda nas atividades de laboratório, bem como a bióloga, Dra. Ana Luisa Mangabeira Albernaz, pelas colaborações e auxílios prestados nas análises estatísticas e revisão do texto;

Aos amigos: Railene de Fátima Teixeira Alves, Albanise Ferreira de Sousa e Cleitom Sousa, pela seriedade e responsabilidade dedicadas em várias fases dessa pesquisa;

Aos estagiários da Coordenação de Ciências da Terra do MPEG que contribuíram para a realização deste projeto, em especial a Sheila Dória Ferreira, aluna do curso de Engenharia Agrônômica da UFRA, pelo valioso auxílio nas atividades de campo e laboratório;

Ao Laboratório de Análises Químicas da ELETRONORTE pela realização da análise de alguns elementos químicos;

Aos colegas de pós-graduação, pela amizade formada e momentos de convivência;

E a todos que, de alguma forma, colaboraram para a realização deste trabalho.

**MUITO OBRIGADA!**

“Quem não menospreza, nem mesmo ascoisas insignificantes, é capaz de realizar grandes feitos”.

**(MEISHU-SAMA)**

## SUMÁRIO

	p.
<b>RESUMO.....</b>	<b>12</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>13</b>
<b>1. INTRODUÇÃO.....</b>	<b>14</b>
<b>2. REVISÃO DE LITERATURA.....</b>	<b>17</b>
2.1. OS CURTUMES.....	17
2.2. O PROCESSO DE CURTIMENTO DE PELES.....	21
2.2.1. <b>Ribeira.....</b>	<b>21</b>
2.2.2. <b>Curtimento.....</b>	<b>23</b>
2.2.3. <b>Acabamento.....</b>	<b>24</b>
2.3. O LODO DE CALEIRO .....	24
2.4. EFEITO DO LODO DE CURTUME NO SOLO.....	26
2.5. EFEITO DO LODO DE CURTUME EM PLANTAS.....	32
2.6. A FITORREMEDIAÇÃO.....	33
2.7. O AÇAIZEIRO ( <i>Euterpe oleracea</i> Mart.).....	35
2.7.1. <b>Origem e distribuição geográfica e usos.....</b>	<b>35</b>
2.7.2. <b>Condições edafoclimáticas.....</b>	<b>36</b>
2.7.3. <b>A cultivar BRS-Pará.....</b>	<b>37</b>
<b>3. MATERIAL E MÉTODOS.....</b>	<b>39</b>
3.1. DESCRIÇÃO DO CURTUME.....	39
3.2. CARACTERIZAÇÃO DO SOLO E DO LODO DE CURTUME.....	41
3.3. PLANTA UTILIZADA NO ESTUDO.....	44
3.4. DESCRIÇÃO DO SISTEMA EXPERIMENTAL.....	44
3.4.1. <b>Local de instalação do experimento.....</b>	<b>44</b>

3.4.2.	<b>Montagem e condução do experimento</b> .....	45
3.4.3.	<b>Delineamento estatístico, tratamentos e variáveis estudadas</b> .....	47
3.4.4.	<b>Análise química da planta e do substrato</b> .....	49
3.4.5..	<b>Análise estatística</b> .....	49
4.	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	50
4.1.	EFEITO DO LODO DE INDÚSTRIA DE CURTUME NO SOLO.....	50
4.1.1.	<b>Índice de acidez (pH em H<sub>2</sub>O)</b> .....	51
4.1.2.	<b>Matéria orgânica</b> .....	52
4.1.3.	<b>Sódio total (Na)</b> .....	53
4.1.4.	<b>Macronutrientes</b> .....	54
4.1.5.	<b>Micronutrientes e/ou metais pesados</b> .....	56
4.2.	EFEITO DO LODO DE INDÚSTRIA DE CURTUME EM VARIÁVEIS DE CRESCIMENTO DO AÇAIZEIRO - CULTIVAR BRS-PA.....	60
4.2.1.	<b>Altura da planta (AP)</b> .....	61
4.2.2.	<b>Diâmetro do colo (DC)</b> .....	63
4.2.3.	<b>Comprimento das raízes (CR)</b> .....	63
4.2.4.	<b>Matéria Seca (MS)</b> .....	65
4.3.	EFEITO DO LODO DE INDÚSTRIA DE CURTUME NA QUANTIDADE DE NUTRIENTES ABSORVIDOS PELAS PLÂNTULAS DE AÇAIZEIRO - CULTIVAR BRS-PA.....	66
4.3.1.	<b>Sódio total (Na)</b> .....	66
4.3.2.	<b>Macronutrientes</b> .....	68
4.3.3.	<b>Micronutrientes e/ou metais pesados</b> .....	69
4.4.	POTENCIAL FITORREMEDIADOR DO AÇAIZEIRO - CULTIVAR BRS-PA.....	73
5.	<b>CONCLUSÕES</b> .....	74
	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	75
	<b>APÊNDICE</b> .....	89

## LISTA DE FIGURAS

	p.
<b>Figura 1.</b> Distribuição de curtumes brasileiros, por região – 1997.....	18
<b>Figura 2.</b> Distribuição regional da produção de couro bovino no Brasil em 2006.....	19
<b>Figura 3.</b> Aspecto estrutural do “Fulão”.....	22
<b>Figura 4.</b> Plantio de açazeiro - cultivar BRS-Pará .....	37
<b>Figura 5.</b> Mapa de localização do DII .....	39
<b>Figura 6.</b> Aspecto da Estação de Tratamento de Esgoto do curtume A.....	40
<b>Figura 7.</b> Fluxograma do processo de produção do couro no “curtume A”.....	41
<b>Figura 8.</b> Aspecto da secagem do lodo do caleiro no “curtume A”.....	43
<b>Figura 9.</b> Local de instalação do experimento .....	44
<b>Figura 10.</b> Croqui do experimento.....	46
<b>Figura 11.</b> Vista parcial do experimento antes do plantio .....	46
<b>Figura 12.</b> Aspecto das plântulas de <i>Euterpe oleracea</i> Mart. no dia da coleta.....	47
<b>Figura 13.</b> Lavagem das raízes para eliminação de resíduos do substrato.....	48
<b>Figura 14.</b> Aspecto das plântulas de açazeiro, cultivar BRS-Pará, aos 180 dias após semeadura. Belém, PA. 2008.....	62
<b>Figura 15.</b> Aspecto do desenvolvimento do sistema radicular em plântulas de açazeiro, cultivar BRS-Pará, aos 180 dias após semeadura. Belém, PA. 2008.....	64

## LISTA DE TABELAS

	p.
<b>Tabela 1.</b> Relação de curtumes do Estado do Pará aprovados pela Lei de Benefícios Fiscais.....	20
<b>Tabela 2.</b> Produção anual de couro no Estado do Pará.....	20
<b>Tabela 3.</b> Limite de aplicação de metais pesados no solo.....	27
<b>Tabela 4.</b> Análise granulométrica e química do solo utilizado no experimento.....	42
<b>Tabela 5.</b> Características químicas do lodo do caleiro utilizado no experimento.....	43
<b>Tabela 6.</b> Composição dos tratamentos utilizados no experimento.....	45
<b>Tabela 7.</b> Composição química dos substratos utilizados no cultivo de plântulas de açaizeiro, cultivar BRS-Pará (antes do plantio e no final do experimento). Belém (PA), 2008.....	50
<b>Tabela 8.</b> Valores médios das variáveis de crescimento: altura da parte aérea da planta (AP), diâmetro do colo (DC), comprimento da raiz (CR), peso da massa seca da raiz (MSR), peso da massa seca da parte aérea (MSPA), e peso da massa seca total (MST), em açaizeiro-cultivar BRS-Pará, aos 180 dias da semeadura. Belém (PA), 2008.....	61
<b>Tabela 9.</b> Composição química de plântulas de açaizeiro, cultivar BRS-Pará, aos 180 dias da semeadura. Belém, PA. 2008.....	67

**RESUMO:** Na indústria de curtume o tratamento dos efluentes industriais produz um resíduo sólido denominado lodo. Os altos custos decorrentes do armazenamento e/ou incineração desse resíduo, induzem a comportamentos inadequados, como o descarte em locais impróprios da natureza, como em corpos d'água, aterros industriais ou mesmo lixeiras clandestinas. Tais práticas são de alto risco ambiental, pois o lodo possui alto poder de contaminação, devido a existência de elevados teores de metais tóxicos, especialmente, o cromo, quando não é convenientemente tratado, causando a poluição de aquíferos e do próprio solo. Os objetivos deste trabalho foram avaliar o efeito do lodo de curtume na fertilidade do solo; no crescimento e na composição química do açaizeiro; bem como, o potencial fitorremediador da planta. O estudo foi conduzido sob condições de viveiro instalado no Campus de Pesquisa do Museu Paraense Emílio Goeldi, utilizando-se lodo de curtume adicionado ao solo, na produção de mudas de açaizeiro (*Euterpe oleracea* Martius), cultivar "BRS-Pará", para fins ornamentais. O lodo utilizado no experimento foi caracterizado quimicamente (pH, matéria orgânica, C, N, relação C:N, Ca, Mg, K, Na, Cu, Zn, Fe, Cd, Mn, Cr e Pb), e misturado a um solo classificado como Neossolo Flúvico, nas seguintes proporções de lodo: 0% (T0), 50% (T1), 70% (T2), 75% (T3), 80% (T4) e 100% (T5). O delineamento experimental foi inteiramente casualizado com seis tratamentos e cinco repetições. Aos 180 dias, após a semeadura, foram feitas as avaliações e coleta de material. As avaliações consistiram na medição de altura, diâmetro do colo, comprimento da raiz e peso da matéria seca (parte aérea, raiz e total). Na massa seca foram realizadas as seguintes análises químicas: K, Na, Ca, Mg, Cd, Cr, Cu, Fe, Mn, Pb e Zn. Nos substratos utilizados como tratamentos foram determinados os valores de pH, matéria orgânica, N, K, Na, Ca, Mg, Cd, Cr, Cu, Fe, Mn, Pb e Zn. Observou-se maior acúmulo de cromo e ferro nas raízes, enquanto na parte aérea houve maior acúmulo de zinco e de manganês, porém não houve diferença significativa. O lodo do caleiro promoveu redução no pH e aumentou os teores de matéria orgânica, N, K, Na, Ca, Mg, Cd, Cr, Fé, Mn, Pb e Zn do solo. O desenvolvimento das plântulas de açaizeiro foi inibido, com sintomas de fitotoxicidade nas raízes, ocasionados pelo lodo de caleiro. O açaizeiro não apresentou potencial de fitorremediação.

Palavras-chave: Resíduo Industrial, Metais Pesados, *Euterpe oleracea* Mart., Fitorremediação.

**ABSTRACT:** In the industry of tanning treatment of industrial effluents produces a solid residue known as sludge. The high cost of storage and / or burning of waste, induce inappropriate behavior, such as disposal in inappropriate places of nature, such as water bodies, industrial landfills or illegal dumps. Such practices are of high environmental risk, because the sludge has a high contamination due to existence of high levels of toxic metals, especially chromium, if not properly treated, causing pollution of aquifers and the soil itself. The objectives of this study was to evaluate the effect of tannery sludge on soil fertility, growth and chemical composition of the açai, and the potential phytoremediator plant. The study was conducted under nursery conditions installed in the Research Campus of Emílio Goeldi Museum, using tannery sludge to soil, seedlings of açai (*Euterpe oleracea* Martius) cultivar BRS-Para ", for ornamental. The sludge used in the experiment was characterized chemically (pH, organic matter, C, N, C: N ratio, Ca, Mg, K, Na, Cu, Zn, Fe, Cd, Mn, Cr and Pb), and mixed with a soil classified as Fluvic in the following proportions of silt: 0% (T0), 50% (T1), 70% (T2), 75% (T3), 80% (T4) and 100% (T5). A completely randomized design with six treatments and five replications. At 180 days after sowing, were made assessments and collection of material. The evaluations consisted of measurement of height, diameter, root length and dry weight (shoot, root and total). Dry weight were determined by the following chemical analysis: K, Na, Ca, Mg, Cd, Cr, Cu, Fe, Mn, Pb and Zn. In substrates used as treatments were determined pH, organic matter, N, K, Na, Ca, Mg, Cd, Cr, Cu, Fe, Mn, Pb and Zn. There was greater accumulation of chromium and iron in the roots, while the shoot was greater accumulation of zinc and manganese, but no significant difference. The sludge from the liming promoted the reduction in soil acidity and increased levels of organic matter, N, K, Na, Ca, Mg, Cd, Cr, Fe, Mn, Pb and Zn. The development of seedlings of açai was inhibited, with symptoms of phytotoxicity in the roots, caused by sludge liming. The açai not presented potential phytoremediation.

Keywords: Industrial Waste, Heavy Metals, *Euterpe oleracea* Mart., Phytoremediation.

## 1 INTRODUÇÃO

A indústria de curtimento de couro, apesar de ser uma atividade importante na economia do País gera quantidades consideráveis de resíduos líquidos e sólidos, e tem sido relacionada entre as que mais têm contribuído para a poluição do meio ambiente, principalmente de corpos hídricos. Entre os resíduos sólidos têm-se os lodos, caracterizados por conter concentração mais elevada de cargas poluidoras do que os efluentes líquidos (SCHALCH; ALMEIDA; GOMES, 1989).

Os lodos gerados em indústrias de curtume são constituídos de materiais orgânicos de origem animal, tais como: pêlos, gorduras e restos de epiderme, misturados com sais inorgânicos como: carbonatos, nitratos, cálcio e enxofre, entre outros. Alguns desses componentes são nutrientes importantes para as plantas e microrganismos, como: nitrogênio, cálcio, enxofre, fósforo, magnésio e potássio (SELBACH et al., 1991, CAVALLET, 1992). Entretanto, esses lodos, mesmo após o tratamento recebido na Estação de Tratamento de Efluentes (ETE), se tornam altamente poluidores à medida que concentram elevadas cargas orgânicas e inorgânicas, como ácidos, fenóis, sulfatos, sulfetos, nitratos, sódio e, principalmente, o metal tóxico cromo, que é utilizado durante o processo de curtimento (SELBACH et al., 1991).

Nos últimos anos a preocupação com a geração de resíduos provenientes da atividade industrial de curtimento de couro, tem sido crescente, haja vista que, muitas vezes, as empresas não dispõem de estratégias adequadas de descarte e desconhecem seu efeito no meio ambiente. Este fato faz com que o gerenciamento e a gestão adequados desses resíduos tornem-se um sério problema enfrentado pelas entidades governamentais e não governamentais. Neste contexto, o solo aparece como um atenuador de poluição, no qual o resíduo poderá ser tratado ou disposto de forma controlada. A Agência de Proteção Ambiental Americana (USEPA), em 1983, já apontava aspectos positivos do tratamento de resíduos em solo.

No Brasil, as condições tropicais e subtropicais que expõem o solo a intenso intemperismo e à rápida degradação da matéria orgânica, o uso do lodo de curtume como insumo agrícola vem sendo estudado como uma opção viável, devido ao elevado teor de nutrientes e ao seu potencial de neutralização da acidez do solo (FERREIRA et al., 2003). Outro benefício da deposição destes resíduos no solo refere-se à possibilidade de serem usados na recuperação de áreas degradadas, (WADT, 2005). Entretanto, a deposição desses resíduos no solo normalmente é causa de muitas controvérsias.

Diversos trabalhos têm relatado de forma consistente os efeitos benéficos da utilização do lodo de curtume no rendimento das culturas e na melhoria das características físicas, químicas e biológicas do solo (KONRAD; CASTILHOS, 2002; FERREIRA et al., 2003). Em alguns Estados, como São Paulo e Rio Grande do Sul, principalmente, resíduos de curtume já são utilizados na adubação de muitas culturas (CASTILHOS; TEDESCO; VIDOR, 2002; SILVA et al., 2005; BORGES et al., 2007). Estudos dessa natureza, para as condições de clima e solos da Amazônia ainda são incipientes, especialmente no Estado do Pará, possuidor do maior rebanho bovino<sup>1</sup> na região Amazônica. Essa oferta de matéria prima, aliada aos incentivos fiscais implementados, favorecem a instalação de curtumes, sendo de fundamental importância estudos de possíveis alternativas de uso dos resíduos gerados nessas indústrias como forma de contribuir na minimização dos possíveis impactos ambientais provocados por essa atividade na região.

Fermino (1996) aponta à elaboração de substratos como um mercado potencial para resíduos da agroindústria, já que podem fornecer matérias-primas para a composição desses substratos. O lodo de curtume atende a várias exigências desse mercado, pois é leve, poroso, disponível em grandes volumes e, atualmente, cedido gratuitamente pelos curtumes, considerando-se que o usuário deve arcar apenas com o custo do transporte. Sua principal limitação se refere ao alto teor em cromo.

A produção de mudas de plantas para fins ornamentais e/ou florestais pode ser conduzida como uma forma de utilização racional do lodo de curtume. Neste contexto, a produção de mudas de açazeiro para fins ornamentais, objeto desta

---

<sup>1</sup> Estimado acima de 17 milhões de cabeças (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA-IBGE, 2006).

pesquisa, também poderia ser uma forma de utilização racional do lodo de curtume, pois não sendo destinadas ao consumo alimentar poderiam ser cultivadas em substratos produzidos com resíduos industriais, contendo eventuais níveis mais elevados de metais tóxicos. Do mesmo modo, é de grande importância o estudo do potencial fitorremediador do açazeiro na retirada de contaminantes do meio ambiente ou na recuperação de solos contaminados por metais pesados, haja vista a sua ampla distribuição em diferentes ecossistemas e em variados tipos de solos, desenvolvendo-se satisfatoriamente em condições de clima tropical, característico da região Norte.

O descarte deste tipo de material no ambiente, de forma diluída, através das mudas, reduziria o risco ambiental, se comparado à concentração em grandes depósitos ou aterros inadequados. No entanto, a utilização desse resíduo, requer o estabelecimento de dosagens limitadas, que poderá variar conforme as exigências nutricionais das espécies vegetais e sua resistência aos teores dos elementos químicos fitotóxicos.

Este trabalho teve por objetivo avaliar os efeitos do lodo de curtume como componente de substrato na fertilidade do solo, no crescimento e na composição química do açazeiro (*Euterpe oleracea* Mart.) – cultivar BRS-Pará, para fins ornamentais, bem como o potencial fitorremediador da planta.

## 2 REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 OS CURTUMES

Os Curtumes são indústrias que transformam peles “in natura” de animais em couro. Para isso, as peles passam por processos de limpeza para remoção de carne, pêlos e gorduras, sendo posteriormente, tratadas com produtos químicos para formar um material estável e durável, o couro (DI IACONI et al., 2002).

Segundo Bayer (2005) os curtumes podem ser caracterizados de acordo com sua etapa de processamento da matéria-prima, identificando quatro tipos básicos de curtumes atuando no país, conforme abaixo discriminados:

**Curtumes de “wet-blue”** - processam desde o couro cru<sup>2</sup> até o couro em “wet-blue”<sup>3</sup>: 85% dos curtumes nacionais estão nesta categoria.

**Curtumes de semi-acabados** – utilizam como matéria-prima o couro “wet-blue” e o transformam em couro crust (semi-acabado).

**Curtumes de acabamentos** – realizam apenas a etapa final de acabamento, utilizando-se do couro crust como matéria-prima, ou seja, apenas transformam o couro *crust* em couro acabado.

**Curtumes integrados** - executam todas as etapas do processo de industrialização do couro, processando desde o couro cru ao couro acabado.

Existem, atualmente, mais de 800 empresas de curtume atuando no país (BRASIL, 2006). Além dos curtumes como unidades autônomas de negócio, têm-se observado uma verticalização dos frigoríficos, atuando também como curtidores (PACHECO, 2005).

Cabe, ainda, ressaltar que existem diversos curtumes artesanais no País sem qualquer registro formal, com a produção voltada, basicamente, para o segmento de artefatos de couro artesanais. Esses curtumes encontram-se mais concentrados nas regiões menos desenvolvidas (AZEVEDO, 2002).

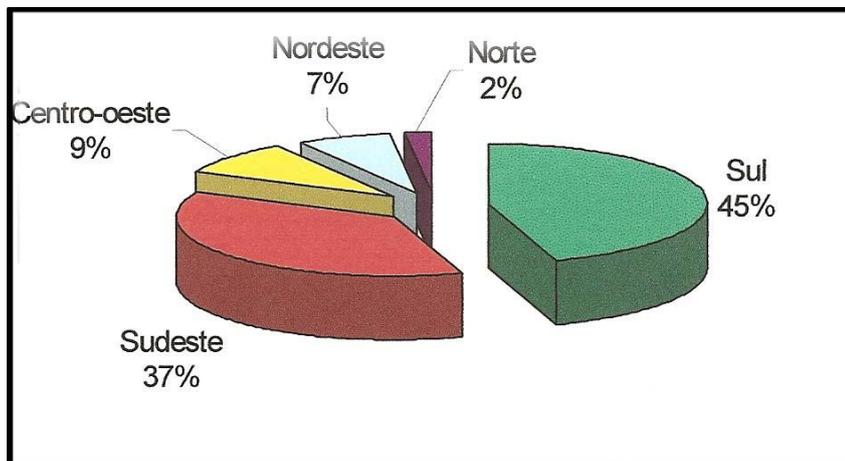
Em termos de produção, em 1997, a produção brasileira de couro estava concentrada nas regiões Sul e Sudeste, que juntas eram responsáveis por cerca dos 82% do total de couros. As demais regiões somaram 18% (Figura 1). Os principais

---

<sup>2</sup> Vendido pelo frigorífico aos curtumes, salgado ou em sangue, logo após o abate (BÁIA; ALVES, 2004).

<sup>3</sup> Couro curtido ao cromo, onde ele passa a exibir um tom azulado e molhado. Daí, o termo “wet-blue” (ZACARKIM, 2006).

estados produtores eram: Rio Grande do Sul, São Paulo, Paraná e Minas Gerais (RUPPENTHAL, 2001).



**Figura 1** Distribuição de curtumes brasileiros, por região – 1997

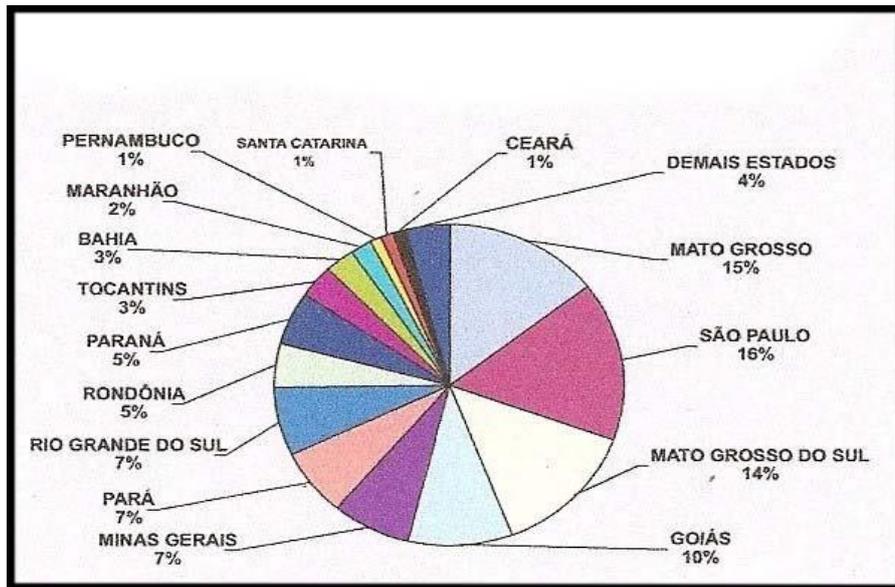
Fonte: BRASIL,<sup>4</sup> (1997, apud RUPPENTHAL, 2001)

A preferência das novas unidades industriais, principalmente, exportadores de “wet-blue”, tem sido a instalação junto à matéria prima couro cru, localizada, atualmente, no Brasil central (RUPPENTHAL, 2001). O avanço observado para o Centro-Oeste e região Norte é devido ao deslocamento do abate (frigoríficos) para essas regiões, em função da existência de incentivos fiscais, de mão-de-obra mais barata e de outras condições favoráveis (MICHELS; SPROESSER; MENDONÇA, 2001; PACHECO, 2005).

Segundo AICSUL-CNPC<sup>5</sup> (2006, apud CORREA; ROSA, 2007), Os principais estados produtores de couro cru, em 2006, foram São Paulo (16%), Mato Grosso (15%), Mato Grosso do Sul (14%), Goiás (10%), Minas Gerais (7%), Rio Grande do Sul (7%), Pará (7%), Paraná (5%) e Rondônia (5%), conforme podemos observar na Figura 2. É importante ressaltar que, em 2000, os principais estados produtores eram Rio Grande do Sul, 23,5%; São Paulo, 23%; Paraná, 12% e Minas Gerais, 10% (CORREA; ROSA, 2007).

<sup>4</sup> BRASIL. Ministério do Trabalho e Emprego. Relação Anual de Informações Sociais – RAIS/MTE. 1997.

<sup>5</sup>AICSUL-CNPC. Associação das Indústrias de Curtume do Rio Grande do Sul - Conselho Nacional da Pecuária de Corte. 2006.



**Figura 2** Distribuição regional da produção de couro bovino no Brasil em 2006 (Fonte: AICSUL; CNPC apud CORREA; ROSA, 2007).

Os curtumes do Estado do Pará iniciaram suas atividades de produção de couro “wet-blue” na década atual, mais precisamente nos anos de 2002 a 2003, coincidindo com a promulgação da Lei de Incentivos Fiscais para o setor (ALCÂNTARA, 2005).

Atualmente, o produto comercializado na Região Metropolitana de Belém constitui de couro “wet-blue”, o qual é exportado para outros estados, principalmente, Rio Grande do Sul e São Paulo. Em relação ao mercado externo, os principais compradores são a Itália, China e Portugal (ALCÂNTARA, 2005).

Os pólos produtivos do Estado do Pará, até 2005, segundo dados da SEICOM<sup>6</sup> citada por Alcântara (2005), eram compostos por 11 curtumes (Tabela 1), inseridos na Lei de Benefícios Fiscais, dos quais, cinco estão localizados na Região Metropolitana, sendo quatro no Distrito Industrial de Icoaraci (DII) e um em Belém. Todos recebem matéria prima da própria região, principalmente, proveniente do nordeste do Estado.

<sup>6</sup>SEICOM - Secretaria Executiva de Indústria, Comércio e Mineração do Estado do Pará. Relação de curtumes aprovados pela Lei de Benefícios Fiscais. fev. 2005.

**Tabela 1** Relação de curtumes do Estado do Pará aprovados pela Lei de Benefícios Fiscais.

Nº	Nome	Localização
1	Betin Ltda.	Redenção
2	Betin Ltda.	Castanhal
3	Betin Ltda.	Xinguara
4	Betin Ltda.	Conceição do Araguaia
5	Fênix Curtidora	Distrito de Icoaraci
6	M.J. Novaes – C. Ideal	Distrito de Icoaraci
7	Couro do Norte	Distrito de Icoaraci
8	Export. Bom Retiro	Distrito de Icoaraci
9	Curtama Ind. Com. Ltda.	Belém
10	Durlicouros	Xinguara
11	Xinguara Com. de Couro	Xinguara

Fonte: SEICOM (2005, apud ALCÂNTARA, 2005).

A quantidade de couros comercializados no Pará, no estágio de “Wet-blue”, em 2005, pode ser estimada acima de dois milhões de unidades/ano (Tabela 2).

**Tabela 2** Produção anual de couro no Estado do Pará.

Nº	Curtume	Produção Anual	
		Wet-blue	Calçados de Segurança
1	Betin Ltda.	270.000	
2	Betin Ltda.		675.000
3	Betin Ltda.	540.000	
4	Betin Ltda.	210.048	
5	Fênix Curtidora	300.000	
6	M.J. Novaes – C. Ideal	300.000	
7	Couro do Norte	552.420	
8	Export. Bom Retiro	150.000	
9	Curtama Ind.Com.Ltda.	120.000	
10	Durlicouros	259.200	
11	Xinguara Com. de Couro	132.000	
	<b>Total</b>	<b>2.833.668</b>	<b>675.000</b>

Fonte: SEICOM (2005, apud ALCÂNTARA, 2005).

## 2.20 PROCESSO DE CURTIMENTO DE PELES

Conhecer o processo industrial de curtimento de peles é de fundamental importância, pois a possibilidade de uso de um determinado resíduo na agricultura como forma de descarte depende das características do material, do potencial como corretivo da acidez e/ou fertilizante e dos efeitos sobre o ambiente. Essas características variam muito, em função da tecnologia empregada no processamento industrial e do sistema de tratamento de efluentes adotado pela indústria, onde o resíduo foi gerado (MARTINES, 2005, LIMA, 2009).

A transformação das peles em couros implica na passagem das mesmas em uma série de processos mecânicos e químicos. Em função disso, tais processos são englobados, basicamente, em três operações fundamentais, conhecidas, por ribeira, curtimento e acabamento (ARCHETI; SALVADOR, 1998; CULTRI; ALVES, 2008).

### 2.2.1 Ribeira

A operação de ribeira consiste na preparação das peles para o curtimento, quando são removidas todas as estruturas e substâncias indesejáveis (sangue, restos de carnes, gorduras, esterco, etc...) da pele que não irão constituir o produto final que é o couro (HOINACKI; MOREIRA; KIEFER, 1994)<sup>7</sup>, citados por Brito (1999) e Ruppental (2001), sendo agrupadas as seguintes etapas: **Lavagem ou Pré-remolho, Remolho, Descarne, Depilação-Caleiro, Descalagem, Purga e Píquel.**

A seguir, apresenta-se, sinteticamente, a funcionalidade de cada uma dessas etapas e respectivos processos.

**Lavagem:** Também conhecida como **Pré-remolho**, é efetuada com a finalidade de retirada do sal e reposição de umidade às peles, bem como para eliminação de impurezas aderidas aos pelos. Nesta etapa, utiliza-se, aproximadamente, 200% de água em relação à massa das peles (SANTOS, 2001).

**Remolho:** visa retirar os conservantes utilizados para o transporte e eventuais restos de sangue coagulado ou outras impurezas, assim como para ser hidratada (SANTOS, 2001). É realizada em cilindros rotativos chamados "fulões"

---

<sup>7</sup>HOINACKI, E.; MOREIRA, M.V.; KIEFER, C.G. Manual básico de processamento do couro. Porto Alegre, RS: SENAI - RS, PADCT/CNPq, 1994.p.383-384.

(Figura 3), onde as peles são submetidas a uma imersão e movimentação em água e produtos químicos.



**Figura 3** Aspecto estrutural do “Fulão” (Fonte: Bayer, 2005).

O remolho tem o mesmo objetivo que a lavagem: realizar a reidratação e reduzir o teor de cloreto de sódio (NaCl) da pele em uma quantidade adequada. Porém, é efetuado em peles verdes (frescas), após descarte (PERON, 2008).

**Descarne:** Consiste na eliminação de tecido adiposo e de remanescentes de carne (ALCÂNTARA, 2005).

**Depilação-Caleiro:** Tem como principal função remover os pêlos e o sistema epidérmico como preparação às etapas posteriores. A quantidade de água utilizada nessa etapa varia de 200 a 300% em relação à massa de peles (PERON, 2008). Vários são os processos de depilação-caleiro utilizados. O mais comum é o sistema cal-sulfeto, onde é utilizado cerca de 2 a 4% de hidróxido de cálcio e 2 a 5% de sulfeto de sódio (ANDERSON, 1993; TOSCAN, 1993; ANANIAS; PACCA, 2009).

**Desencalagem ou descalcinação:** É o processo que visa eliminar, do interior das peles, o hidróxido de cálcio e produtos alcalinos remanescentes da etapa de depilação-caleiro, através da adição de ácidos fracos (0,5% a 0,8%), sais amoniacais (2% a 3%) e bissulfito de sódio (1% a 2%), utilizando-se 30% de água (ADZET, 1985; PERON, 2008).

**Purga:** É um processo enzimático que consiste em tratar as peles com enzimas proteolíticas, visando a limpeza da estrutura fibrosa destruindo materiais

queratinosos degradados, gorduras, bulbos pilosos e outros (ADZET,1985; PERON, 2008).

**Píquel:** Processo que visa preparar as fibras colágenas da pele para a penetração dos agentes curtentes, usando uma solução de ácido e sal antes do curtimento ao cromo. O sal é usado para evitar o intumescimento ácido causado pela adição de ácidos orgânicos e inorgânicos. O banho de píquel contém cloreto de sódio (6% a 10%), ácido sulfúrico (1,0% a 1,5%) e, alternadamente, ácido fórmico (1%), bem , 60% a 100% de água, em relação à massa de peles (CUTTING, 1992). O banho de píquel não é descartado, sendo reutilizado na etapa de curtimento (PERON, 2008).

### 2.2.2 Curtimento

O couro constitui a pele do animal preservada da putrefação por processos denominados de curtimento, e que a tornam flexível e macia. No curtimento é mantida a natureza fibrosa da pele, porém, as fibras são previamente separadas pela remoção do tecido interfibrilar e pela ação de produtos químicos (PRIEBE, 2005).

Na operação de curtimento, a pele limpa e isenta de todos os materiais que não interessam ao produto final, é submetida à reação de diferentes substâncias químicas denominadas agentes curtentes (COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL-CETESB, 1989; RUPPENTAL, 2001). Estas substâncias podem ser de origem orgânica (taninos vegetais, sintéticos, aldeídos, e parafinas sulfocloradas) ou inorgânica (sais de cromo, zircônio, alumínio e ferro). Dentre os inorgânicos, os sais de cromo trivalente (III) são os mais utilizados, sendo o sulfato básico de cromo  $[(Cr_2(OH)_2(SO)_4)_2]$  a forma mais comumente empregada (BARROS et al., 2004; MARTINES, 2005).

A desvantagem de utilização de curtimento com produtos orgânicos está na grande quantidade de curtentes que se necessita, tal como é o caso do curtimento vegetal, onde se emprega de 15 a 30% de extrato à base de taninos vegetais. A vantagem é devido à ausência de substâncias químicas. Outro fator a ser considerado é que os resíduos resultantes de sua produção são biodegradáveis, facilitando sobremaneira o tratamento dos efluentes gerados, ou seja, os lodos das

estações de tratamentos de efluentes de curtumes, que trabalham apenas com taninos, são compostos basicamente de matéria orgânica, podendo mais facilmente ser manipulados para uso agrícola (PALERMO, 2001; CULTRI; ALVES, 2008).

No curtimento ao cromo, as peles são mantidas em contato com uma solução de íons  $\text{Cr}^{+3}$  que se ligam ao colágeno. Isto faz com que o couro fique resistente à ação de bactérias e a altas temperaturas (até  $300^{\circ}\text{C}$ ). O curtimento é realizado em banhos (Figura 3), com uma concentração que varia de 1,5 a 5% de óxido crômico ( $\text{Cr}_2\text{O}_3$ ), segundo CETESB (1989). Geralmente, é utilizado de 2 a 3% de  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  em relação às massas das peles (YENDO, 2003).

A principal vantagem desse curtimento reside na abreviação do tempo de curtimento e quantidade de banhos (BRAILE; CAVALCANTE, 1993). Atualmente, é o mais utilizado (SANTOS, 2001).

### 2.2.3 Acabamento:

O acabamento serve para conferir a aparência e atributos finais do couro, tais como cor, toque, entre outros (RUPPENTAL, 2001).

## 2.3 O LODO DE CALEIRO

Os resíduos sólidos de curtumes constituem uma das dificuldades de gerenciamento na indústria, pois têm sido problemático para remoção da área industrial e para se encontrar local para sua disposição final (GERMANN, 1985).

Com relação ao lodo, cada pele processada, gera um lodo residual com características variadas, devido ao tipo de pele, a tecnologia no processamento e o sistema de ETE adotado pela indústria (BORGES, 2003; MARTINES, 2005).

A necessidade da indústria se adequar às novas exigências ambientais, aliada ao avanço tecnológico (separação e reciclagem de efluentes), pode-se, atualmente, encontrar curtumes que produzem vários tipos de lodo (MARTINES, 2005). Para este autor, a principal diferença entre os curtumes que reciclam e separam seus efluentes, dos que não utilizam esta tecnologia, está na composição

do lodo primário da ETE. Em curtumes que separam os efluentes de curtimento o teor de cromo é reduzido significativamente.

Segundo Lima (2009), durante a industrialização do couro gera-se lodo em dois momentos: primeiramente, no processo de desencalagem e preparação da pele conhecido como **lodo do caleiro** e, num segundo momento, o **lodo do curtimento**, segregado na ETE.

**Lodos do caleiro:** São descartes com alta carga orgânica, nos quais encontram-se compostos de gorduras, proteínas, produtos de degradação, de agentes químicos como sulfeto e cal, que podem ter como destino final o solo, visando à fertilização de culturas agrícolas (LIMA, 2009).

**Lodos do curtimento:** São classificados como resíduos perigosos, pois se trata de descarte rico em cromo, sendo os que apresentam maiores problemas de disposição final (CLASS; MAIA, 1994; LIMA, 2009).

O método de curtimento de peles mais empregado mundialmente é o que utiliza sais de cromo, acarretando a geração de resíduos com a presença deste metal pesado (GUTTERRES, 1996). Estima-se, que cerca de 60% do cromo utilizado no processo de curtimento é perdido junto com o resíduo sólido gerado (VIEIRA, 2004).

Apesar de várias soluções tecnológicas terem sido propostas para a reutilização desses materiais, até o momento não existem soluções em larga escala para o problema. A solução mais utilizada, universalmente, é o aterro industrial. Entre as soluções alternativas, a mais conhecida é a utilização desses resíduos na agricultura como fertilizante (FERREIRA et al., 2003). Também são utilizados (em menor escala) na produção de tijolos ou como substrato de fundações de obras civis prediais ou de estradas de rodagem (WERTHER; OGADA, 1999). Experimentos de gaseificação<sup>8</sup> de resíduos de curtume também foram conduzidos com bons resultados, e, dentre os materiais que podem ser utilizados, estão o pó da rebaixadeira, lodos da ETE, material curtido e pêlos, entre outros (BOWDEN, 2003; GODINHO, 2006).

---

<sup>8</sup> É um processo de conversão térmica para produzir um gás combustível (produção de energia) ou um gás de síntese (produção de amônia e metanol, entre outros produtos) para posterior utilização (BELGIORNO et al., 2003; GODINHO, 2006).

## 2.4 EFEITO DO LODO DE CURTUME NO SOLO

Os resíduos produzidos pela indústria de curtume apresentam elevado teor de matéria orgânica, de sulfeto e de cromo. O uso agrícola de lodos de curtume pode contribuir para a melhoria da fertilidade dos solos e nutrição das plantas (KONRAD; CASTILHOS, 2002; FERREIRA et al., 2003), além de representar uma forma de descarte do resíduo no ambiente (RODELLA; ALCARDE, 2001; MARTINES; ANDRADE; CARDOSO, 2006). No entanto, quando isso é feito de forma pouco criteriosa, e utilizado de forma inadequada, pode resultar em elevados valores de pH (SELBACH et al., 1991) e excesso de sais solúveis (KONRAD; CASTILHOS, 2002) o que pode comprometer a sustentabilidade agrícola e o uso futuro dessas áreas. De acordo com Rodrigues et al. (1993), os critérios técnicos para disposição no solo de resíduos de curtumes, asseguram a proteção do meio ambiente e conferem subsídio para monitorar a área de descarte, com os objetivos de preservar a qualidade do solo, das águas e das culturas utilizadas. Para Wadt (2005), o solo constitui o melhor e mais seguro meio para a deposição de poluentes, em relação à hidrosfera ou à atmosfera devido a capacidade de melhor oxidação (o estado oxidável é geralmente a forma química menos tóxica) propiciar a precipitação dos poluentes e removê-los da cadeia alimentar, de modo mais seguro que o ar ou a água, considerando-se que a diversidade da macro, meso e microbiota existente no solo é capaz de decompor os resíduos, contribuindo, assim, para minimizar os prejuízos ao ambiente.

Quanto a esse último aspecto, Costa et al. (2001) destacam que o uso do lodo de curtume em áreas agrícolas, condicionando as propriedades do solo e servindo de fonte de nutrientes essenciais para as plantas, deve ter critérios definidos de aplicação, evitando prejuízos ao meio ambiente. Tal prática, quando utilizada de forma inadequada, pode conduzir ao acúmulo no solo de altas concentrações de alguns elementos, tais como: nitrogênio, sódio, cromo e outros sais solúveis, geralmente contidos nos lodos de curtume, além de elevados valores de pH (FIGLIOLIA et al., 1992; SELBACH et al., 1991; AQUINO NETO; CAMARGO, 2000; KONRAD; CASTILHOS, 2002;), o que pode comprometer no futuro a exploração dos recursos naturais dessas áreas, em bases sustentadas (MARTINES; ANDRADE; CARDOSO, 2006).

Contudo, em razão da grande diversidade de solos, os efeitos de suas aplicações são variáveis, necessitando, portanto, de estudos cada vez mais detalhados, sobre diversos aspectos, como: seu comportamento sob condições edafoclimáticas distintas e sua aplicação isolada ou associada com outros materiais, para que se evite a contaminação da biota e das águas superficiais e subterrâneas, bem como não acarrete prejuízos à qualidade do ambiente como um todo.

De La Peña (1996), descreveu os efeitos das altas concentrações de sais no solo e na planta, que provocam alteração do estado de agregação das partículas, alterando a aeração, retenção de umidade, aumentando o potencial osmótico do solo. Carvalho (1993) sugeriu o landfarming como forma de dispor os resíduos diretamente em cima do solo, e deixar que os mesmos sejam tratados pela ação dos microrganismos. Entretanto, a utilização de landfarming não é viável para disposição dos resíduos sólidos cromados, devido seu elevado teor de cromo (GUTTERRES, 1996). Com relação aos parâmetros de descartes dos resíduos deve-se levar em consideração: o pH do solo (não deve ser superior a 6,5) e o teor máximo de cromo, que não deve ser superior a  $3 \text{ g kg}^{-1}$  (RODRIGUES et. al. 1993). Os limites de aplicação de metais pesados como arsênico, cádmio, cromo, cobre, chumbo e mercúrio recomendados por Luca, Ide e Deus (1993) são mostrados na Tabela 3.

**Tabela 3** Limite de aplicação de metais pesados no solo

Parâmetros	TAXAS DE APLICAÇÃO			
	Limites máximos admitidos <sup>1</sup> ( $\text{g kg}^{-1}$ )	Carga poluente acumulada ( $\text{kg ha}^{-1}$ )	Limite de concentração <sup>2</sup> ( $\text{g kg}^{-1}$ )	Carga anual de poluentes ( $\text{kg ha}^{-1} \cdot \text{ano}$ )
Ar	0,075	41	0,041	2,0
Cd	0,085	39	0,039	1,9
Cr	3,0	3.000	1,2	150
Cu	4,3	1.500	1,5	75
Hg	0,057	17	0,017	0,85
Pb	0,84	300	0,3	15

<sup>1</sup>Valores Absolutos; <sup>2</sup> Médias Mensais (Fonte: Adaptado de LUCA; IDE; DEUS, 1993).

No caso de detecção de metais da Tabela 3, acrescido do teor natural do solo, na profundidade de 50 a 80 cm, deve-se ainda efetuar o monitoramento do solo, na profundidade de 80 a 100 cm e 100 e 120 cm, em áreas onde o lençol freático esteja no limite de pelo menos 1,5 m da superfície do solo (RODRIGUES et. al., 1993). Gaughhofer (1985), não observou efeito prejudicial decorrente da aplicação

de lodo ao solo em concentrações de até  $200 \text{ mg.kg}^{-1}$  de  $\text{Cr}^{3+}$ . Com doses de  $500 \text{ mg.kg}^{-1}$  de  $\text{Cr}^{3+}$  a atividade respiratória decresceu em apenas 15%.

Selbach et al. (1991) aplicaram lodo de curtume no solo e avaliaram o seu efeito como fertilizante, corretivo da acidez, aporte de nutrientes ao solo, aporte de metais pesados, água percolada e efeitos sobre a população microbiana, às culturas de rabanete e sorgo. O lodo utilizado teve potencial como corretivo da acidez dos solos, devido à sua capacidade de neutralização. Foi necessária a suplementação de N, P e K em cobertura para obtenção de bons rendimentos nas culturas, e os demais elementos (Ca, Mg, S e micronutrientes) tiveram níveis satisfatórios.

Figliolia et al (1992), constataram o aumento no teor de cromo das folhas de alface cultivadas em solo que receberam lodo de curtume e observaram que plantas cultivadas em solo de textura arenosa apresentaram uma concentração de cromo 2,5 vezes superior à do solo de textura média. Jahnel (1997) observou aumento no teor de carbono na biomassa do solo após aplicação de lodo de curtume. Castilhos; Tedesco; Vidor (1999) aplicaram  $60 \text{ Mg ha}^{-1}$  de lodo de curtume em um Argissolo Vermelho Amarelo em que o pH aumentou de 5,0 para valores que variaram entre 7,8 e 7,9 após 42 dias. Ao avaliarem as alterações químicas de um Planossolo após aplicação de lodo de curtume com doses de  $20,5 \text{ Mg ha}^{-1}$  (massa seca), Konrad e Castilhos (2002) verificaram elevação do pH de 4,5 para 5,5. No entanto, Ferreira et al. (2003) constataram que com a aplicação de  $21,25 \text{ Mg ha}^{-1}$  (massa seca) de lodo elevou o pH de 4,6 para 6,0 equivalente ao mesmo efeito de  $3,4 \text{ Mg ha}^{-1}$  de calcário com poder relativo de neutralização total (PRNT) 100%. Costa et al. (2001), também, verificaram a eficiência do lodo de curtume na elevação do pH do solo.

Aquino Neto e Camargo (2000) trabalharam com lodos de curtume em alface cultivados em vasos. Os resíduos utilizados foram lodo do efluente de caleiro e um lodo do decantador primário. A aplicação dos lodos aumentou a condutividade elétrica (CE) do extrato de saturação de 1,40 para  $5,07 \text{ dS.m}^{-1}$  e a razão de adsorção de sódio (RAS) de 3,05 para 14,12, afetou o desenvolvimento e causou a morte das plantas nas doses mais altas.

O pH do solo afeta significativamente a disponibilidade de nutrientes no solo e a capacidade de troca de cátions, que aumenta em pH alto (TROEH; THOMPSON, 2007). O lodo do caleiro, por ter pH alcalino, ao ser aplicado ao solo promove aumento do pH, diminuição da acidez potencial e do alumínio trocável. A elevação do pH do solo é consequência da formação de íon amônio devido à oxidação do

nitrogênio orgânico, presente em grande quantidade no lodo de curtume, bem como no lodo de esgoto (MELO; MARQUES, 2000).

O lodo do caleado, originado nas estações de tratamento de efluentes domésticos possui muitas similaridades com o lodo de curtume, e alguns pesquisadores demonstraram que doses desse material melhoram as condições químicas e físicas do solo, promovendo aumento de pH, CTC, saturação por bases, e dos teores de  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{Mg}^{2+}$  (BARBOSA; TAVARES FILHO; FONSECA, 2002).

Konrad e Castilhos (2002) conduziram experimento com o objetivo de avaliar as alterações químicas e o crescimento de plantas de milho em um Planossolo Hidromórfico, após a aplicação de resíduos de curtume. Foi observado aumento do valor da RAS de 1,0 para 9,4, considerado alto para o adequado crescimento das plantas, quando foi aplicada a maior dose de lodo de curtume ( $20,50 \text{ t ha}^{-1}$ ). Os autores concluíram que a aplicação desse resíduo, na dose usada, elevou o pH e os teores de N e Ca do solo, proporcionando rendimentos de matéria seca de grãos e de colmos e folhas do milho de  $167 \text{ g/vaso}$ , equivalentes aos obtidos com calagem e adubação mineral ( $166 \text{ g/vaso}$ ).

Castilhos, Tedesco e Vidor(2002) avaliaram o rendimento das culturas do trigo, da alface e do rabanete e as alterações químicas de um Latossolo resultantes da adição de resíduos de curtume e de cromo hexavalente, em casa de vegetação. Após 210 dias da aplicação, constataram, de modo geral, um decréscimo no valor de pH ocasionado pela extração de nutrientes pelas plantas. A aplicação de lodo aumentou o pH a valores estatisticamente maiores aos da testemunha (de 5,2 para 5,8). Os autores concluíram que os aumentos nos teores de Na (de 21 para  $48 \text{ mg dm}^{-3}$ ), com a adição de lodo, não alteraram a CE das amostras. A aplicação de lodo elevou os teores de N, de 1,26 para  $1,51 \text{ g kg}^{-1}$ , e os teores de Ca, de 4,1 para  $5,5 \text{ mmol}_c\text{dm}^{-3}$ , proporcionando, respectivamente, para as culturas de trigo, alface e rabanete, rendimentos de 118,7; 12,6 e  $7,7 \text{ g/vaso}$ , equivalentes aos valores de 102,5; 14,3 e  $7,2 \text{ g/vaso}$ , obtidos com calagem e adubação.

Ferreira et al. (2003) observaram aumento no valor do pH de um Argissolo Vermelho distrófico típico que recebeu lodo de curtume, da mesma forma que este lodo propiciou rendimento de soja e milho semelhantes aos obtidos com adição de fertilizantes nitrogenados. Estes autores relataram que os tratamentos com adição de lodo de curtume tiveram os maiores aumentos de pH do solo, situando-se entre 6,0 e 6,3. A maior concentração de  $\text{Ca}^{2+}$  trocável no solo foi obtida nos tratamentos

com adição desse resíduo, considerando o elevado teor desse elemento no lodo, nas formas de hidróxido, sulfeto e carbonato.

Aumentos do pH em função da aplicação de lodo de curtume em Neossolo Flúvico foram observados por Teixeira et al. (2006). Observaram também, avaliando a fertilidade do solo, que houve diminuição no teor de P disponível com a adição  $46,5 \text{ Mg ha}^{-1}$  do lodo no solo, e concluíram que, provavelmente, a adição da dose mais elevada contribuiu para a precipitação do P pelo aumento do pH do solo. De acordo com Malavolta (1967), em condições de pH elevado ocorre a precipitação do P em formas insolúveis de fosfato de cálcio e hidroxiapatita -  $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3\text{OH}$ . Teixeira et al. (2006) concluíram, ainda, que a adição de lodo de curtume aumentou de 1,80 a 3,35 vezes, os teores de matéria orgânica do solo (MOS) comparado ao conteúdo de MOS antes da instalação do experimento.

Todavia, Costa et al. (2001), constataram que a aplicação de lodo de curtume em um Planossolo Hidromórfico Eutrófico Solódico apresentou baixa eficiência na correção de acidez do mesmo, tendo, inclusive, aumentado sua salinidade e sua concentração de sódio. Dados controversos a este respeito são comuns na literatura devido a diversidade das características químicas, tanto dos solos como dos lodos que estão sendo avaliados.

Borges (2003), estudando os efeitos do lodo de curtume e de seus componentes fertilizantes no desenvolvimento, na produção de fitomassa verde, de fitomassa seca e de grãos em plantas de milho cultivadas em um Latossolo Vermelho-Amarelo, verificou que a associação lodo de curtume ( $144.000 \text{ L ha}^{-1}$ ) e adubação química ( $400 \text{ kg ha}^{-1}$  de NPK 4- 30-16 + Zn), proporcionou resultados favoráveis para a produção da cultura do milho, em todas as variáveis analisadas, sugerindo que esta forma de uso do lodo de curtume é viável, podendo substituir, em parte, o adubo químico.

A Embrapa Acre realizou na safra 2004/2005 vários ensaios em áreas de plantio comercial de grãos, visando avaliar o potencial agrônomo de lodo de curtume na recuperação de áreas degradadas. A pesquisa visava definir critérios para a disposição do efluente líquido gerado no curtume, de forma que não cause problemas ambientais, mas proporcione benefícios para o local onde é feita a disposição do resíduo (WADT, 2005). O autor afirma que os resultados disponíveis ainda não permitem a definição da quantidade de lodo que se deve aplicar em cada tipo de solo. Além disto, a aplicação excessiva pode trazer resultados negativos,

como a salinização dos solos. Por isso, mais estudos estão sendo realizados para definir estas quantidades e determinar a melhor relação custo-benefício.

Silva et al., (2005) estudando o uso do lodo de curtume como adubo orgânico, na plantação da cultura de milho, observaram após 15 e 30 dias de plantio, que as plantas tratadas com esterco bovino apresentaram maior crescimento em relação às tratadas com lodo de curtume, as quais apresentaram hipermetrofia gradativa conforme o aumento de percentual de lodo adicionado aos tratamentos. Este fato foi atribuído à elevação do teor de cromo, neste tratamento, como também ao aumento dos teores de Na. Entretanto, a ausência de nitrogênio foi registrada apenas nas plantas do tratamento testemunha, apresentando folhas amareladas.

Alvarez-Bernal et al. (2006), durante 25 anos, irrigaram solos agrícolas com resíduo de curtumes contendo Cr. Embora, aparentemente, não tenham ocorrido impactos desfavoráveis nas características de solo e na biomassa microbiana, houve inibição da oxidação de  $\text{NO}^{2-}$ , o que indica que o funcionamento biológico do solo poderia ter sido afetado.

Ernani, Almeida e Santos (2007) verificaram que os teores de  $\text{Al}^{3+}$  e  $\text{Mn}^{2+}$  trocáveis no solo diminuíram com a aplicação de calcário e lodo de curtume em relação à testemunha, pelo aumento do pH do solo e possível complexação com radicais orgânicos do resíduo. A diminuição nos teores de  $\text{Al}^{3+}$  e  $\text{Mn}^{2+}$  trocáveis foi, também, observada em estudos em casa de vegetação com lodo de curtume por Teixeira (1981) e Selbach et al. (1991).

Vale ainda ressaltar que o lodo de curtume pode apresentar elevadas concentrações de Cr trivalente ( $\text{Cr}^{3+}$ ). É sabido que o acúmulo de metais pesados no solo pode interferir na atividade microbiana e, conseqüentemente, na mineralização do N. No entanto, os resultados encontrados são diversos, e até contraditórios (ALCÂNTARA et al., 2007).

Borges (2003) citando Kabata-Pendias e Pendias (1984)<sup>9</sup>, relata que o comportamento do cromo no solo é condicionado pelo pH, teores de matéria orgânica, fosfatos de ferro, manganês e alumínio. O cromo trivalente apresenta seus efeitos tóxicos para as plantas em meios muito ácidos, pois sua disponibilidade é reduzida em pH superior a 5,0 (MACGRATH; SMITH, 1990).

---

<sup>9</sup> KABATA-PENDIAS, A.; PENDIAS, H. . Trace elements in soils and plants. Boca Raton: CRC Press, 315p. 1984.

Para Mertz (1969), o cromo encontrado no lodo de curtume apresenta-se na forma trivalente ( $\text{Cr}^{3+}$ ), considerada essencial para a nutrição humana, sendo de pouca mobilidade no solo. No entanto, este elemento possui uma complexa dinâmica no solo e, em determinadas condições, pode oxidar-se à forma hexavalente, de alta solubilidade e mobilidade no solo, ocasionando toxicidade para plantas, animais e seres humanos (CASTILHOS, 1998).

## 2.5 EFEITO DO LODO DE CURTUME EM PLANTAS

A utilização do lodo oriundo de estações de tratamento de despejos de curtume, como fonte de matéria orgânica e nutriente no solo, pode ser recomendada pelo valor corretivo e fertilizante que este apresenta, bem como pela capacidade da macro e microbiota do solo de decompor os materiais orgânicos (FERREIRA et al, 2003).

De acordo com Souza et al. (2005), no lodo são encontrados nitrogênio, fósforo, cálcio, magnésio e enxofre, que são nutrientes para as plantas. O N orgânico contido nesses lodos não é prontamente disponibilizado para as plantas. Devido à natureza protéica dos constituintes do lodo, elementos como nitrogênio, fósforo e enxofre devem ser mineralizados para tornarem-se disponíveis para as plantas. Rangel et al (2006) relatam que de 3 a 72% do N orgânico contido nesse resíduo industrial, estão sujeitos à mineralização, que por sua vez, depende do tipo de lodo, da dose aplicada, das características do solo e do procedimento experimental.

Ferreira et al. (2003) verificaram que os rendimentos de grãos das culturas de soja e de milho nos tratamentos com a adição de lodo de curtume acrescido de adubação fosfatada e potássica na forma mineral, foram semelhantes aos obtidos no tratamento com calagem e adubação mineral.

Borges (2003), avaliando seis níveis de adição do lodo de curtume em três épocas antecedentes a semeadura de milho, obteve um incremento de até 71% de nitrogênio nas folhas da planta adubada com a maior dose do lodo de curtume em relação à testemunha.

Souza et al. (2005), avaliando os teores dos metais tóxicos Cr, Cd, Ni e Pb, nos tecidos foliares e a produção do milho, verificaram que com relação à fitomassa

verde da parte aérea das plantas de milho, indicativo do efeito nutricional proporcionado pela adição de adubo químico e de diferentes doses de lodo de curtume no substrato de cultivo, os seus valores foram crescentes com o aumento das doses do lodo.

Borges et al. (2007), trabalhando com lodo de curtume e adubação química na cultura do milho, observaram que os tratamentos onde foi aplicado somente o lodo de curtume, a produção de fitomassa verde das plantas tendeu a ser crescente com as doses do lodo. A adubação química associada ao lodo de curtume proporcionou a maior produção de fitomassa verde de plantas de milho.

As dosagens de 30, 60 t ha<sup>-1</sup> de lodo de curtume determinaram um aumento na concentração de Cr<sup>3+</sup> no tecido do rabanete, ultrapassando o valor médio de 1.000 mg L<sup>-1</sup> permitido pela legislação brasileira para alimentos e bebidas e, também, determinaram concentrações acima de valores normais de ocorrência deste elemento em tecidos vegetais, de 20 a 200 mg kg<sup>-1</sup>, para diferentes espécies vegetais (CAVALLET; SELBACH; GIANELLO, 2007). Os autores também observaram que no sorgo a maior concentração de cromo aconteceu apenas nas raízes, não sendo transferida para a parte aérea e nem para os grãos. Demonstraram, ainda, que nos grãos de sorgo demonstram que, além de não ocorrer transferência de cromo, houve uma diminuição deste elemento nos tratamentos com os lodos.

Daudt, Gruszynski e Kampf, (2007), utilizando resíduos do couro wet-blue, como substrato, para plantas ornamentais, constataram que as mudas mostraram boa tolerância à presença dos resíduos sólidos até fração de 50% de mistura com casca de arroz carbonizada e vermiculita superfina. Aumentando a proporção do resíduo, as plantas apresentaram tombamento, um menor comprimento do sistema de raízes e menor estabilidade do torrão, que se desagregava ao ser retirada a muda para transplante.

## 2.6 A FITORREMEDIAÇÃO

Em várias regiões do mundo, a poluição do solo com metais pesados<sup>10</sup> devido

---

<sup>10</sup>Elementos metálicos, de densidade maior que 5g cm<sup>-3</sup>, que possuem a capacidade de exercer efeitos tóxicos em células microbianas e em outras formas de vida (TAN, 2000).

à intensificação das atividades industriais, agrícolas e urbanização é um problema crescente e responsável por sérios impactos ao ambiente. A poluição do solo com esses agentes decorre, principalmente, da mineração, indústria metalúrgica, disposição de resíduos tóxicos e práticas agrícolas, como aplicação de lodos e fertilizantes inorgânicos (MENDES et al., 2006).

Solos contaminados por metais pesados exigem ação remediadora, que reduzam esses poluentes a teores ambientalmente seguros (FREITAS et al., 2009). A remediação de áreas contaminadas é alcançada por inúmeras tecnologias que envolvem processos químicos, físicos e biológicos. Dentre estas tecnologias, destaca-se a fitorremediação (ACCIOLY; SIQUEIRA, 2000).

Embora com algumas variações conceituais, a fitorremediação pode ser definida como uma técnica que utiliza plantas para retirar contaminantes do meio ambiente (ANDRADE, 2005; PIRES et al., 2005), e quando comparada aos métodos tradicionais de remediação química e física, vem despontando como técnica de baixo custo e de grande eficiência de descontaminação (GRATÃO et al., 2005; PILON-SMITS, 2005). Mais recentemente, uma atenção maior tem sido dada ao desenvolvimento da fitorremediação para recuperar solos contaminados (SHEN et al., 2002).

Existem espécies que são consideradas “plantas hiperacumuladoras”. Estas têm a capacidade de acumular quantidades relativamente altas de certos metais pesados, em níveis até cem vezes maiores que outras espécies, crescendo sob as mesmas condições, sem que tais absorções lhes sejam prejudiciais (GRATÃO et al., 2005; LASAT, 2002; SHEN et al., 2002).

Os estudos relativos a esses tipos de plantas ainda são escassos. Até o momento, não foi registrada a recuperação completa de nenhum sítio por meio deste processo. Além disso, o conhecimento sobre o potencial de muitas espécies de plantas é limitado e exige integração interdisciplinar para o aproveitamento real dessa nova tecnologia (ANDRADE, 2005).

Um trabalho realizado na Unicamp evidenciou o potencial das espécies *Pennisetum purpureum* (capim-elefante), *Brachiaria decumbens* e *Pennisetum graucum* (milheto forrageiro), cultivadas em sistema de tanques para o tratamento de efluentes industriais de curtumes (COSTA, 2004). A concentração de cromo nas raízes de *B. decumbens* foi significativamente maior que a encontrada nas raízes do

*P. purpureum*, no entanto, *P. purpureum*, removeu significativamente mais cromo em virtude da sua grande massa radicular (COSTA, 2004).

Com relação à espécie *Euterpe oleracea* Mart. não foi encontrado nenhum trabalho relacionado a esse tipo de estudo. O conhecimento do potencial remediador à poluição ambiental dessa palmeira é um parâmetro importante, pois é uma espécie encontrada tanto em áreas alagadas quanto em área de terra firme, portanto, sujeita à variadas atividades antrópicas.

## 2.7 O AÇAIZEIRO (*Euterpe oleracea* Mart.)

### 2.7.1 Origem, distribuição geográfica e usos

O açazeiro (*Euterpe oleracea* Mart.) é uma palmeira tipicamente tropical e de distribuição ampla. É encontrado no norte da América do Sul, Panamá, Equador e Trinidad, onde recebe diferentes denominações (ENDERSON; GALEANO, 1996).

No Brasil, ocorre desde a região amazônica até a Bahia (CORRÊA<sup>11</sup> 1926, apud GANTUSS, 2006; CALZAVARA, 1972), com maior concentração da espécie na Amazônia Oriental, onde as maiores densidades naturais desta espécie estão na região do estuário do rio Amazonas (CALZAVARA, 1972; CAVALCANTE, 1991).

Atinge maior abundância e importância econômica no Estado do Pará. Guiana Francesa, Suriname, Venezuela e Colômbia são outros países onde há relatos de sua ocorrência (CALZAVARA, 1972; CAVALCANTE, 1991; ENDERSON; GALEANO, 1996; GAMA; BOTELHO; BENTES-GAMA, 2002). Entretanto, seus centros de origem e diversidade ainda não foram estabelecidos, havendo apenas suposições de que ocorrem no estuário amazônico (OLIVEIRA; CARVALHO; NASCIMENTO, 2000).

O açazeiro é uma espécie que apresenta multiplicidade de usos que despertam o interesse da indústria devido a gama de produtos e subprodutos gerados (CALZAVARA, 1972). É aproveitada pelos ribeirinhos em todos os seus

---

<sup>11</sup> CORRÊA, M.P. *Dicionário das plantas úteis do Brasil e das exóticas cultivadas*. Rio de Janeiro: Imprensa Nacional, v1. p.229-231, 1926.

componentes: frutos, raízes, estipe, folhas e inflorescência. Sendo também bastante utilizada como planta ornamental (JARDIM; ANDERSON, 1987).

### 2.7.2 Condições edafoclimáticas

O açaizeiro é uma planta dominante em áreas de mata do estuário amazônico, fazendo parte da vegetação de terra firme, várzea e igapó, sendo mais comum, em áreas de várzeas, onde chega a formar populações homogêneas (JARDIM, OHASHI; NOGUEIRA, 1995). Além disso, Silva e Almeida (2004), estudando a estrutura de açazais em ecossistemas inundáveis da Amazônia observaram que, apesar do número de plantas que se desenvolveram na várzea ser maior que no igapó, o maior número de estipes por touceira foi encontrado no igapó.

Em áreas de solos bem drenados, denominadas florestas de terra firme, ocorrem populações pequenas e esparsas. Porém, os diferentes padrões de adaptabilidade estrutural do açaizeiro permitem pleno desenvolvimento reprodutivo nesses ambientes. Assim, a produção de açaí em terra firme está se expandindo no Pará devido ao advento de pesquisas e a importância do fruto no mercado local (VIEGAS et al., 2004).

Logo, o açaizeiro desenvolve-se bem em uma variedade de solos, desde o de textura bastante argilosa, encontrado nas várzeas altas do estuário do rio Amazonas até aquela areno-argilosa das áreas de terra firme. De modo geral, o pH dessas áreas situa-se entre 4,5 e 6,5. O crescimento da planta é favorecido pela existência de altos teores de matéria orgânica (NOGUEIRA, 1995). No entanto, desenvolve-se mais rapidamente em solos com maior fertilidade (INSTITUTO AGRONÔMICO DE CAMPINAS-IAC, 1998). No Estado do Pará, a maioria dos plantios comerciais de açaizeiros é realizada em solos de terra firme, onde predominam os Latossolos Amarelos, de baixa fertilidade natural (VIEGAS et al., 2004).

Segundo Nogueira (1995), o açaizeiro é uma espécie tipicamente tropical, que se desenvolve bem em condições de clima quente e úmido e não suporta seca prolongada. Nas regiões onde ele é nativo, as chuvas são abundantes (2000 a 2700 mm anuais) e bem distribuídas durante o ano. A umidade relativa do ar, comumente desenvolver-se bem em regiões que apresentam temperaturas médias mensais

acima de 18°C. Temperaturas inferiores a esse limite podem causar atrasos no desenvolvimento das plantas.

### 2.7.3 Cultivar BRS-Pará

Cultivares são plantas obtidas a partir de pesquisas por meio de seleção, visando a maior produção de frutos, vigor e resistência às pragas e doenças (SHIMIZU et al., 2007).

O programa de melhoramento genético da Embrapa Amazônia Oriental, com base na seleção fenotípica na Coleção<sup>12</sup> de Germoplasma de Açaizeiro que dispõe, lançou, em 2004, o cultivar “BRS-Pará” (Figura 4). Foi o primeiro cultivar de açaizeiro do País, sendo selecionado para produção de frutos em condições de terra firme, visando, sobretudo, o aumento da oferta da fruta (OLIVEIRA; FARIAS NETO, 2004).



**Figura 4** Plantio de açaizeiro - cultivar BRS-Pará (Fonte: Farias Neto et al., 2006)

O cultivar “BRS-Pará” é originário de três ciclos de seleção massal dessa coleção. A seleção foi a partir de germoplasmas de açaizeiros (*Euterpe oleracea*

---

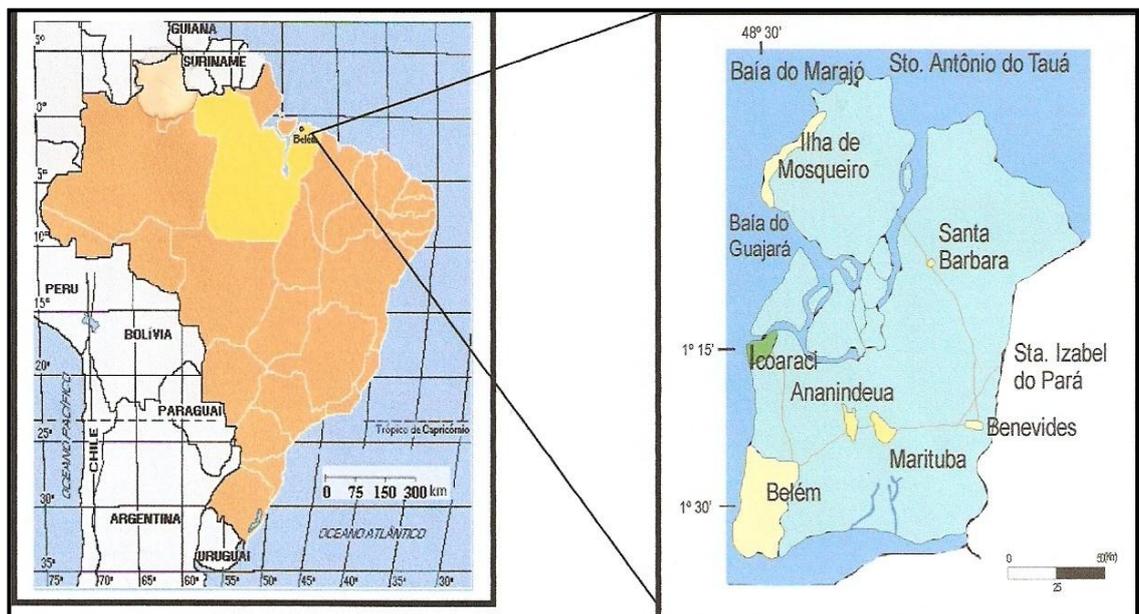
<sup>12</sup> Formada por 134 acessos de diferentes procedências, sendo grande parte deles oriundos de coletas realizadas, no período de 1984 a 1998, em áreas de distribuição natural do açaizeiro (*E. oleracea* Mart.), envolvendo populações naturais, pomares caseiros e propriedades rurais. Tais acessos encontram-se conservados na forma de plantas vivas, implantadas em área de terra firme, no Município de Belém, PA, desde 1984 (LIMA; COSTA, 1991).

Mart.) coletados em populações naturais do estuário amazônico que apresentaram boa produção de frutos e alto vigor no perfilhamento. É uma planta precoce, iniciando seu ciclo de produção de frutos com três anos após o plantio, a uma altura em torno de 1 metro (EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA- EMBRAPA, 2004; OLIVEIRA; FARIAS NETO, 2004).

### 3 MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1 DESCRIÇÃO DO CURTUME

O curtume onde foi coletado o lodo está localizado no Distrito Industrial de Icoaraci (DII), que faz parte da Região Metropolitana de Belém (RMB), Estado do Pará. O DII<sup>13</sup> situa-se às margens do furo do rio Maguari, entre as coordenadas 1°15' a 1°20' de latitude sul e 48°25' a 48°30' de longitude oeste (Figura 5).



**Figura 5** Mapa de localização do DII (Fonte: NUNES, 2005).

A empresa que cedeu o material para essa pesquisa será, aqui designada como “curtume A”. Este curtume é uma microempresa que produz couro do tipo “wet-blue”, desde 2003, anteriormente (por volta da década de 80, quando a empresa iniciou suas atividades) trabalhava apenas com o processo de salga de peles bovinas e bubalinas.

A indústria dispõe de uma ETE (Figura 6), que foi instalada a partir do momento em que a mesma passou a produzir o couro “wet-blue” (BAÍA; ALVES,

<sup>13</sup> Dista cerca de 18 km do centro de Belém por via rodoviária. Apresenta um clima quente e úmido, com precipitação média anual de 2500 a 3000 mm. Em relação à temperatura, as médias anuais mais elevadas encontram-se na faixa de 26° a 28° C. Os menores valores situam-se na faixa de 20° C. A vegetação é constituída por floresta densa e floresta secundária, em vários estágios de desenvolvimento. Nas áreas sujeitas à inundação, margeando os rios, está presente a vegeta o de várzea, com suas espécies t picas, tais como: ucu ba, andiroba, açaí e miriti (PARÁ, 2006).

2004). Realiza reciclagem do banho de cromo e efetua tratamento primário (físico-químico) dos efluentes líquidos, assim como tratamento secundário com sistema de lodo ativado<sup>14</sup> convencional.



**Figura 6.** Aspecto da Estação de Tratamento de Esgoto do curtume A (Foto: Idemê Amaral).

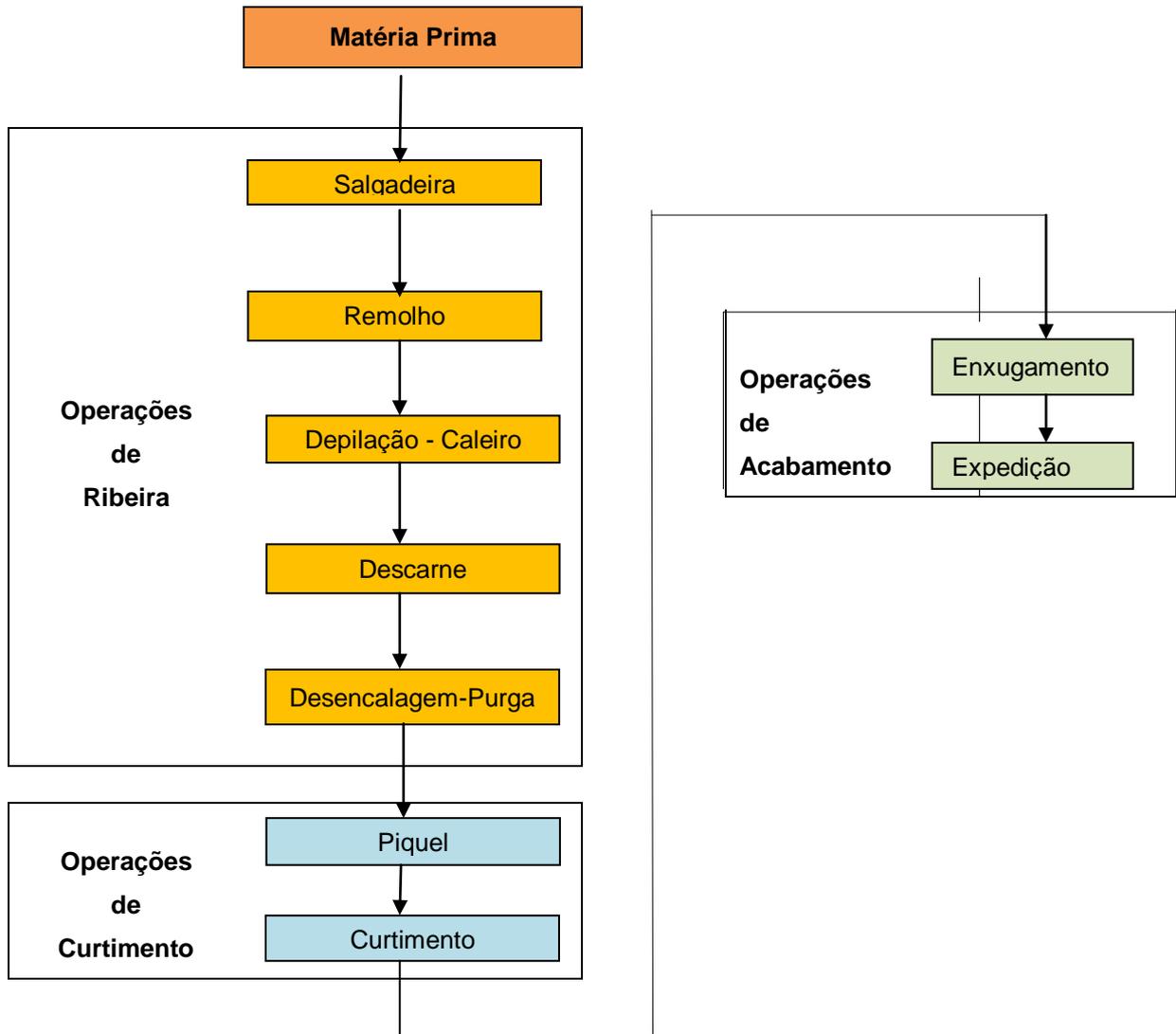
A vazão de água utilizada no processo produtivo é de  $40\text{m}^3.\text{dia}^{-1}$ , sendo que apenas  $20\text{m}^3.\text{dia}^{-1}$  vão para a estação de tratamento, devido à recirculação que a referida indústria realiza. Os efluentes líquidos tratados são lançados em um braço do rio Maguari (BAÍÁ; ALVES, 2004).

O tratamento do lodo produzido na indústria de curtume é realizado em leitos de secagem<sup>15</sup>. Os referidos leitos, construídos em alvenaria, utilizam como meio filtrante apenas areia grossa. Durante o tempo de permanência do lodo nos leitos é adicionado cal hidratada -  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ , para correção do pH, controle de odores e higienização dos lodos. Após a desidratação, o lodo é colocado à disposição de uma empresa para descarte. A indústria não dispõe de aterro próprio.

As etapas básicas do processo industrial dessa empresa de curtume são designadas na Figura 7.

<sup>14</sup>Os lodos ativados são sistemas de depuração biológica por via exclusivamente aeróbia. A carga orgânica é depurada por colônias de microrganismos heterogêneos que constituem o Floco Biológico. A massa total destes flocos é denominada lodo ativado. O sistema é constituído basicamente por um reator biológico (aerado artificialmente) e um sedimentador, onde ocorre a sedimentação dos flocos biológicos (CLAAS, 2007).

<sup>15</sup> Tanques rasos retangulares, projetados e construídos de modo a receber o lodo dos digestores. Os ciclos de secagem giram em torno de 35 dias.



**Figura 7** Fluxograma do processo de produção do couro no “curtume A” (Elaborada por Idemê Amaral).

### 3.2 CARACTERIZAÇÃO DO SOLO E DO LODO DE CURTUME

**Solo:** O solo utilizado nesta pesquisa foi coletado do horizonte C de um Neossolo Flúvico, textura média (EMBRAPA, 2006), derivado de sedimentos aluviais, sob vegetação de mata ciliar, município de Moju, Estado do Pará. A escolha desse local para coleta de solo foi devido não apresentar influência de curtumes na área selecionada.

As amostras de solo coletadas foram secas ao ar, destorroadas e passadas em peneira com 2 milímetros de diâmetro de abertura de malha, obtendo-se, assim, amostras de terra fina seca ao ar (TFSA), que foram submetidas às análises

granulométricas (areia grossa, areia fina, argila e silte) e químicas: pH, P, matéria orgânica do solo (MOS), C, N, Ca, Mg, K, Na, Al e acidez potencial (H+Al), seguindo os protocolos descritos em Embrapa (1997). Os valores relacionados às variáveis: Soma de bases (SB), capacidade de troca de cátions (CTC), saturação por bases (V%), saturação por alumínio (m) e relação C/N, foram calculados a partir dos dados obtidos nas análises químicas. Os resultados obtidos encontram-se na Tabela 4.

**Tabela 4** Análise granulométrica e química do solo utilizado no experimento.

Areia grossa	Areia fina	Argila	Silte	pH (em H <sub>2</sub> O)	P	MOS	C	N	C:N
-----g kg <sup>-1</sup> -----				(1:2,5)	Mg dm <sup>-3</sup>	-----g.kg <sup>-1</sup> -----			
530	180	220	70	4,8	5,85	19,88	11,56	1,28	9,03
Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	SB	H+Al	Al <sup>+++</sup>	CTC	V	m
-----cmol <sub>c</sub> .dm <sup>-3</sup> -----								-----%-----	
1,5	0,4	0,04	0,09	2,03	4,05	0,45	6,08	33	18

**pH** = potencial hidrogeniônico ou acidez ativa; **P** = fósforo disponível; **MOS** = matéria orgânica do solo; **C** = carbono orgânico; **N** = nitrogênio total; **C:N** = relação carbono/nitrogênio; **Ca<sup>++</sup>** = cálcio trocável; **Mg<sup>++</sup>** = magnésio trocável; **K<sup>+</sup>** = potássio trocável; **Na<sup>+</sup>** = sódio trocável; **SB** = Soma de bases; **H+Al** = acidez potencial; **Al<sup>+++</sup>** = alumínio extraível; **CTC** = capacidade de troca de cátions; **V** = percentagem de saturação por bases; **m** = percentagem de saturação por alumínio.

**Lodo:** O lodo utilizado no experimento foi caracterizado como lodo do caleiro, gerado no processo inicial de preparação da pele para o curtimento, sendo classificado como classe IIA<sup>16</sup> (BRASIL, 2002; ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS-ABNT, 2004).

Esse lodo foi obtido uma única vez no “curtume A” (referido anteriormente). O material foi coletado em uma pilha de lodo que tinha sido previamente depositada no leito de secagem da ETE da empresa. Ainda na indústria, o material foi submetido à secagem para a redução do volume e facilidade de transporte e armazenamento (Figura 8). Esta operação levou cerca de 35 dias.

<sup>16</sup>Resíduo não inerte, gerado no processo inicial de preparação da pele para o curtimento



**Figura 8** Aspecto da secagem do lodo do caleiro no “curtume A” (Foto: Idemê Amaral).

No laboratório, a amostra foi submetida novamente à secagem natural. Após secagem, o lodo foi destorroado, passado em peneira com malha de dois milímetros de diâmetro e acondicionado em saco plástico, com identificação. Posteriormente, foi caracterizado quimicamente através de análises laboratoriais.

As características químicas do lodo, determinadas segundo métodos de Tedesco et al. (1995), encontram-se na Tabela 5. As análises de solo e do lodo foram realizadas no Laboratório de Solos do MPEG.

**Tabela 5** Características químicas do lodo do caleiro utilizado no experimento.

pH(H <sub>2</sub> O)	MO	C	N	C:N	Ca	Mg	K	Na
1:2,5	-----g kg <sup>-1</sup> -----				-----g kg <sup>-1</sup> -----			
6,10	466,76	270,74	13,96	20,6	56,68	1,17	0,14	3,10
Cu	Zn	Fe	Mn	Cd	Cr	Pb		
-----mg kg <sup>-1</sup> -----								
3,02	50,67	884,99	16,13	1,98	66,21	662,30		

**pH** = potencial hidrogeniônico ou acidez ativa; **MO** = matéria orgânica; **C** = carbono orgânico; **N** = nitrogênio total; **C:N** = relação carbono/nitrogênio; **Ca** = cálcio total; **Mg** = magnésio total; **K** = potássio total; **Na** = sódio total; **P** = fósforo total; **Cu** = cobre total; **Zn** = zinco total; **Fe** = ferro total; **Mn** = manganês total; **Cd** = cádmio total; **Cr** = cromo total; **Pb** = chumbo total.

### 3.3 PLANTA UTILIZADA NO ESTUDO

A espécie utilizada no experimento foi o açaizeiro - cultivar BRS Pará (OLIVEIRA; FARIAS NETO, 2004). As sementes utilizadas no experimento foram procedentes do campo de pesquisa da EMBRAPA Amazônia Oriental.

O critério na escolha do referido cultivar foi baseado no fato do mesmo apresentar ciclo de desenvolvimento em solos de terra firme (OLIVEIRA; FARIAS NETO, 2004), ser bastante utilizado por agricultores da região para recuperação de capoeiras, bem como, ocorrência de populações de açaizeiros, às margens do rio Maguari, onde são lançados resíduos de curtumes e de outras empresas que operam no DII.

### 3.4 DESCRIÇÃO DO SISTEMA EXPERIMENTAL

#### 3.4.1 Local de instalação do experimento

A pesquisa foi desenvolvida no período de dezembro de 2007 a junho de 2008. O experimento foi instalado e conduzido em viveiro, sob condições de luz e temperatura natural, com cobertura de plástico transparente, para evitar a penetração de águas de chuva (Figura 9).



**Figura 9** Local de instalação do experimento (Foto: Idemê Amaral).

O viveiro faz parte do Horto Botânico da Coordenação de Botânica (CBO), do Museu Paraense Emílio Goeldi (MPEG/Campus de pesquisa), município de Belém (PA) nas coordenadas: 01°27'02" de latitude Sul e 48°26'34" de longitude Oeste.

### 3.4.2 Montagem e condução do experimento

Os substratos utilizados nesta pesquisa foram solo e lodo. Depois de caracterizados, foram misturados, nas proporções volumétricas referidas na Tabela 6, e homogêneos, para compor os seis tratamentos. Em seguida, foram vertidos para vasos de polipropileno, de coloração preta, com extremidade perfurada e com as seguintes dimensões: altura de 15 cm e diâmetros: superior e inferior, de 17 e 14 cm, respectivamente, com capacidade para 2,8 litros. Os vasos foram revestidos internamente com sacos plásticos transparentes para evitar a drenagem e a conseqüente exportação de nutrientes para o meio externo. Os substratos não receberam nenhum tipo de beneficiamento (adubação e/ou calagem), pois se procurou criar uma situação semelhante à maneira como o resíduo é descartado na natureza.

**Tabela 6.** Composição dos tratamentos utilizados no experimento.

Tratamento	Composição volumétrica
	Lodo
	%
T <sub>0</sub>	0
T <sub>1</sub>	50
T <sub>2</sub>	70
T <sub>3</sub>	75
T <sub>4</sub>	80
T <sub>5</sub>	100

Foram colhidas amostras de substratos em cada tratamento e encaminhadas ao Laboratório de Solos do Museu Paraense Emílio Goeldi, para análise da composição química, de acordo com a metodologia descrita por Tedesco et al. (1995).

Para manter a umidade nos vasos equivalente à capacidade de retenção, fez-se a irrigação, com água deionizada, sendo assim mantida até o final do experimento.

Os vasos foram dispostos aleatoriamente, através de sorteio, sobre uma bancada de madeira no viveiro, formando duas fileiras com quinze vasos cada uma (Figuras 10 e 11), onde permaneceram até o final do experimento.

T0R2	T2R1	T0R5	T5R2	T3R4	T2R2	T4R1	T4R3	T3R3	T2R4	T5R4	T0R3	T0R4	T4R4	T4R2
T5R3	T1R1	T2R3	T1R3	T3R5	T1R2	T5R5	T2R5	T3R1	T3R2	T0R1	T5R1	T4R5	T1R4	T1R5

**Figura 10.** Croqui do experimento.



**Figura 11** Vista parcial do experimento antes do plantio (Foto: Idemê Amaral).

A semeadura consistiu da colocação de sementes de açaí para germinar em bandejas plásticas, contendo areia como substrato e a umidade foi mantida com água deionizada. Quando as plântulas atingiram cerca de dois centímetros de altura, foram transplantadas para os vasos preenchidos com os substratos.

O plantio consistiu da colocação de três plântulas de açaí por vaso, objetivando garantir a manutenção de material vegetal para análise química.

Depois de instalado no viveiro, o experimento foi monitorado diariamente, para avaliações do desenvolvimento das mudas, sendo irrigado em dias alternados, nos períodos da tarde, com aproximadamente 100 mL de água deionizada por vaso.

As plantas foram colhidas aos 180 dias da semeadura, quando a maioria das mudas apresentava o primeiro par de folíolos aberto e expandido (Figura 12).



**Figura 12** Aspecto das plântulas de *Euterpe oleracea* Mart. no dia da coleta  
(Foto: Idemê Amaral).

### 3.4.3 Delineamento estatístico, tratamentos e variáveis estudadas

O experimento foi instalado em vasos, dispostos sob um delineamento experimental inteiramente casualizado, com seis tratamentos – 5 doses de lodo (T1, T2, T3, T4 e T5) adicionadas ao solo e um tratamento testemunha (T0), sem adição de lodo – com cinco repetições. Cada unidade experimental (vaso) foi constituída de três plantas úteis, perfazendo um total de 90 plantas. As dosagens de lodo estão indicadas na Tabela 6.

Foram avaliadas as seguintes variáveis de crescimento: altura da parte aérea da planta (AP), diâmetro do colo (DC), comprimento da raiz (CR) e massa de matéria seca da parte aérea (MSPA), da raiz (MSR) e total (MST), parâmetros fisiológicos muito utilizados para caracterizar crescimento de plantas (SALISBURY; ROSS, 1991; TAIZ; ZEIGER, 2004).

Na avaliação da AP, antes da colheita, utilizou-se uma régua em acrílico graduada em centímetros, medindo-se a distância entre o colo e a extremidade apical do folíolo. Para obtenção do CR utilizou-se a mesma régua, medindo-se a

distância entre o colo e a extremidade da raiz. O DC foi medido com paquímetro no coleto da planta acima da superfície do substrato.

Para a determinação da massa seca (parte aérea e raiz) e do comprimento da raiz, as plantas foram retiradas inteiras dos vasos, separadas por repetição e procedida, em seguida, à lavagem cuidadosa do sistema radicular para a retirada dos resíduos de substrato aderidos. As plantas foram lavadas em água corrente, solução de detergente neutro (0,1% v/v) e água deionizada, sequencialmente (Figura 13).



**Figura 13** Lavagem das raízes para eliminação de resíduos do substrato (Foto: Idemê Amaral).

Em seguida, realizou-se o corte das plantas à altura do colo para separar parte aérea e raiz, sendo embaladas em sacos de papel, conforme cada tratamento e a respectiva repetição, para secagem em estufa de circulação e renovação forçada de ar, sob temperatura média de 65°C por um período de 72 horas. O material seco foi pesado em balança analítica com precisão de 0,001 g, para as determinações da massa de matéria seca da parte aérea (MSPA) e das raízes (MSR), e a soma dos dois forneceu o peso de matéria seca total (MST) da planta, em cada tratamento (BENINCASA, 2003). Posteriormente, foi moído, passado em peneira de crivo de um milímetro, acondicionado em frascos de plásticos, com as respectivas identificações e encaminhado ao laboratório para as análises químicas subseqüentes (SILVA, 1999).

Os substratos, relacionados a cada tratamento, foram removidos dos vasos, acondicionados em bandejas plásticas e colocados para secar a temperatura

ambiente, sendo, posteriormente, destorroados, passados em peneiras com malha de 2 mm de diâmetro e analisados quimicamente.

#### **3.4.4 Análise química do substrato e da planta**

Para avaliação do substrato, foram determinadas as seguintes variáveis: pH em H<sub>2</sub>O (1:2,5); matéria orgânica e teores totais de N, potássio, sódio, cálcio, magnésio, cádmio, cromo, cobre, ferro, manganês, chumbo e zinco, conforme metodologia descrita por Tedesco et al. (1995). A matéria orgânica foi obtida através de cálculo (teor de C<sub>org</sub> x 1,724): o carbono orgânico foi obtido através do método de Walkley-Black. Os macronutrientes (N, K, Ca e Mg) por digestão úmida com H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> + H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> + mistura digestora, enquanto o sódio e os micronutrientes e/ou metais pesados foram obtidos por digestão úmida com HNO<sub>3</sub> + HClO<sub>4</sub>.

Na análise química da planta, determinaram-se os teores de sódio, cálcio, magnésio, potássio, cádmio, cromo, cobre, ferro, manganês, chumbo e zinco, através da digestão úmida com HNO<sub>3</sub> + HClO<sub>4</sub> (SILVA, 1999), sendo a leitura efetuada em um espectrofotômetro de absorção atômica.

As análises foram realizadas no Laboratório de Solos do Museu Paraense Emílio Goeldi e no Laboratório de Análises Químicas da Empresa Eletronorte.

#### **3.4.5 Análise estatística**

As características químicas do substrato avaliadas (antes do plantio e no final do experimento) e os dados obtidos na análise da planta (variáveis de crescimento e químico) foram submetidos à análise de variância e as médias comparadas através do teste de Tukey a 5% de probabilidade, com o uso do programa estatístico SAS (Statistical Analysis System).

As listas com abreviaturas e siglas (Tabela 1A), símbolos químicos (Tabela 2A) e dados da análise de variância (Tabelas 3A, 4A, 5A e 6A), encontram-se em Apêndice.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1. EFEITO DO LODO DE INDÚSTRIA DE CURTUME NO SOLO

Na Tabela 7, observa-se o efeito de doses de lodo de calcário em atributos químicos de um Neossolo Flúvico utilizado no cultivo de plântulas de açaizeiro.

**Tabela 7** Composição química dos substratos utilizados no cultivo de plântulas de açaizeiro - cultivar BRS-Pará (antes do plantio e no final do experimento). Belém, PA. 2008\*.

ANTES DO PLANTIO							
Tratamento	pH (1:2,5)	MO	N	K	Na	Ca	Mg
	(H <sub>2</sub> O)	----- g kg <sup>-1</sup> -----					
T0 (0% lodo)	6,0B	2,74C	1,78D	0,03C	0,08C	0,00E	0,00E
T1 (50% lodo)	7,0A	69,74C	4,79DC	0,03C	0,60C	7,95D	0,23ED
T2 (70% lodo)	6,9A	197,60B	4,78DC	0,05BC	1,47B	12,01CD	0,45CD
T3 (75% lodo)	7,0A	220,20B	7,97BC	0,08BAC	1,91B	18,63CB	0,67CB
T4 (80% lodo)	7,2A	237,84B	11,56BA	0,10BA	2,08B	20,61B	0,85B
T5 (100% lodo)	7,0A	453,97A	13,96A	0,14A	3,44A	53,29A	1,30A
	<b>Cd</b>	<b>Cr</b>	<b>Cu</b>	<b>Fe</b>	<b>Mn</b>	<b>Pb</b>	<b>Zn</b>
	----- mg kg <sup>-1</sup> -----						
T0 (0% lodo)	0,0B	0,0B	0,0B	41,6D	0,2D	0,0D	2,2E
T1 (50% lodo)	0,8A	17,2A	0,0B	211,3C	3,3C	0,9CD	10,9D
T2 (70% lodo)	1,4A	38,6A	0,0B	311,6CB	7,1B	5,5B	18,4C
T3 (75% lodo)	1,6A	42,7A	0,0B	396,5B	7,8B	3,1CB	23,1B
T4 (80% lodo)	1,6A	15,8A	0,0B	428,2B	7,6B	5,6B	24,2B
T5 (100% lodo)	5,5A	27,8A	2,6A	793,8A	15,2A	8,6A	53,8A
FINAL DO EXPERIMENTO							
	pH (1:2,5)	MO	N	K	Na	Ca	Mg
	(H <sub>2</sub> O)	----- g kg <sup>-1</sup> -----					
T0 (0% lodo)	5,2B	0,68C	1,99C	0,00B	0,04C	0,00E	0,01D
T1 (50% lodo)	7,0A	88,65BC	5,58CB	0,00B	0,48C	7,69ED	0,35C
T2 (70% lodo)	7,1A	160,25BA	5,57CB	0,03B	0,91B	15,50CD	0,52CB
T3 (75% lodo)	7,1A	177,29BA	7,97CB	0,04BA	1,03B	24,79CB	0,67B
T4 (80% lodo)	7,1A	197,07BA	9,57B	0,05BA	1,11B	31,23B	0,70B
T5 (100% lodo)	7,0A	279,58A	18,34A	0,13A	2,25A	77,67A	1,40A
	<b>Cd</b>	<b>Cr</b>	<b>Cu</b>	<b>Fe</b>	<b>Mn</b>	<b>Pb</b>	<b>Zn</b>
	----- mg kg <sup>-1</sup> -----						
T0 (0% lodo)	0,0B	0,0C	5,1BA	25,7C	0,0C	0,0B	1,7D
T1 (50% lodo)	0,0B	21,4BC	2,6B	407,2B	6,8CB	9,3A	16,3C
T2 (70% lodo)	0,0B	29,8BA	3,1BA	511,1B	11,8B	10,8A	21,9CB
T3 (75% lodo)	0,0B	31,7BA	3,2BA	747,7B	12,6B	9,9A	29,7B
T4 (80% lodo)	0,0B	25,4BAC	3,2BA	619,4B	13,4B	10,0A	31,1B
T5 (100% lodo)	12,4A	52,7A	5,9A	1157,5A	23,4A	15,2A	64,1A

Médias seguidas pela mesma letra, na coluna, não diferem estatisticamente entre si, a 5% de probabilidade ( $p < 0,05$ ), pelo teste Tukey. (\*Média de cinco repetições)

A análise relacionada ao comportamento das variáveis químicas determinadas nos tratamentos analisados (Tabela 7) é descrita a seguir:

#### 4.1.1 Índice de acidez (pH em H<sub>2</sub>O)

A análise dos dados químicos dos substratos formados (Tabela 7) evidencia maiores valores de pH para os tratamentos em que foram adicionadas as doses de lodo de curtume em relação à testemunha (T0). Entre os tratamentos com adição de lodo não ocorreram diferenças estatísticas significativas, entretanto, os valores de pH se situaram na faixa de 6,9 a 7,2, superiores significativamente ao pH da testemunha, que apresentou valor de 6,0 antes do plantio e 5,2 ao final do experimento.

A adição de lodo elevou o pH do solo para valores superiores àqueles onde ocorre a maior disponibilidade de nutrientes, situados entre 5,5 e 6,5 (MEURER, 2007). Em valores de pH igual a 7,0 ocorre acentuada redução da disponibilidade do N, S, B, P, Fé, Cu, Mn e Zn (MALAVOLTA, 2006; SOUZA; MIRANDA; OLIVEIRA, 2007) Em função das dosagens utilizadas de lodo do caleiro, o valor de pH neste experimento manteve-se muito acima do recomendado para substratos orgânicos, que segundo Kämpf (2000) e Waldemar (2000) deve estar entre 5,2 a 5,5, sendo considerada ideal a faixa de 5,5 a 6,5 em substratos para plantas ornamentais (WALDEMAR, 2000), com pequenas variações para cada tipo de planta (BAILEY; NELSON; FONTENO, 2000).

Nesta pesquisa, o valor mínimo do pH, nos tratamentos que receberam lodo, ultrapassou 6,5 o que, segundo Tedesco et al. (1999) e Bailey, Nelson e Fonteno (2000), pode implicar em deficiências de alguns micronutrientes para as plantas, cuja disponibilidade diminui com a elevação do pH.

Observou-se, também, que o lodo possui alto poder tampão, pois seu pH ficou na faixa neutra e, mesmo assim, o pH das misturas foi mantido na faixa do pH do lodo. Para Oliveira et al. (2002), a extensão das alterações no pH depende além da textura e capacidade tamponante do solo, do tipo de tratamento que o lodo recebeu. De acordo com Melo e Marques (2000), a elevação do pH do solo é consequência da formação de íon amônio, devido à oxidação do nitrogênio orgânico, presente em grande quantidade no lodo de curtume.

A eficiência do lodo de curtume na elevação de pH do solo, tem sido relatada em diversos trabalhos (FORTES NETO; CAVALLET; SELBACH, 1991; SELBACH et al., 1991; CASTILHOS, TEDESCO; VIDOR, 1999; KONRAD; CASTILHO, 2002; FERREIRA et al., 2003; SOUZA; CHAVES; SOUZA, 2006), em razão da alcalinidade do material, visto que, no processo de tratamento do lodo utilizado neste ensaio, são adicionadas cal virgem (CaO) ou cal hidratada - Ca(OH)<sub>2</sub>. Todavia, Costa et al. (2001) constataram baixa eficiência do lodo de curtume na correção da acidez do solo. Dados controversos a esse respeito são encontrados na literatura devido a diversidade das características químicas, tanto dos solos como dos lodos que estão sendo avaliados.

O açazeiro, por sua vez, desenvolve-se bem em uma variedade de solos, com pH variando na faixa de 4,5 a 6,5 (NOGUEIRA, 1995). Logo, o pH obtido nos tratamentos com lodo analisados neste estudo, ficou acima dessa faixa, o que provavelmente, contribuiu negativamente no crescimento das plantas de açazeiro.

#### **4.1.2 Matéria orgânica (MO)**

Os resultados das análises, apresentados na Tabela 7, mostram que a adição de lodo do caleiro no solo influenciou de maneira positiva no aumento do teor de matéria orgânica do solo (MOS), com efeito crescente em função do aumento das doses. Resultados semelhantes foram obtidos por Bettiol e Camargo (2000) com biossólido em solo e Teixeira et al. (2006) com lodo de curtume no solo. O aumento de MO, nos tratamentos contendo lodo, é devido esse resíduo apresentar grande quantidade desse material em sua composição química de origem (Tabela 5).

Com exceção do tratamento T1 (50% lodo), todos os outros tratamentos com adição de lodo proporcionaram aumentos significativos nos teores de matéria orgânica quando comparados ao conteúdo de matéria orgânica no tratamento T0 (sem lodo). Os maiores teores de MO e nutrientes estão presentes nos tratamentos com maior concentração de lodo, no caso, T4 e T5, apresentando, respectivamente, 237,84 e 453,97 g kg<sup>-1</sup> (antes do plantio) e 197,07 e 279,58 g kg<sup>-1</sup> (final do experimento).

Observou-se, também, que houve diminuição da matéria orgânica no final do experimento, exceto no tratamento T1, o que é evidenciado ao se comparar os

dados finais com os iniciais. Segundo Oliveira et al. (2002) a manutenção de altos teores de MO pela adição de lodo dependerá de aplicações sucessivas do resíduo, pois os efeitos sobre os teores de carbono orgânico podem ser temporários devido a decomposição da matéria orgânica (MELO et al., 1994). Entretanto, aplicações sucessivas do lodo de curtume implicariam no aumento dos teores de sódio no solo e, conseqüentemente, em sua salinização (AQUINO NETO; CAMARGO, 2000; COSTA et al., 2001; FERREIRA et al., 2003). Em vista disso, o lodo de curtume deve ser utilizado com critérios definidos, de modo a não causar poluição ambiental (Costa et al., 2001).

#### **4.1.3 Sódio (Na)**

As concentrações médias de Na obtidas para os tratamentos avaliados podem ser verificadas na Tabela 7. Percebe-se que somente os tratamentos T2, T3, T4 e T5 (antes do plantio e no final do experimento) apresentaram concentrações de Na que diferiram de forma significativa ( $P < 0,05$ ) da testemunha. Os tratamentos com adição de lodo apresentaram efeito crescente na concentração de sódio com o aumento das doses de lodo do caleiro aplicadas. Esses resultados ocorreram, possivelmente, devido à elevada concentração de Na presente nessas doses proveniente do resíduo utilizado (Tabela 5), o que proporcionou aumento nos teores do elemento no solo. Resultados semelhantes foram também observados em vários estudos com adição de lodo de curtume no solo (AQUINO NETO; CAMARGO, 2000; COSTA et al., 2001; KONRAD; CASTILHOS, 2002; FERREIRA et al., 2003, MARTINES, 2005; TEIXEIRA et al., 2006).

Do ponto de vista ambiental o Na é o limitador no uso de resíduos que o contém em alto teor (DE LA PEÑA, 1996). A concentração excessiva desses sais pode afetar o crescimento e o rendimento das culturas, além de modificar algumas propriedades físico-químicas do solo, originando formação de crosta e redução de sua permeabilidade e porosidade (MARTINS et al., 2001). Em vista disso, a aplicação do lodo de curtume no solo necessita ser feita de forma controlada, pois altas doses implicariam no aumento dos teores de Na no solo e, conseqüentemente, em sua salinização (SOUZA; CHAVES; SOUZA, 2006; TEIXEIRA et al., 2006; LIMA, 2009) em função da elevada concentração desse elemento no resíduo.

Altos níveis de Na promovem redução do crescimento vegetal por inibir, principalmente, a absorção de Ca, embora não se descarte inibição na absorção de Mg e K em espécies madeireiras (BERGMANN, 1992). Segundo Korndörfer (2006), de maneira geral, os sintomas de toxicidade de Na estão associados à redução no crescimento e murchamento das plantas. Por isso, mais estudos devem ser realizados para definir as quantidades a serem utilizadas nos solos.

#### 4.1.4 Macronutrientes

**Nitrogênio (N):** As concentrações médias de N no solo submetido à aplicação de lodo do caleiro nas diferentes doses estão apresentadas na Tabela 7.

Comparando com a testemunha (T0) que obteve valores de 1,78 g kg<sup>-1</sup> e 1,99 g kg<sup>-1</sup>, o resíduo utilizado aumentou o N no solo, com o aumento da dose de lodo aplicada, variando de 4,78 g kg<sup>-1</sup> (T2) a 13,46 g kg<sup>-1</sup> (T5) e 5,57 g kg<sup>-1</sup> (T2) a 18,34 g kg<sup>-1</sup> (T5), respectivamente, antes do plantio e final do experimento, em decorrência do alto teor de MO contido nesse resíduo. Aumentos nos teores de N com aplicação de lodo de curtume, também foram verificados por Selbach et al. (1991), Castilhos (1998), Passianoto et al. (2001) e Borges (2003).

Em geral, os teores de N antes do plantio foram inferiores quando comparados ao substrato coletado no final do experimento, exceto no tratamento T3, onde não houve variação. A análise estatística revelou que houve aumento significativo em relação à testemunha somente nos tratamentos que receberam as maiores doses de lodo do caleiro (T3, T4, T5 – antes do plantio, e T4, T5 – final do experimento).

Segundo Raij (1991), o nitrogênio é o nutriente exigido em maior quantidade pelas plantas. Porém, em quantidades incorretas, ele pode atingir e poluir as águas subterrâneas com nitrato, um ânion de grande mobilidade no solo (MATOS, 2006).

**Potássio (K):** Os resultados das concentrações médias de K no substrato, para todos os tratamentos avaliados, estão apresentados na Tabela 7. Pode-se observar que houve diferença significativa para a concentração de K entre a testemunha (T0) e os tratamentos T4 (0,10 g kg<sup>-1</sup>) e T5 (0,14 g kg<sup>-1</sup>), antes do plantio, e T5 (0,13 g.kg<sup>-1</sup>) ao final do experimento. Provavelmente, esses resultados tenham ocorrido em função da concentração mais elevada de K nesses tratamentos.

Esses teores totais de potássio nos tratamentos avaliados são considerados de baixo nível, considerando-se os teores normalmente encontrados nos solos brasileiros (MALAVOLTA, 1976; SOUSA; LOBATO, 2004; ERNANI; ALMEIDA; SANTOS, 2007), e ainda, levando-se em conta que o lodo de curtume é um resíduo que apresenta concentrações baixas de potássio (FERREIRA et al., 2003), como podemos observar na Tabela 5, fato também constatado por Ferreira et al. (2003). Além disso, a elevação do pH promove aumento nas cargas negativas do solo, fazendo com que parte do K da solução se adsorva nas cargas geradas, diminuindo sua disponibilidade às plantas (ALBUQUERQUE et al., 2003; ERNANI, 2008).

No final do experimento, observou-se, em todos os tratamentos, diminuição nos valores de K, quando comparados aos obtidos no início do experimento. Estes valores foram estatisticamente semelhantes ao tratamento (T0), exceto o T5, que foi semelhante apenas aos tratamentos T3 e T4. Segundo Faustino et al. (2005), em concentrações baixas de K pode ocorrer deficiência do nutriente ao longo do tempo em que as mudas permanecerem em viveiro.

**Cálcio (Ca) e magnésio (Mg):** Observou-se aumento significativo crescente nos teores de Ca e Mg com o aumento das doses de lodo do calcário (Tabela 7).

Nos tratamentos que receberam lodo, houve aumento significativo dos teores de Ca em relação ao tratamento testemunha (T0), exceto no tratamento T1 (final do experimento). Isso comprova o efeito corretivo do resíduo orgânico, confirmando o que foi concluído em outros estudos utilizando lodo de curtume (SELBACH et al., 1991; COSTA et al., 2001; CASTILHOS, TEDESCO; VIDOR, 2002; FERREIRA et al., 2003), em solos de clima temperado, bem como, Teixeira et al. (2006), em solos da região semi-árida nordestina. Este aumento de Ca no solo pode estar relacionado ao elevado conteúdo do elemento no resíduo (Tabelas 5 e 7), que normalmente é encontrado nas formas de sulfeto, hidróxido e carbonato (FERREIRA et al., 2003).

Os teores de Mg nos tratamentos avaliados, também aumentaram, com adição do lodo de curtume em relação à testemunha, obedecendo a mesma ordem ocorrida com o Ca, entretanto, com valores inferiores em razão do baixo teor deste nutriente no resíduo (Tabelas 5 e 7). Segundo Malavolta (2006), este fato pode estar relacionado ao processo de antagonismo e inibição competitiva entre o Ca e o Mg, uma vez que o excesso de um desses elementos resulta na diminuição da absorção do outro. Altas concentrações de Ca e Mg em relação às de K, podem causar

desequilíbrio nutricional e crescimento reduzido das plantas (VITTI; LIMA; CICARONE, 2006), como ocorreu com as mudas de açaizeiro nesta pesquisa.

Todos os tratamentos com lodo, com exceção do T1 (50% lodo), mostraram aumento significativo para os teores de Mg em relação ao tratamento testemunha. Aumentos nos teores de magnésio no solo, a partir da utilização de biossólidos, foram relatados por Favaretto, Deschamps e Maho (1997), Silva et al. (1998) e Fortes Neto e Cardoso (1999).

#### 4.1.5 Micronutrientes e/ou metais pesados

**Cádmio (Cd):** Os teores médios de Cd nos tratamentos investigados estão apresentados na Tabela 7. Nos tratamentos que receberam lodo houve variação, em  $\text{mg kg}^{-1}$ , de 0,8 (T1) a 5,5 (T5), antes do plantio, sendo que esses teores aumentaram com aumento das doses de lodo, não havendo, contudo, efeito significativo entre os tratamentos.

Não foi detectado Cd nos tratamentos no final do experimento, exceto no tratamento T5 (100% de lodo), que aumentou de  $5,5 \text{ mg kg}^{-1}$  (antes do plantio) para  $12,4 \text{ mg kg}^{-1}$  (final do experimento). Possivelmente, em razão da sua baixa concentração no solo original (T0) e no lodo (Tabela 5), não houve detecção no solo após o cultivo das plantas. Mas, segundo Oliveira (2003) a diminuição nos teores de Cd, no final do experimento, pode estar relacionada ao fato desse elemento ser facilmente absorvido e translocado, devido sua grande capacidade de movimentação, apesar de não ser um elemento essencial às plantas

Com base nos valores orientadores sugeridos pela Cetesb (2005)<sup>17</sup>, os teores totais de Cd nos tratamentos avaliados ficaram abaixo do limite máximo permitido para os valores de intervenção – VI<sup>18</sup> agrícola, que é de até  $3,0 \text{ mg kg}^{-1}$ , exceto no tratamento T5 (antes do plantio e no final do experimento), que foi superior a esse valor.

Oliveira et al. (2005) trabalhando com amostras de Argissolo Vermelho-Amarelo incubadas com doses de de lodo de esgoto enriquecido com cádmio em

---

<sup>17</sup> Como ainda não existe, para o Estado do Pará, uma legislação que estabeleça limites aceitáveis de metais pesados em solos pela adição de lodo de curtume, utilizaram-se para fins de comparação, os valores orientadores de referência de qualidade, prevenção e intervenção, recomendados pela CETESB para o Estado de São Paulo.

<sup>18</sup> Valor de intervenção. Indica o limite de contaminação permitido para metais pesados em solos agrícolas no Estado de São Paulo, acima do qual existem riscos potenciais, diretos ou indiretos, à saúde humana e, quando excedido, a área será classificada contaminada sob investigação, indicando a necessidade de ações de intervenção (CETESB, 2005).

concentrações finais que variaram de 18,3 a 79,4 mg kg<sup>-1</sup> de teores totais, concluíram que o crescimento das plantas de arroz não foi prejudicado pelas altas doses do metal existentes no solo e nas diferentes partes da planta. Segundo Kabata-Pendias e Pendias (1992) e Alloway (1995), a toxidez do cádmio não depende somente dos seus teores nos tecidos das plantas, mas também do balanço de nutrientes: elementos como Ca<sup>2+</sup>, Mn<sup>2+</sup>, Zn<sup>2+</sup> e H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub><sup>-</sup> podem interagir com o cádmio, diminuindo sensivelmente a atividade deste elemento na planta.

**Cromo (Cr):** Em relação à testemunha (T0), os tratamentos com lodo do caleiro aumentaram significativamente os teores de Cr que variaram de 15,8 mg kg<sup>-1</sup> (T4) a 42,7 mg kg<sup>-1</sup> (T3) e 21,4 mg kg<sup>-1</sup> (T1) a 52,7 mg kg<sup>-1</sup> (T5), antes do plantio e no final do experimento, respectivamente (Tabela 7). Estas concentrações foram muito inferiores ao valor de intervenção agrícola para o cromo, recomendado pela CETESB (2005), que é de 150 mg kg<sup>-1</sup>, provavelmente, devido a baixa concentração no lodo do caleiro utilizado nesta pesquisa (Tabela 5). Resultados semelhantes foram observados por outros autores (CASTILHOS; VIDOR; CASTILHOS, 2000; FERREIRA et al., 2003).

Verificou-se, também, que os tratamentos que receberam adição de lodo, apresentaram o valor de pH acima de 6,5 (Tabela 7), o que neste caso, torna o cromo insolubilizado no solo. De acordo com Bartlett e James (1988), o Cr<sup>3+</sup> presente no lodo de curtume é solúvel somente em pH do solo abaixo de 5,0. Acima deste valor de pH o elemento é precipitado em formas insolúveis de Cr(OH)<sub>3</sub>.nH<sub>2</sub>O, no solo (AQUINO NETO; CAMARGO, 2000), podendo coprecipitar na presença de Fe, diminuindo ainda mais a sua solubilidade (RAI; EARY; ZACHARA, 1989).

Observa-se que as dosagens do lodo de curtume são suficientes para ocasionar aumento do elemento cromo no solo, exceto nos tratamentos T4 e T5 que apresentaram um decréscimo. Esse aumento é concordante com o que observaram outros autores (SELBACH et al., 1991; KONRAD e CASTILHOS, 2002; CASTILHOS.; TEDESCO.; VIDOR, 2002).

Observou-se, ainda, que não houve diferença significativa entre os tratamentos, antes do plantio, mostrando que os valores foram semelhantes aos observados no tratamento testemunha. Esses resultados concordam, também, com Konrad e Castilhos (2002), em experimento realizado na cultura do milho, onde foram avaliados os teores de Cr, decorrentes da adição de lodos de curtume.

No final do experimento, apenas os tratamentos T1 e T4 não diferiram da testemunha (T0), sendo que ambos foram, também, semelhantes aos demais tratamentos contendo a mistura solo+lodo (T2 e T3).

**Cobre (Cu):** As concentrações de Cu obtidas, antes do plantio, não foram detectadas pela sensibilidade de leitura do aparelho, exceto em T5 que acusou 2,6 mg kg<sup>-1</sup> (Tabela 7).

No final do experimento observou-se elevação nos teores de Cu total, variando de 2,6 mg kg<sup>-1</sup> (T1) a 5,9 mg kg<sup>-1</sup> (T5), não havendo, contudo, efeito significativo entre os tratamentos, exceto entre T1 (2,6 mg kg<sup>-1</sup>) e T5 (5,9 mg kg<sup>-1</sup>). Na maioria dos tratamentos que receberam lodo (T1, T2, T3 e T5), os teores de cobre aumentaram com o incremento das doses de lodo. O aumento nos teores de Cu no solo, também foi observado por Cabrera, Diaz e Madrid (1989) e Costa et al. (1994), em experimento com a adição de compostos produzidos a partir de lixo orgânico.

Em virtude do baixo teor desse metal no resíduo (Tabela 5), os teores encontrados neste trabalho estão muito abaixo do recomendado pela Cetesb (2005) e por Kabata-Pendias e Pendias (2001), que consideram 100 mg kg<sup>-1</sup> e 60-125 mg kg<sup>-1</sup>, respectivamente. Além disso, a disponibilidade de cobre no solo é determinada principalmente pelo pH do solo, com decréscimo da disponibilidade quando da elevação do pH (TEIXEIRA et al., 2003; MALAVOLTA, 2006), o que pode explicar os resultados encontrados.

**Ferro(Fe):** A Tabela 7 mostra os resultados obtidos para o elemento Fe nos tratamentos analisados. Em todos os tratamentos com adição de lodo, se verifica a alta concentração de ferro nos substratos formados, variando de 211,3 mg kg<sup>-1</sup> (T1) a 793,8 mg kg<sup>-1</sup> (T5) e 407,2 mg kg<sup>-1</sup> (T1) a 1157,5 mg kg<sup>-1</sup> (T5), antes do plantio e ao final do experimento, respectivamente.

Os níveis de ferro nos tratamentos avaliados neste trabalho aumentaram com o aumento das dosagens de lodo ao solo, superando significativamente os valores obtidos pela testemunha no início e final do experimento. Estes resultados estão de acordo com Simonete e Kiehl (2002), que observaram aumento nos teores de Fe no solo, com a aplicação de lodo de esgoto.

As concentrações de Fe existentes nos substratos, nos tratamentos onde foi usado o lodo, são consideradas excessivamente altas, com efeitos fitotóxicos (ABREU; LOPES; SANTOS, 2007), e estão acima dos recomendados por Malavolta, Vitti e Oliveira (1997), que varia de 50 mg kg<sup>-1</sup> a 250 mg kg<sup>-1</sup>. Este comportamento evidencia a elevada concentração deste elemento no lodo de curtume avaliado nesta pesquisa. Dados semelhantes foram obtidos por Costa et al. (2002), com lodo industrial, onde doses baixas de lodo elevaram a concentração do substrato a níveis tóxicos, promovendo drástica redução no desenvolvimento vegetativo.

**Manganês(Mn):** Os teores totais de Mn, nos tratamentos com adição de lodo de calcário, aumentaram significativamente em relação à testemunha, exceto no tratamento T1 (50% lodo) ao final do experimento, que não diferiu da testemunha (T0), conforme podemos observar na Tabela 7. Isso, também, foi observado por Simonete e Kiehl (2002), com aplicação de lodo de esgoto. Efeito oposto nos teores de Mn<sup>2+</sup> trocáveis foi observado em estudos em casa de vegetação com lodo de curtume, por Teixeira (1981), Selbach et al. (1991) e Ferreira et al. (2003).

Segundo Ernani (1981) e McBride (1994), a diminuição da concentração de Mn<sup>2+</sup> no solo, com a aplicação de lodo de curtume, pode ser justificada pelo aumento do pH do solo, sempre provocado por este tipo de lodo e, também, pela possível complexação daquele micronutriente com radicais orgânicos do resíduo.

Os teores de Mn encontrados neste trabalho estão muito abaixo da faixa crítica do elemento no solo (1500 mg kg<sup>-1</sup>), descrita por Kabata-Pendias e Pendias (2001).

**Chumbo (Pb):** O teor de Pb obtido nos tratamentos com adição de lodo, antes do cultivo foi inferior ao obtido no final do experimento, variando, respectivamente, na faixa de 0,9 (T1) a 8,6 mg kg<sup>-1</sup> (T5) e 9,3 (T1) a 15,2 mg kg<sup>-1</sup> (T5), conforme podemos observar na Tabela 7. Os aumentos ocorridos no final do experimento, porém, não chegaram a atingir níveis fitotóxicos, pois estão muito abaixo do limite permitido pela CETESB (2005), que considera 180 mg kg<sup>-1</sup>, enquanto para Kabata-Pendias e Pendias (2001) os valores críticos de Pb em solo variam de 100 a 400 mg kg<sup>-1</sup>. Para estes últimos autores, o Pb pode ser considerado um dos metais pesados menos móveis no solo, o que pode torná-lo menos disponível às plantas.

**Zinco (Zn):** Os teores totais de Zn nos tratamentos que receberam adição de lodo no solo apresentaram aumentos significativos entre si, exceto os tratamentos T3 e T4 (antes do plantio) e T2, T3 e T4 (final do experimento), apesar de superiores aos demais tratamentos contendo a mistura solo+ lodo, foram semelhantes entre si (Tabela 7).

Os teores totais de Zn nos tratamentos avaliados, antes do plantio e no final do experimento, variaram de forma crescente com valores de 2,2 mg kg<sup>-1</sup> na testemunha (T0) a 53,8 mg kg<sup>-1</sup> no tratamento T5, e 1,7 mg kg<sup>-1</sup> (T0) a 64,1 mg kg<sup>-1</sup> (T5), respectivamente. Os acréscimos nos teores totais de Zn podem ser explicados pela alta concentração desse metal presente no lodo utilizado, sendo esse acréscimo, em geral, maior nos tratamentos que receberam doses mais elevadas de lodo. Observou-se, também, que os tratamentos contendo lodo apresentaram incremento no final do experimento. Essas concentrações estão abaixo da faixa (70-400 mg kg<sup>-1</sup>) considerada comum nos solos de acordo com Kabata-Pendias e Pendias (2001), bem como, muito abaixo do limite crítico de 450 mg kg<sup>-1</sup> sugerido pela CETESB (2005).

O aumento nos teores de Zn no solo proporcionado pela a adição de compostos produzidos a partir de lixo orgânico, também foi observado por Cabrera, Diaz e Madrid (1989) e Costa et al. (1994), bem como, pela aplicação de lodo de esgoto por Rangel et al. (2004) e Mobicci (2006). Isto se deve, provavelmente, à formação de quelatos com alguns metais e matéria orgânica (BERTIN; BELLINGIERI, 2003).

Segundo Abreu, Lopes e Santos (2007), as concentrações de zinco existentes nos substratos sob tratamento com lodo, na presente pesquisa, podem ser consideradas excessivas, com possibilidades de exercerem ação fitotóxica nas plantas.

#### 4.2 EFEITO DO LODO DE INDÚSTRIA DE CURTUME EM VARIÁVEIS DE CRESCIMENTO DO AÇAIZEIRO – CULTIVAR BRS-PARÁ

Na Tabela 8 são apresentados os valores médios referentes às variáveis de crescimento de plântulas de açaizeiro - cultivar BRS-Pará, em função dos tratamentos, aos 180 dias da semeadura.

**Tabela 8** Valores médios das variáveis de crescimento: altura da parte aérea da planta (AP), diâmetro do colo (DC), comprimento da raiz (CR), peso da massa seca da raiz (MSR), peso da massa seca da parte aérea (MSPA) e peso da massa seca total (MST), em açaizeiro – cultivar BRS-Pará, aos 180 dias da semeadura. Belém (PA), 2008\*.

Tratamentos	AP	DC	CR	MSR	MSPA	MST
	-----cm-----			-----g-----		
T <sub>0</sub> (0% de lodo)	31,05A	0,50A	30,59A	0,63A	0,49A	1,11A
T <sub>1</sub> (50% de lodo)	27,36BA	0,49A	8,00B	0,50BA	0,42BA	0,92BA
T <sub>2</sub> (70% de lodo)	22,53B	0,39A	5,68B	0,42B	0,27DC	0,69BC
T <sub>3</sub> (75% de lodo)	23,03B	0,39A	6,31B	0,43B	0,29DC	0,72BC
T <sub>4</sub> (80% de lodo)	23,90BA	0,43A	8,05B	0,45B	0,30BC	0,75BC
T <sub>5</sub> (100% de lodo)	14,21C	0,37A	4,54B	0,44B	0,17D	0,61C

Médias seguidas pela mesma letra, na coluna, não diferem estatisticamente entre si, a 5% de probabilidade ( $p < 0,05$ ), pelo teste Tukey. (\*Média de cinco repetições).

#### 4.2.1 Altura da planta (AP)

Os resultados obtidos na avaliação de altura das plantas estão apresentados na Tabela 8. Pode-se observar que houve resposta significativa do açaizeiro aos tratamentos que receberam lodo de curtume. A maior altura (31,05 cm) foi obtida na testemunha (T<sub>0</sub>), que não diferiu significativamente dos valores de 27,36 cm e 23,90 cm, dos tratamentos T<sub>1</sub> (50% de lodo) e T<sub>4</sub> (80% de lodo). O tratamento T<sub>5</sub> (100% de lodo), quando comparado com os outros tratamentos, foi o que apresentou menor desenvolvimento em altura (14,21cm).

Segundo Faustino et al. (2005), os incrementos em altura estão relacionados aos acréscimos de matéria orgânica ao substrato, o que não foi observado nesta pesquisa, pois houve uma tendência de maior crescimento em altura das plântulas nos tratamentos T<sub>0</sub> e T<sub>1</sub>, onde ocorreram os menores teores de teor de matéria orgânica, sódio, nutrientes e metais pesados (Tabela 7). É provável que os incrementos em altura estejam relacionados, principalmente, aos menores teores de metais pesados no substrato, especialmente o cromo, o que pode ter favorecido a disponibilidade de nutrientes nesses tratamentos, inclusive no tratamento T<sub>4</sub>, onde houve redução desse metal e foi, estatisticamente, semelhante em altura aos referidos tratamentos T<sub>0</sub> e T<sub>1</sub>, conforme podemos verificar na Tabela 8.

De um modo geral, o uso de lodo como substrato, não influenciou positivamente no crescimento das mudas de açaizeiro, provavelmente, devido ao

desequilíbrio nas concentrações dos nutrientes essenciais e às altas concentrações de elementos fitotóxicos.

Segundo Cruz et al. (2006), a presença de  $\text{Na}^+$  e  $\text{Cl}^-$  no substrato tem ocasionado redução no crescimento dos vegetais, em virtude desses íons causarem, entre outros efeitos negativos, mudanças na capacidade das plantas em absorver, transportar e utilizar alguns dos nutrientes essenciais.

De maneira geral, os sintomas de toxicidade de Na estão associados à redução no crescimento e na produção, além do amarelecimento e murchamento das plantas (KORNDÖRFER, 2006). Estes sintomas foram observados nesta pesquisa. É provável que isto, também, tenha concorrido para o baixo desempenho dos tratamentos com lodo no crescimento das plantas de açaizeiro, principalmente nos substratos que receberam doses de lodo acima de 50%, conforme podemos observar na Figura 14.



Figura 14. Aspecto das plântulas de açaizeiro, cultivar BRS-Pará, aos 180 dias após semeadura. Belém, PA. 2008.

#### 4.2.2 Diâmetro do colo (DC)

As concentrações de lodo do calcário testadas neste estudo não proporcionaram efeito significativo sobre o DC das plântulas, em relação à testemunha, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Os tratamentos avaliados neste experimento apresentaram médias de DC que variaram de 0,39 cm (T2 e T3) a 0,50 cm (T0) conforme podemos observar na Tabela 8.

#### 4.2.3 Comprimento das raízes (CR)

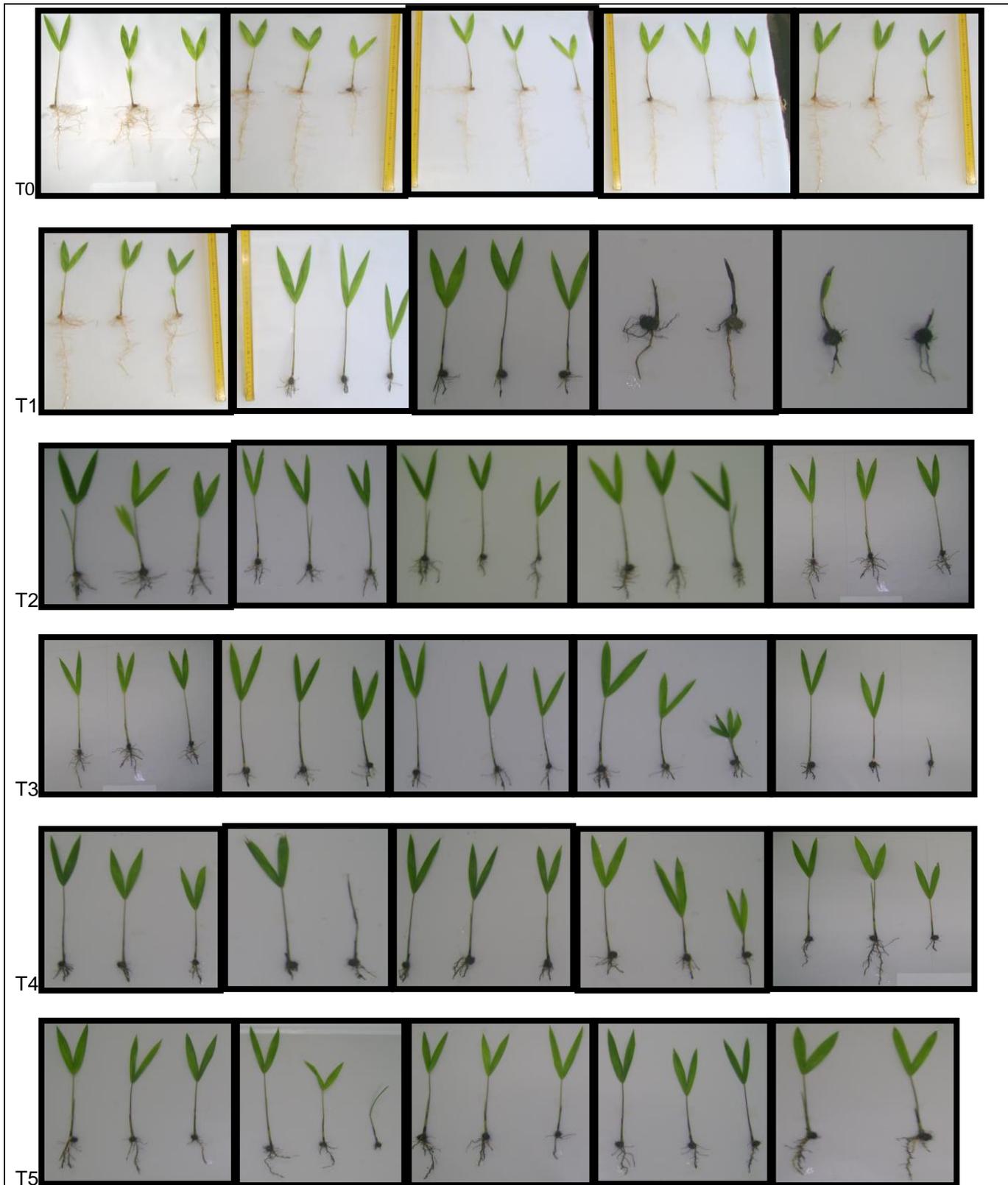
A Tabela 8 mostra que as plântulas de açazeiro apresentaram diferentes faixas de CR, onde o tratamento T0 (0% de lodo) proporcionou o maior comprimento (30,59 cm), quando comparado aos demais tratamentos.

Os tratamentos que receberam adição de lodo apresentaram atrofiamento no CR, com variação média de 4,54 cm (T5) a 8,05 cm (T4), sem diferenças significativas entre si, sendo, porém, inferiores significativamente ao tratamento testemunha (T0). Essa redução no CR, provavelmente, é devido a efeitos fitotóxicos do lodo causados por toxicidade do cromo e/ou por efeito salino. Como a fitotoxicidade ocorreu em todos os tratamentos que receberam lodo, isso indica que mesmo a dosagem de 50% não é recomendável, visto o risco de causar injúrias às plantas.

Observa-se, ainda, que os tratamentos T1 e T4 apresentaram maior CR quando comparados aos demais tratamentos com adição de lodo. Fato este, provavelmente, devido ao menor teor de Cr contido nos substratos relacionados a esses tratamentos, conforme podemos observar na Tabela 7.

Segundo Pereira e Martinez (1999), o restringimento de raízes provoca redução na oxigenação, na disponibilidade de nutrientes, água e outros elementos essenciais para o desenvolvimento das plântulas. Estes autores, também, observaram que as plantas tratadas com lodo de curtume, apresentaram hipermetrofia gradativa conforme o aumento de percentual de lodo adicionado aos tratamentos, fato atribuído à elevação do teor de cromo, como, também, ao aumento dos teores de Na. Resultados semelhantes também foram obtidos por Daudt, Gruszynski e Kampf (2007), com relação ao uso do lodo de calcário como componente de substrato para as plantas.

A Figura 15 mostra aspectos do desenvolvimento do sistema radicular das plântulas de açazeiro, no final do experimento.



**Figura 15.** Aspecto do desenvolvimento do sistema radicular em plântulas de açazeiro, cultivar BRS-Pará, aos 180 dias após semeadura. Belém, PA. 2008.

#### 4.2.4 Matéria seca (MS)

A produção média de matéria seca da raiz (MSR), parte aérea (MSPA) e total (MST) da cultivar de açaizeiro, estudada neste trabalho, não foi influenciada positivamente pela adição de lodo de curtume nos substratos formados, como mostra a Tabela 8. Pode-se verificar que todos os tratamentos que receberam lodo apresentaram redução na MSR, na MSPA e na MST, em relação à testemunha, indicando sensibilidade dessa espécie à contaminação. Somente o tratamento com 50% de lodo (T1), em todas as variáveis de matéria seca, não diferiu significativamente da testemunha.

O comportamento dos dados demonstrou que o tratamento em que se utilizou a menor dose do resíduo (T1), foi em conjunto com a testemunha (T0), o que proporcionou condições mais adequadas ao desenvolvimento das plântulas de açaizeiro, por favorecer maiores valores para os parâmetros relacionados ao desenvolvimento vegetativo e à produção.

Resultado semelhante foi obtido por Daudt, Gruszynski e Kampf (2007), que analisando o emprego dos resíduos do couro wet-blue como substrato para plantas ornamentais, constataram que as mudas mostraram boa tolerância à presença dos resíduos sólidos até fração de 50% de mistura com casca de arroz carbonizada e vermiculita superfina. Aumentando a proporção do resíduo, as plantas apresentaram tombamento, comprimento menor do sistema de raízes e menor estabilidade do torrão, que se desagregava ao ser retirada a muda para transplante. Aquino Neto e Camargo (2000) também observaram diminuição da produção de matéria seca de plantas de alface sujeitas à doses crescentes de  $\text{Cr}^{3+}$ .

Os resultados menos expressivos de desenvolvimento das plântulas de açaizeiro, encontrados nos tratamentos com lodo de curtume (Figura 15), podem ser explicados pelos elevados teores de Cr e de Na (Tabela 7). Em relação ao Na, Santos e Muraoka (1997) relatam que este elemento pode elevar o potencial osmótico da solução do substrato, diminuindo assim a energia livre da água, o que restringe a absorção de nutrientes. Corroborando com esses resultados, Larcher (2005) citou que altas concentrações de Na em plantas pode ocasionar distúrbios no balanço iônico entre K e Ca afetando, principalmente, a taxa de crescimento e a produção de matéria seca. Martines (2005), também observou limitação na produtividade de

massa seca de plantas, que poderia estar associado ao efeito do Na trocável e ao pH elevado.

Vale ainda ressaltar que no decorrer da pesquisa foi observado o endurecimento do substrato nos tratamentos com adição de lodo do caleiro, especialmente, os que receberam maior dosagem desse resíduo de curtume. Este mesmo fato foi observado por Franczac et al. (2008), em pesquisa com lodo do caleiro como substrato para produção de mudas de caroba (*Jacarandá cuspidifolia* Mart). Este fato pode estar relacionado ao teor de gordura encontrado neste resíduo e ao excesso de sais utilizados no processo de curtimento do couro.

De um modo geral, observou-se o efeito negativo do lodo de curtume no crescimento das plantas de açazeiro, aos 180 dias de idade. As concentrações excessivas de Fé, Mn e Zn existentes no lodo podem levar à inibição da atividade enzimática, com conseqüente alteração nos componentes celulares (ABREU; LOPES; SANTOS, 2007). Também, as altas concentrações de cálcio constantes no lodo, podem afetar as relações de equilíbrio com o Mg e K, reduzindo a disponibilidades destes nutrientes para as plantas (SOUZA; MIRANDA; OLIVEIRA, 2007).

A análise das variáveis de crescimento obtidas nesta pesquisa indica que o crescimento das plantas somente foi favorecido quando o substrato foi preparado com concentração de lodo do caleiro até a faixa de 50%. Para concentrações superiores a 50% tende a ocorrer à redução no crescimento das plantas.

#### 4.3 EFEITO DO LODO DE INDÚSTRIA DE CURTUME NA QUANTIDADE DE NUTRIENTES ABSORVIDOS PELAS PLÂNTULAS DE AÇAIZEIRO - CULTIVAR BRS-PA.

As variáveis químicas avaliadas na MSPA e na MSR das plântulas da cultivar de açazeiro BRS-Pará, nos diferentes tratamentos utilizados são descritas a seguir:

##### 4.3.1. Sódio total (Na)

Os teores de Na absorvido pelas plantas apresentaram aumentos significativos em relação a testemunha (T0), variando na faixa de 6,01 g kg<sup>-1</sup> (T0) a 19,69 g kg<sup>-1</sup> (T2) e 5,77 g kg<sup>-1</sup>(T0) a 9,12 g.kg<sup>-1</sup> (T3) respectivamente, na parte aérea

e radicular, sendo maior a acumulação de sódio na parte aérea (Tabela 9). É provável que isto tenha concorrido para o baixo desempenho dos tratamentos com lodo no crescimento das plantas de açaizeiro, principalmente, nos substratos que receberam doses com mais de 50% de lodo.

Estudos com lodo de curtume no solo, também aumentaram os teores de Na nos experimentos de Aquino Neto e Camargo (2000), Costa et al. (2001) e Ferreira et al. (2003). Estes autores também observaram que as plantas tratadas com lodo de curtume apresentaram hipermetrofia gradativa conforme o aumento de percentual de lodo adicionado aos tratamentos, fato atribuído à elevação do teor de cromo, como, também, ao aumento dos teores de Na. Segundo Cruz et al. (2006) a presença de  $\text{Na}^+$  e  $\text{Cl}^+$  no substrato tem ocasionado redução no crescimento dos vegetais, em virtude desses íons causarem, entre outros efeitos negativos, mudanças na capacidade das plantas em absorver, transportar e utilizar alguns dos nutrientes essenciais. De maneira geral, os sintomas de toxicidade de Na estão associados à redução no crescimento e na produção, além do amarelecimento e murchamento das plantas (KORNDÖRFER, 2006). Estes sintomas foram observados nesta pesquisa.

**Tabela 9** Composição química de plântulas de açaizeiro, cultivar BRS-Pará, aos 180 dias da semeadura. Belém, PA. 2008\*

Treatamento	Na	Ca	Mg K	Cd	Cr	Cu	Fé	Mn	Pb	Zn
----- g kg <sup>-1</sup> -----				----- mg kg <sup>-1</sup> -----						
<b>Parte aérea</b>										
TO (0% lodo)	6,01C	4,95BA	1,57B	4,02BA	ND	ND	18,60B	1064A	38,60BDAC	ND 109,37A
T1(50% lodo)	14,44BA	4,07B	1,95BA	4,03BA	ND	ND	18,08B	1124A	41,93BDAC	ND 34,17B
T2 (70% lodo)	19,69A	3,37B	1,85BA	4,60A	ND	ND	18,40B	1093A	54,52A	ND 39,75B
T3 (75% lodo)	16,37A	3,08B	1,80B	4,82A	ND	ND	37,62A	503A	49,78A	ND 35,78B
T4 (80% lodo)	16,67A	3,08B	1,92BA	4,45A	ND	ND	33,90A	3782A	51,33A	ND 21,25B
T5 (100% lodo)	15,10A	3,94B	1,73B	3,49BA	ND	ND	15,90BC	1687A	45,06BAC	ND 42,67B
<b>Raíz</b>										
TO (0% lodo)	5,77B	2,02E	1,32C	3,21BAC	ND	ND	21,10A	1080A	48,10A	ND 268,68A
T1(50% lodo)	7,62B	8,65BAC	3,27A	1,32C	ND	9,60A	21,55A	1597A	27,16DEC	ND 33,66B
T2 (70% lodo)	8,76B	6,75BDC	3,33A	1,56BC	ND	14,92A	15,98BC	1332A	28,45DEC	ND 24,54B
T3 (75% lodo)	9,12BA	10,8A	3,51A	1,56BC	ND	13,13A	20,32A	1074A	29,76BDC	ND 24,48B
T4 (80% lodo)	7,87B	9,06BA	2,87BA	1,26C	ND	8,46A	20,82A	1452A	10,24E	ND 24,79B
T5(100% lodo)	5,74B	8,22BAC	2,21BC	1,46BC	ND	15,31A	9,48B	1686A	24,12DE	39,9 33,50B

Médias seguidas pela mesma letra, na coluna, não diferem estatisticamente entre si, a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey;

\*Média de cinco repetições;

ND = Não detectado

### 4.3.2 Macronutrientes

Os teores médios de macronutrientes na parte aérea e raiz das plântulas de açazeiro podem ser observados na Tabela 9. Devido aspectos técnicos, os macronutrientes: nitrogênio (N), fósforo (P) e enxofre (S), não foram analisados neste trabalho. Os demais macronutrientes: potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), analisados nas plântulas, são descritos a seguir:

**Potássio total:** Analisando a Tabela 9, observa-se que absorção de potássio na parte aérea e radicular pelas plântulas de açazeiro não sofreu efeito significativo dos tratamentos com adição de lodo do caleiro no solo, sendo que os maiores teores de potássio foram detectados na parte aérea, variando na faixa de 3,49 g kg<sup>-1</sup>(T5) a 4,82 g kg<sup>-1</sup> (T3).

A adição de lodo ao solo causou um efeito inverso na absorção de K pelas raízes em comparação com a parte aérea, havendo redução dos valores, variando na faixa de 1,26 (T4) a 3,21 g kg<sup>-1</sup> (T0).

Todos os teores de potássio encontrados nas plantas estão abaixo daqueles considerados adequados por Dechen e Nachtigall (2007), na faixa entre 10 e 30 g kg<sup>-1</sup>.

**Cálcio e Magnésio totais:** Os teores de Ca e Mg nas raízes foram mais elevados que aqueles encontrados na parte aérea, nos tratamentos com adição de lodo (Tabela 9).

Nas raízes, todos os tratamentos com lodo obtiveram médias de cálcio que não diferiram significativamente entre si, variando de 6,75 g kg<sup>-1</sup> (T2) a 10,81 g kg<sup>-1</sup> (T3), mas foram significativamente superiores ao obtido pela testemunha (2,02 g kg<sup>-1</sup>).

Na parte aérea, a absorção de Ca, com valores entre 3,08 (T3) e 4,95 g kg<sup>-1</sup> (T0) e de Mg que variou entre 1,57 (T0) e 1,95 g kg<sup>-1</sup> (T1), não sofreu efeito significativo dos tratamentos com ou sem lodo.

Os teores de cálcio encontrado nas plantas, encontram-se abaixo dos considerados adequados (entre 10 e 50 g kg<sup>-1</sup>) por Dechen e Nachtigall (2007).

Observou-se, também, nos resultados, um determinado antagonismo entre cálcio e magnésio. Esses resultados corroboram com os encontrados por Duboc

(1994), que descreve um antagonismo entre a absorção de cálcio e magnésio, ou seja, o aumento da concentração de um desses elementos no meio implica a diminuição da absorção do outro, o que ocorreu neste trabalho.

Foi observado que nos tratamentos que receberam a mistura lodo+solo, a tendência de queda do teor de Ca na parte aérea, em relação ao tratamento testemunha. Efeito contrário foi observado com o magnésio.

De acordo com Dechen e Nachtigall (2007), os teores de magnésio nas plantas variam entre 1,0 e 10,0 g kg<sup>-1</sup>, para um crescimento e desenvolvimento normais. Nesta pesquisa, em todos os tratamentos avaliados os valores estão situados dentro da faixa de referência de concentração citada pelos referidos autores.

#### 4.3.3 Micronutrientes e/ou metais pesados

Os teores médios dos micronutrientes e/ou metais pesados analisados na parte aérea e nas raízes das plântulas de açazeiro estão apresentados na Tabela 9.

**Cádmio total:** Nesta pesquisa, a sensibilidade do equipamento de leitura não foi suficiente para detectar os teores de Cd nas raízes e na parte aérea das plântulas de açazeiro (Tabela 9). Em plantas, teores acima de 0,2 mg kg<sup>-1</sup> de Cd já são considerados tóxicos e prejudiciais (BAKER; CHESNIN, 1975), sendo que, usualmente, ocorre em maiores concentrações nas raízes para diferentes espécies vegetais (KABATA-PÊNDIAS; PÊNDIAS, 2001). Isso indica que as dosagens utilizadas nesta pesquisa não ofereceram risco de contaminação no açazeiro, para o período avaliado, com relação a esse elemento. Entretanto, isso não significa que esse elemento não estivesse presente no material vegetal, e sim que sua concentração estava abaixo de 0,2 mg kg<sup>-1</sup> nessas partes da planta.

Cunha et al. (2008), avaliando o efeito do Cd aplicado em um Argissolo Vermelho-Amarelo, no crescimento e acúmulo do mesmo em plantas de milho, concluíram que os níveis tóxicos desse metal no solo variaram de 8,7 a 13,1 mg kg<sup>-1</sup>, respectivamente, nos tratamentos com calagem e sem calagem.

**Cromo total:** O aumento dos teores de Cr total no solo, devido às dosagens de lodo de caleiro, refletiu sobre os teores deste elemento apenas nas raízes do

açazeiro, variando na faixa de 8,5 mg kg<sup>-1</sup> (T4) a 15,3 mg kg<sup>-1</sup> (T5), não sendo transferido para a parte aérea (Tabela 9), mostrando sua baixa mobilidade na planta.

O Cr absorvido permanece em maior proporção nas raízes, sendo pouco transportado à longa distância para a parte aérea (KABATA-PENDIAS; MUKHERJEE, 2007), caracterizando esse fenômeno como um mecanismo de tolerância ao excesso desse metal nas plantas (ADRIANO, 2001). Isso está de acordo com o que fora observado por outros pesquisadores, em outras culturas (TEIXEIRA, 1981; JUSTE; MENCH, 1992; CAVALLET; SELBACH; GIANELLO, 2007), os quais constataram que a maior parte de cromo total absorvido pelas plantas concentrou-se nas raízes. Nogueira et al. (2008) observaram que apesar do aumento das doses de lodo de esgoto ter promovido acúmulo de Cr nas partes das plantas, não detectou a presença de Cr na palha, no sabugo e nos grãos, mostrando sua baixa mobilidade na planta.

Castilhos, Tedesco e Vidor (2002) constataram em trabalho com aveia, que mesmo em tratamento com adição de cromo mineral não se notou translocação significativa deste metal para a parte aérea das plantas. Para Cary, Allway e Olson (1977) o cromo absorvido pelas plantas é acumulado nas raízes juntamente com o ferro trivalente, transformando-se em barreiras de translocação para a parte aérea da planta. Enquanto Berton (1989) relata que, dentro da planta, alguns metais concentram-se na raiz, não sendo assim transportados para a parte aérea.

Ainda que o acúmulo de cromo nas raízes, decorrente da baixa translocação para a parte aérea seja um consenso na maioria dos trabalhos consultados, as concentrações observadas nesta pesquisa, provavelmente, causaram toxidez no açazeiro, pois ficaram muito acima dos valores tóxicos admitidos por Chang, Granato e Page (1992) e Castilhos et al. (2001) em tecidos vegetais. Chang, Granato e Page (1992) verificaram que teores no tecido acima de 5,9 mg kg<sup>-1</sup> causaram 50% de redução no crescimento de plantas de milho, enquanto Castilhos et al. (2001) cultivando soja em solução nutritiva contendo cromo, constataram efeito tóxico quando os teores de Cr na parte aérea foram superiores a 3,4 mg kg<sup>-1</sup>. Estes autores também observaram que no sorgo a maior concentração de cromo aconteceu apenas nas raízes, não sendo transferida para a parte aérea e nem para os grãos.

**Cobre total:** O teor de cobre na parte aérea variou de 15,90 (T5) a 37,62 mg kg<sup>-1</sup> (T3), enquanto nas raízes variou na faixa de 9,48 (T5) a 21,55 mg kg<sup>-1</sup> (T1). De

acordo com Malavolta, Vitti e Oliveira (1997) e Dechen e Nachtigall (2007) os teores de cobre nos tecidos vegetais considerados adequados para um crescimento normal das plantas ficam entre 5,0 e 20,0 mg kg<sup>-1</sup>. Sendo assim, alguns teores encontrados neste trabalho, tanto na parte aérea (T3 e T4) quanto nas raízes (T0, T1, T3 e T4), estão acima desses limites. Este elemento, geralmente, ocorre em maiores concentrações nas raízes, com quantidades moderada a grande na parte aérea (KABATA-PENDIAS; PENDIAS, 2001). Efeito contrário foi observado nesta pesquisa, pois os tratamentos que receberam as doses de lodo acima de 50% apresentaram maiores concentrações de Cu na parte aérea.

**Ferro total:** Na Tabela 9 estão apresentados os teores de ferro absorvidos na parte aérea e nas raízes das plantas de açaizeiro, obtidas ao final do experimento, aos 180 dias da semeadura.

A adição de lodo não afetou significativamente os teores de Fe nas partes estudadas da planta. Na parte aérea, os teores de Fe oscilaram entre 503,0 (T3) a 1687,0 mg kg<sup>-1</sup> (T5), enquanto nas raízes, variaram entre 1074,0 (T3) a 1686,0 mg kg<sup>-1</sup> (T5). Esses teores estão acima dos valores de 50 mg kg<sup>-1</sup> a 250 mg kg<sup>-1</sup>, considerados adequados, conforme recomendação de Malavolta, Vitti e Oliveira (1997) e estabelecidos pelo Instituto Agrônomo de Campinas – IAC (RAIJ et al., 1996). Para Dechen e Nachtigall (2007) as concentrações de ferro nas plantas consideradas adequadas variam entre 50 e 100 mg kg<sup>-1</sup>. Todos os tratamentos apresentaram teores muito acima dos limites considerados adequados por esses autores. Portanto, os teores elevados de Fe nas raízes e na parte aérea, pelo excesso desse elemento no lodo pode ser, também, uma das possíveis causas de toxidez para o açaizeiro.

**Manganês total:** O comportamento do manganês, na parte aérea e radicular das plântulas de açaizeiro, nos diferentes tratamentos, não seguiu um padrão definido (Tabela 9). Os maiores teores deste elemento foram obtidos na parte aérea das plântulas, apresentando a seguinte ordem decrescente de concentração: T2>T4>T3>T5>T1>T0, sem diferenças significativas entre si.

Nas raízes, o tratamento testemunha (T0) foi o mais eficiente na absorção de Mn (48,10 mg.kg<sup>-1</sup>), superando estatisticamente os valores correspondentes aos tratamentos com lodo, que variaram de 10,24 mg kg<sup>-1</sup> (T4) a 29,74 mg kg<sup>-1</sup> (T3).

Os teores de manganês na matéria seca de açazeiro obtidos neste trabalho encontram-se dentro dos limites críticos descritos por Raij (1991), que vão de 15 a 200 mg kg<sup>-1</sup>, e não ultrapassam os limites propostos por Malavolta, Vitti e Oliveira (1997), entre 50 a 150 mg kg<sup>-1</sup>.

**Chumbo total (Pb):** Pelos resultados mostrados na Tabela 9, pode-se observar que o teor de Pb na parte aérea e radicular do açazeiro não foi detectado pela sensibilidade de leitura do aparelho, exceto o tratamento T5, que apresentou uma concentração de 39,9 mg kg<sup>-1</sup> na raiz. Este valor está dentro da faixa de valores considerados não tóxicos às plantas (30 a 300 mg.kg<sup>-1</sup>) por Kabata-Pendias e Pendias (2001). Segundo Parmigiani e Midio (1995), o Pb presente no solo, apesar de pouco disponível, em função da sua baixa hidrossolubilidade, pode ser transferido para os vegetais, sendo que as raízes retêm maiores quantidades do elemento do que a parte aérea.

**Zinco total:** Com relação ao elemento zinco, o maior acúmulo deste metal ocorreu no tratamento T0, tanto na parte aérea quanto na raiz do açazeiro, com 109,37 mg.kg<sup>-1</sup> e 268,68 mg kg<sup>-1</sup>, respectivamente, diferindo estatisticamente dos demais tratamentos analisados (Tabela 9). Contudo, estes valores ficaram abaixo do limite de concentração máximo sugerido por Mattiazzo-Prezotto (1994). Em conformidade com esta autora, de modo geral, pode-se dizer que o conteúdo de Zn em plantas é considerado deficiente quando é <10-20 mg kg<sup>-1</sup>) na matéria seca. Níveis normais ocorrem entre 25-150 mg kg<sup>-1</sup> e níveis tóxicos ocorrem quando a concentração de zinco é maior que 400 mg kg<sup>-1</sup>. 7

Nos tratamentos que receberam lodo, observou-se que o comportamento do zinco, na parte aérea e radicular das plântulas de açazeiro, não seguiu um padrão definido, não havendo diferenças significativas entre eles. A maior acumulação de Zn nos tratamentos com lodo ocorreu na parte aérea, com maior teor deste elemento no T5 (42,67 mg kg<sup>-1</sup>). De acordo com Kabata-Pendias e Pendias, (2001) este elemento distribui-se de maneira mais ou menos uniforme pela planta. Os incrementos na parte aérea, nos tratamentos que receberam adição de lodo, mostram a capacidade de mobilidade desse elemento na planta (BERTON, 2000).

#### 4.4 POTENCIAL FITORREMEIADOR DO AÇAIZEIRO, CULTIVAR BRS-PA

A cultivar BRS-Pará de açaizeiro utilizada na pesquisa não apresentou uma ação positiva como planta fitorremediadora, pois teve o seu crescimento prejudicado pelos altos teores absorvidos de elementos considerados fitotóxicos.

Uma planta acumuladora possui as seguintes características: alta taxa de acumulação, mesmo em baixas concentrações do contaminante, capacidade de acumulação concomitante de diversos contaminantes, alta taxa de crescimento e produção de biomassa, resistência a pragas e doenças, capacidade de absorção e concentração e tolerância ao contaminante (WATANABE, 1997; ACCIOLY; SIQUEIRA, 2000). Plantas com potencial de uso como fitoextratoras devem conter ( $\text{mg kg}^{-1}$  de massa seca); >10000 de Zn e Mn, > 1000 de Pb, Ni e Cu, e > de 100 de Cd (RASKIN et al., 1994).

## 5 CONCLUSÕES

- O lodo de calcário promoveu redução na acidez do solo e aumentou acentuadamente os teores de matéria orgânica, nitrogênio, potássio, sódio, cálcio, magnésio, cádmio, cromo, ferro, manganês, chumbo e zinco existentes no substrato;
- Os elementos sódio, ferro e cromo, foram absorvidos em quantidades superiores àquelas consideradas adequadas, o que pode ter ocasionado problemas de fitotoxicidade, com conseqüências na redução do crescimento das plantas;
- A planta de açazeiro não exerceu ação positiva como fitorremediadora, uma vez que a absorção em excesso de determinados elementos poluidores do meio ambiente, provocou redução do crescimento;
- O lodo de curtume utilizado, influenciou negativamente na fertilidade do solo, criando condições desfavoráveis ao crescimento das plantas.

## REFERÊNCIAS

- ABREU, C. A.; LOPES, A. S.; SANTOS, G. Micronutrientes. In: NOVAIS, R. F. et al. (Ed.) **Fertilidade do solo**. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p.645-736.
- ACCIOLY, A.M. de A.; SIQUEIRA, J.O. Contaminação química e biorremediação do solo. In: NOVAIS, R.F.; ALVAREZ V.V.H.; SCHAEFER, C.E.G.R. (Ed.). **Tópicos em ciência do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, v.1, 2000. p.299-352.
- ADRIANO, D.C. **Trace elements in terrestrial environments: Biogeochemistry, bioavailability, and risks of metais**. 2.ed. New York: Springer-Verlag, 2001. 867p.
- ADZET, J.M. **Química técnica de teneria**. Barcelona: Bosch, 1985. 763p.
- ALBUQUERQUE, J.A.; BAYER, C.; ERNANI, P.R.; MAFRA A.L.; FONTANA, E.C. Aplicação de calcário e fósforo, estabilidade e estrutura de um solo ácido. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.27, n.5, p.799-806, set./out. 2003.
- ALCÂNTARA, B.N. de. **Aspectos produtivo-comerciais da cadeia do couro bovino na Região Metropolitana de Belém**. 2005. 53f. Monografia (Especialização em Gestão de Agronegócio) - Universidade do Estado do Pará, Belém. 2005.
- ALCANTARA, M.A.K.; AQUINO NETO, V.; CAMARGO, O.A.; CANTARELLA, H.; Mineralização do Nitrogênio em solos tratados com lodo de curtume. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.42, n.4, p.547-555, abr. 2007.
- ALLOWAY, B.J. **Heavy metals in soils**. London: Blackie A & P, 1995. 368p.
- ALVAREZ-BERNAL, D.; CONTRERAS-RAMOS, S.M.; TRUJILLO-TAPIA, N.; OLALDE-PORTUGAL, V.; FRÍAS-HERNÁNDEZ, J.T.; DENDOOVEN, L. Effects of tanneries wastewater on chemical and biological soil characteristics. **Applied Soil Ecology**, v.33, p.269-277, out. 2006.
- ANANIAS, E.A.; PACCA, S.A. Environmental Technology for Tanneries and their Adequacy for Projects of Clean Development Mechanism (CDM). In: 2nd INTERNATIONAL WORKSHOP ADVANCES IN CLEANER PRODUCTION, 2009. São Paulo: Universidade de São Paulo. **Anais...** São Paulo, 2009. 10p. Disponível em: <http://www.advancesincleanerproduction.net/second/files/sessoes/5b/1/E.%20A.%20nancias%20-%20Resumo%20Exp.pdf>. Acesso em: 20 nov.2009.
- ANDERSON, R. Processos de ribeira. **Revista do Couro**, Estância Velha, p.63, 1993.
- ANDRADE, J.C. da M. **Fitotransporte de metais em espécies arbóreas e arbustivas em aterro de resíduos sólidos urbanos**. 2005. 256f. Tese (Doutorado em Geotecnia Ambiental) – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro. 2005.
- AQUINO NETO, V. de; CAMARGO, O.A. de. Crescimento e acúmulo de cromo em alface cultivada em dois Latossolos tratados com CrCl<sub>3</sub> e resíduos de curtume. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.24, p.225-235, 2000.
- ARCHETI, E.A.M.E.; SALVADOR, N.N.B. Minimização dos resíduos industriais de curtumes em Franca-SP. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE QUALIDADE

AMBIENTAL – GERENCIAMENTO DE RESÍDUOS E CERTIFICAÇÃO AMBIENTAL, 2. 1998, Porto Alegre. **Anais...** Porto Alegre, 1998. v.1, p.26-31.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 10004/2004**: resíduos sólidos – Classificação. Rio de Janeiro, 2004. Disponível em: <<http://www.abnt.org.br/m5.asp>>. Acesso em: 10 jul. 2009.

AZEVEDO, P.F. de. Competitividade da cadeia produtiva do couro e calçados. In: FÓRUM DE COMPETITIVIDADE DA CADEIA PRODUTIVA DO COURO E CALÇADOS, 2002, Brasília. **Resumos...** Brasília: Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior. Secretaria do Desenvolvimento da Produção, 2002. 89p.

BAÍA, P. di P.S.; ALVES, R. de F.T. **Avaliação da eficiência da estação de tratamento de esgoto de uma indústria de curtume no Distrito de Icoaraci - Belém**. 2004. 62f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Ambiental) - Universidade do Estado do Pará, Belém. 2004.

BAILEY, D.A.; NELSON, P.V.; FONTENO, W.C. **Substrate pH and water quality**. Raleigh: North Carolina State University, 2000. Disponível em: <<http://www.ces.ncsu.edu/depts/hort/floriculture/plugs/ph.pdf>>. Acesso em: 10 ago. 2007.

BAKER, D.E.; CHESNIN, L. Chemical monitoring of soils for environmental quality and animal and human health. **Advances in Agronomy**, New York, v.27, p.306–366, 1975.

BARBOSA, G.M.C.; TAVARES FILHO, J.; FONSECA, I.C. de B. Propriedades químicas de um Latossolo Vermelho Eutroférico após aplicação por dois anos consecutivos de lodo de esgoto. **Acta Scientiarum**: Maringá, v.24, n.5, p.1501-1505, 2002.

BARROS, M.A.S.D. de; ARROYO, P.A.; TAVARES, C.R.G.; SOUSA-AGUIAR, E.F. Ion Exchange of NaY Zeolite with  $\text{Cr}^{3+}$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  and  $\text{K}^{+}$  ions. In: ENCONTRO BRASILEIRO SOBRE FUNDAMENTOS DE ADSORÇÃO, 5, 2004. Natal. **Anais...** Natal: Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 2004. p.114-115.

BARTLETT, R.J.; JAMES, B.R. Mobility and bioavailability of chromium in soils. In: NRIAGU, J.O.; NIEBOER, E., (Ed). **Chromium in the natural and human environments**. New York: John Wiley & Sons, 1988. p.267-304.

BAYER, V. **Estudo da extração de cromo hexavalente, pela técnica de membranas líquidas surfatantes, visando o tratamento de efluentes líquidos de curtumes**. 2005. 126f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte. 2005.

BELGIORNO, V.; FEO, G. de; ROCCA, C.D.; NAPOLI, R.M.A. Energy from gasification of solid wastes. **Waste Management**, v.23, n.1, p.1-15, 2003.

BENINCASA, M.M.P. **Análise de crescimento de plantas: noções básicas**. Jaboticabal: FUNEP, 2003. 41p.

BERGMANN, W. **Nutritional disorders o plants: development, visual and analytical diagnosis**. New York:G.Fisher, 1992. 741p.

BERTIN, E.G.; BELLINGIERI, P.A. Efeito da aplicação de lodo de esgoto, escória de aciaria e calcário nas propriedades químicas de um solo cultivado com milho (*Zea mays* L.). **Científica**, Jaboticabal, v.31, n.1, p.81-89, 2003.

BERTON, R. S. Especificação iônica da solução do solo. In: DECHEN, A.R.; CARMELLO, Q.A.C.; FLOSS, E.L. (Org.). **Simpósio Avançado de Solos e Nutrição de Plantas**, 2. 1 ed. Piracicaba: Fundação Cargill, 1989, v.1, p.17-41.

BERTON, R. S. Riscos de contaminação do agroecossistema com metais pesados. In: BETTIOL, W.; CAMARGO, O.A., (Ed.). **Impacto Ambiental do Uso Agrícola de Resíduo de Esgoto**. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2000. p.259-268.

BETTIOL, W.; CAMARGO, O.A. Impacto ambiental do uso agrícola do lodo de esgoto. In: BETTIOL, W.; CAMARGO, O.A., (Ed.). **Impacto Ambiental do Uso Agrícola de Resíduo de Esgoto**. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2000. p.109-14.

BORGES, J.D. **Efeitos do lodo de curtume nas culturas do milho (*Zea mays*L.) e do capim braquiarião [*Brachiaria brizanta*(Hochst ex A. Rick) Sapf.] cultivar Marandu em Latossolo Vermelho-Amarelo**. 2003. 244f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Escola de Agronomia e Engenharia de Alimentos, Universidade Federal de Goiás, Goiânia. 2003.

\_\_\_\_\_; BARROS, R.G.; SOUZA, E.R.B. de; OLIVEIRA JÚNIOR, J.P. de; LEANDRO, W.M.; OLIVEIRA, I.P. de; CARNEIRO, M. de F.; NAVES, R.V.; SONNENBERG, P.E. Teores de micronutrientes nas folhas de milho fertilizadas com lodo de curtume. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v.23, n.2, p.1-6, apr./june 2007.

BOWDEN, W. Gasification-achieving zero waste. **Journal of the American Leather Chemists Association**, v.98, p.19-25, 2003.

BRAILE, P.M.; CAVALCANTI, J.E.W.A. Curtumes. In: BRAILE, P.M.; CAVALCANTI, J.E.W.A **Manual de tratamento de águas residuárias industriais**. São Paulo: CETESB, 1993. cap.11, p.233-278.

BRASIL. CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. Resolução 313, de 29 de outubro de 2002. **Diário Oficial da União**, Brasília, n.226, p.85-91, 22 nov. 2002.

\_\_\_\_\_. **Manual de Orientação da Relação Anual de Informações Sociais do Ministério do Trabalho e Emprego – RAIS/MTE**. Brasília: Ministério do Trabalho e Emprego, 2006, 48p. Disponível em: <<http://www.mte.gov.br/PDET/Acesso/RaisOnLine.asp>>. Acesso em: 23 out. 2007.

BRITO, A.L.F. de. **Codisposição de resíduos sólidos urbanos e resíduos sólidos de indústria de curtume**. 1999. 131f. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento e Meio Ambiente) - Universidade Estadual da Paraíba, Universidade Federal da Paraíba, Campina Grande. 1999.

CABRERA, F.; DIAZ, E.; MADRID, L. Effect of using urban compost as manure on soil contents of some nutrients and heavy metals. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v.47, p.159-169, 1989.

CALZAVARA, B.B.G. As possibilidades do açazeiro no Estuário Amazônico. **Boletim da Faculdade de Ciências Agrárias do Pará**, Belém: FCAP, 1972. n.5, 103 p.

CARVALHO, M.F. de C. Gerenciamento de Resíduo na Indústria. **Revista do Couro**, Estância Velha: ABQTIC, p.15-18, 1993.

CARY, E.E.; ALLAWAY, W.H.; OLSON, O.E. Control of chromium concentration in food plants. 1. Absorption and translocation of chromium by plants. **J. Agric. Food Chem.**, v.25, p.300-304, 1977.

CASTILHOS, D.D. **Alterações químicas e biológicas do solo resultante da adição de resíduos de curtume e cromo hexavalente**. 1998. 194f. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. 1998.

CASTILHOS, D.D.; GUADAGNIN, C.A.; SILVA, M.D. da; LEITZKE, V.W.; FERREIRA, L.H.; NUNES, M.C. Acúmulo de Cromo e seus Efeitos na Fixação Biológica de Nitrogênio e Absorção de Nutrientes em Soja. **Revista Brasileira de Agrociência**, v.7 n.2, p.121-124, mai./ago. 2001.

CASTILHOS, D.D.; TEDESCO, M.J.; VIDOR, C. Transformações biológicas do solo decorrentes da adição de resíduos de curtume e de cromo hexavalente. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 27., 1999, Brasília. **Anais...** Brasília: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1999. CD-ROM.

\_\_\_\_\_. TEDESCO, M.J.; VIDOR, C. Rendimento de culturas e alterações químicas do solo tratado com resíduos de curtume e cromo hexavalente. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.26, n.4, p.1083-1092, 2002.

\_\_\_\_\_. VIDOR, C.; CASTILHOS, R.M.V. Atividade microbiana em solo suprido com lodo de curtume e cromo hexavalente. **Revista Brasileira de Agrociência**, v.6, n.1, p.71-76. Jan./abr., 2000.

CAVALCANTE, P.B. **Frutas Comestíveis da Amazônia**. 5.ed. Belém: Museu Paraense Emílio Goeldi, 1991. 279 p.

CAVALLET, L.E. **Descarte em solo de lodo oriundo de tratamento primário de água residuária de curtume**. 1992. 91f. Dissertação (Mestrado em Microbiologia agrícola e do Ambiente) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. 1992.

CAVALLET, L.E.; SELBACH, P.A.; GIANELLO, C. Concentração de cromo no sistema.solo-planta-percolado em função da aplicação de resíduos de curtume em um argissolo de estância velha (RS). **Scientia Agraria**, Curitiba, v.8, n.1, p.87-93, 2007.

CHANG, A.C.; GRANATO, T.C.; PAGE, A.L.A methodology for establishing phytotoxicity criteria for chromium, copper, nickel and zinc in agricultural land application of municipal sewage sludge. **Journal of Environmental Quality**, Madison, v.21, n.4, p.521-536, 1992.

CLAAS, I.C. **Lodos ativados: princípios teóricos fundamentais, operação e controle**. 2007. 145p.

CLAAS, I.C.; MAIA, R.A.M. **Manual básico de resíduos industriais de curtumes**. Porto Alegre: SENAI, 1994. 664p.

COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL- CETESB. **Notatécnica sobre tecnologia de controle de curtumes – NT 14**. São Paulo, 1989. 33 p.

COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL- CETESB. **Decisão de Diretoria Nº 195-2005-E, de 23 de novembro de 2005**. Anexo único. Valores Orientadores para solos e águas subterrâneas no Estado de São Paulo. 2005. Disponível em: <<http://www.cetesb.org.br>>. Acesso em: 16 dez. 2007.

CORRÊA, A.R.; ROSA, S.E.S. da. **A indústria de curtumes no Brasil**. Rio de Janeiro: BNDES Setorial, n.3, 2007. Disponível em: <<http://www.bnds.gov.br>>. Acesso em: 29 set. 2008.

COSTA, A.C.S. da; LOPES, L.F.; D'OLIVEIRA, P.S.; SILVA, M.A.G. da, GIL, L.G.; ROCHA, R.A.A. Removal of Fe and Zn from strong acid industrial residues with iron oxides. In: ASA-CSSASSA ANNUAL MEETINGS, 2002, Indianapolis. **Proceedings...** Indianapolis: Madison-WI, 2002, v.1, p.278-278.

COSTA, C. das N.; CASTILHOS, D.D.; CASTILHOS, R.M.V.; KONRAD, E.E.; PASSIANOTO, C.C.; RODRIGUES, C.G. Efeito da adição de lodos de curtime sobre as alterações químicas do solo, rendimento de matéria seca e absorção de nutrientes em soja. **Revista Brasileira de Agrociência**, Pelotas, v.7, n.3, p.189-191, set./dez. 2001.

COSTA, S.M.S.P. da. **Avaliação do potencial de plantas nativas do Brasil no tratamento de esgoto doméstico e efluentes industriais em "wetlands" construídos**. 2004. 119p. Tese (Doutorado em Engenharia Química) - Universidade Estadual de Campinas, Campinas. 2004.

CRUZ, J.L.; PELACANI, C.R.; COELHO, E.F.; CALDAS, R.C.; ALMEIDA, A.Q. de; QUEIROZ, J.R. de. Influência da salinidade sobre o crescimento, absorção e distribuição de sódio, cloro e macronutrientes em plântulas de maracujazeiro amarelo. **Bragantia**, Campinas, v.65, n.2, p.275-284, 2006.

CULTRI, C. do N.; ALVES, V.C. A importância da visão sistêmica para articular ações ambientais na cadeia produtiva coureiro-calçadista: uma discussão sobre os resíduos do couro. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE SISTEMAS, 4, 2008, Franca. **Anais...** Franca: Centro Universitário, 2008. Disponível em: <[http://www.facef.br/quartocbs/artigos/B/B\\_129.pdf](http://www.facef.br/quartocbs/artigos/B/B_129.pdf)>. Acesso em: 13 fev. 2009.

CUNHA, P.V.C.; NASCIMENTO, C.W.A.; PIMENTEL, R.M.M.; ACCIOLY, A.M.A.; SILVA, A.J. Disponibilidade, acúmulo e toxidez de cádmio e zinco em milho cultivado em solo contaminado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. Viçosa, MG. V.32, p.1319-1328, 2008.

CUTTING, N. Interrupção da putrefação do couro desde a matéria-prima até o produto acabado. **Revista do Couro**, Estância Velha: ABQTIC, p.29-23, fev.1992.

DAUDT, R.H.S.; GRUSZYNSKI, G.C.; KÄMPF, A.N. Uso de resíduos de couro *wet-blue* como componente de substrato para plantas. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.37, n.1, p.91-96, 2007.

DECHEN, A.R.; NACHTIGALL, G.R. Elementos requeridos à nutrição de plantas. In: NOVAIS, R.F.; ALVAREZ, V.V.H.; BARROS, N.F.; FONTES, R.L.F.; CANTARUTTI, R.B.; NEVES, J.C.L. (eds). **Fertilidade do Solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p.92-132.

DE LA PEÑA, I. **Salinidad de los Suelos Agrícolas**: Sua origem, classicacion, Prevencion y Rehabilitacion. SARH. 1996. (Boletín Técnico, 10).

DI IACONI, C.; LOPEZ, A.; RAMADORI, R.; DIPINTO, A.C.; PASSINO, R. Combined chemical and biological degradation of tannery wastewater by periodic submerged filter (SBBR). **Water Research**, v.36, p.2205-2214, 2002.

DUBOC, E. **Requerimentos nutricionais de espécies nativas: *Hymenaea courbaril* L. var. *Stilbocarpa* (Hayne) Lee et Lang. (Jatobá), *Copaifera langsdorffii***

Desf. (Óleo de copaíba) e *Peltophorum dubium* (Spreng) Taub. (Canafístula). 1994. 68p. Dissertação (Mestrado em Solos) – Universidade Federal de Lavras, Lavras – MG. 1994.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA- EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de métodos de análise de solo**.2.ed. Rio de Janeiro: Embrapa, 1997. 212 p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA- EMBRAPA. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**.2.ed. Rio de Janeiro: Embrapa, 2006. 412p.

\_\_\_\_\_. Açaí melhor e mais produtivo. **Jornal do Trópico Úmido**, Belém,n.45, p.4-5, 2004.

ERNANI, P.R. **Utilização de materiais orgânicos e adubos minerais na fertilização do solo**. 1981. 82p. Dissertação de Mestrado- Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. 1981.

\_\_\_\_\_. **Química do solo e disponibilidade de nutrientes**. Lages:O autor, 2008. 230p.

\_\_\_\_\_. ALMEIDA, J.A. de; SANTOS, F.C. dos. Potássio. In: NOVAIS, R.F.; ALVAREZ V.V.H.; BARROS, N.F.; FONTES, R.L.F.; CANTARUTTI, R.B.; NEVES, J.C.L. (Ed.). **Fertilidade do Solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p.551-594.

FARIAS NETO, J.T. de; MÜLLER, C.H.; MÜLLER, A.A.; CARVALHO, J.E.U. de; VIEGAS, I. de J.M. Sistema de produção do açaí. Embrapa Amazônia Oriental. 2006. Disponível em: <http://www.sistemadeproducao.cnpat.embrapa.br/FontesHTML/Acai/SistemaProducaoAcai>> Acesso em: 29 dez. 2008.

FAUSTINO, R.; KATO, M.T.; FLORÊNCIO, L.; GAVAZZA, S. Lodo de esgoto como substrato para produção de mudas de *Senna siamea*. Lam. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.9, p.278-282, 2005. Suplemento

FAVARETTO, N.; DESCHAMPS, C.; MAHO, A.C.X. Efeito do lodo de esgoto na fertilidade do solo e no crescimento e produtividade do milho. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 26, 1997, Rio de Janeiro, **Anais...** Rio de Janeiro:Sociedade Brasileira de Ciência de Solo, 1997, p.132-135.

FERMINO, M.H. **Aproveitamento de resíduos industriais e agrícolas como alternativas de substratos hortícolas**. 1996. 90f. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia)- Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. 1996.

FERREIRA, A. de S.; CAMARGO, F.A. de O.; TEDESCO, M.J.; BISSANI, C.A. Alterações de atributos químicos e biológicos de solo e rendimento de milho e soja pela utilização de resíduos de curtume e carbonífero. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.27, n.4, p.755-763, jul./ago. 2003.

FIGLIOLIA, A.; BENEDETTI, A.; DELL'ABATE, M.T.; IZZA, C.; INDIATI, R. Potential chromium bio-availability by *Lactuca sativa* grown on two soils amended with tannery leather residues. **Fresenius Environmental Bulletin**, v.1, p.406-410, 1992.

FORTES NETO, P.; CARDOSO, E.J.B.N. Avaliação da aplicação do lodo da indústria de papel e celulose sobre as características químicas e a atividade microbiana do solo e o rendimento da matéria seca do milho. In: CONGRESSO

BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 27., 1999, Brasília., **Anais...**Brasília:Sociedade Brasileira de Ciência de Solo, 1999, p.48-52.

FORTES NETO, P.; CAVALLET, L.E.; SELBACH, P.A. Microorganismos do solo em função da incorporação de lodo de curtume como cromo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 23., Porto Alegre, 1991. **Anais...** Porto Alegre, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1991. p.309.

FRANCZAK, D.D.; RONDON NETO, R.M.; ROSA, T. de F. de D.; LIMA, V.S. de. Adição de dosagens de lodo de curtume em substrato comercial para produção de mudas de caroba (*Jacaranda Cuspidifolia* Mart.). In: ENCONTRO NACIONAL SOBRE SUBSTRATOS PARA PLANTAS E MATERIAIS REGIONAIS COMO SUBSTRATO, 6., Fortaleza, 2008. Fortaleza. **Anais ...** Fortaleza:Embrapa/Universidade Federal do Ceará, 2008.disponível em: <[http://www.cnpat.embrapa.br/viensub/Trab\\_PDF/sub\\_13.pdf](http://www.cnpat.embrapa.br/viensub/Trab_PDF/sub_13.pdf)> Acesso em: 21 jun. 2009.

FREITAS, E.V. de S.; NASCIMENTO, C.W.A. do; BIONDI, C.M.; SILVA, J.P.S. da; SOUZA, A.P. de. Dessorção e lixiviação de chumbo em espodossolo tratado com agentes quelantes. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.33, p.517-525, 2009.

GAMA, J.R.V.; BOTELHO, S.A.; BENTES-GAMA, M. de M. Composição florística e estrutura da regeneração natural de floresta secundária de várzea baixa no estuário Amazônico. **Revista Árvore**, Belém, v.26, n.5, p.559-566, 2002.

GANTUSS, C.A.R. **Caracterização física e química de locais de ocorrência do açazeiro (*Euterpe oleracea*, Mart) no Estado do Amapá e sua relação com o rendimento e qualidade do fruto**. 2006. 79f. Dissertação (Mestrado em Agronomia). Universidade Federal da Paraíba, Areia. 2006.

GAUGLHOFER, J. Environmental aspects of tanning with chromium.**Journal of the Society Leather Technologists and Chemists**, v.70, p.11-13, 1985.

GERMANN, H. P. Chrome tannage from the viewpoint of ecology.**Journal of the Society of Leather Trades' Chemists**,United Kingdom, v. 79, n.15, p.82-85, 1985.

GODINHO, M. **Gaseificação e combustão de resíduos sólidos da indústria calçadista**. 2006. 95f. Tese (Doutorado em Engenharia) – Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. 2006.

GRATÃO, P.L.; PRASAD, M.N.V.; CARDOSO, P.F.; LEA, P.J.; AZEVEDO, R.A. Phytoremediation: green technology for the clean up of toxic metals in the environment. **Brazilian Journal of Plant Physiology**, Brasília, v.17, n.1, p.53-64, 2005.

GUTTERRES, M. Alternativas para destinação do resíduo da rebaixadeira do couro wet-blue. **Revista do Couro**, Estância Velha: ABQTIC, 1996.

HENDERSON, A.; GALEANO, G. **Euterpe, Prestoea, and Neonicholsonia (Palmae: Euterpeinae)**. New York :New York Botanical Garden, 1996. 90p. (Flora Neotropica, 72).

INSTITUTO AGRONÔMICO DE CAMPINAS- IAC. **Açaí(*Euterpe oleracea* Mart.)**. Centro Avançado de Pesquisa Tecnológica do Agronegócios de Frutas. 1998. 4p. (Boletim IAC, 200). disponível em:

<<http://www.iac.sp.gov.br/Centros/Fruticultura/FRUTEIRAS/acai.htm>>. Acesso em: 21 jun. 2007.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA- IBGE. **Sistema IBGE de recuperação automática**. Relatório/abril de 2006 a março de 2007. MT-4.858.878. disponível em:

<<http://www.sidra.ibge.gov.br/bda/tabela/protabe.asp?z=&0=21&j=p>>. Acesso em: 18 dez. 2007.

JAHNEL, M.C. **Método de plaqueamento por gotas e outros parâmetros microbiológicos na avaliação da degradação de lodo ativado de curtume em solos**. 1997. 79f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba. 1997.

JARDIM, M.A.G.; ANDERSON, A.B. Manejo de populações nativas de açazeiro (*Euterpe oleracea* Mart.) no estuário amazônico: resultados preliminares. **Boletim de Pesquisa Florestal**, Curitiba, n.15, p.1-19, dez. 1987.

JARDIM, M.A.G.; OHASHI, S.T.; NOGUEIRA, O.L. **Cartilha Informativa sobre a palmeira açai (*Euterpe oleracea* Mart.)**. Belém: MPEG, 1995, 11p.

JUSTE, C; MENCH, M., Long-Term Application of Sewage Sludge and Its Effects on Metal Uptake by Crops. In: Adriano, D.C. (Ed.) **Biogeochemistry of Trace Metals**. Boca Raton: Lewis Publishers, 1992. p.159–193.

KABATA-PENDIAS, A.; MUKHERJEE, A.B. **Trace elements from soil to human**. New York:Springer, 2007. 450p.

\_\_\_\_\_ ; PENDIAS, H. **Trace elements in soils and plants**.3.ed. Boca Raton: CRC Press, 2001. 413p.

\_\_\_\_\_. PENDIAS, H. **Trace elements in soils and plants**.3.ed. Boca Raton: CRC Press, 1992. 315p.

KÄMPF, A.N. Seleção de materiais para uso como substrato. In: KÄMPF, A.N.; FERMINO, M.H. (Ed.). **Substrato para plantas: a base da produção vegetal em recipientes**. Porto Alegre: Gênese, 2000. p.139-145.

KONRAD, E.E.; CASTILHOS, D.D. Alterações químicas do solo e crescimento do milho decorrentes da adição de lodos de curtume. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.26, n.1, p.257-265, 2002.

KORNDÖRFER, G.H. Elementos benéficos. In: FERNANDES, M.S.F. (Ed). **Nutrição mineral de plantas**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2006. p. 355-374.

KORNDÖRFER, G.H. Elementos benéficos. In: NOVAIS, R.F. et al. (Eds.) **Fertilidade do solo**. Viçosa, MG: SBCS, 2007. cap. XIV, p.355-374.

LARCHER, W. **Ecofisiologia vegetal**. Tradução de C.H.B.A. Prado. Rima. 2005. 531p.

LASAT, M.M. Phytoextraction of toxic metals: A review of biological mechanisms. **Journal of Environmental Quality**, Madison, v.31, p.109-120, 2002.

LIMA, V.S. de. **Atributos de um Plintossolo em função do lodo de curtume**. 2009. 49f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais e Ambientais) – Faculdade de Engenharia Florestal, Universidade Federal de Mato Grosso. 2009.

LIMA, R.R.; COSTA, J.P.C. da. **Registro de introduções de plantas de cultura pré-colombiana coletadas na Amazônia Brasileira**. Belém: Embrapa-CPATU, 1991. 191p. (Documentos, 58).

LUCA, S.J. de; IDE, C.N.; DEUS, A.B.S. de. O uso de lodo de curtume. In: CONGRESSO DA UNIÃO INTERNACIONAL DOS QUÍMICOS DA INDÚSTRIA DO COURO, 22. 1993, Porto Alegre. **Anais...**Porto Alegre: Associação das Indústrias de Curtume do Rio Grande do Sul, 1993, v.2, p.313-315.

McBRIDE, M.B. **Environmental chemistry of soils**. New York:Oxford, 1994. 406p.

McGRATH, S.P., SMITH, S. Chromium and nickel. In: ALLOWAY. B.J. (Ed.). **Heavy metals in soils**. New York: John Wiley, 1990. p.125-150.

MALAVOLTA, E. **Manual de química agrícola: adubos e adubações**. 2.ed. São Paulo: Ceres, 1967. 606p.

\_\_\_\_\_. **Manual de química agrícola: nutrição de plantas e fertilidade do solo**. São Paulo: Ceres, 1976. 528p.

MALAVOLTA, E. **Manual de nutrição mineral de plantas**. São Paulo: Ceres. 2006. 638p.

\_\_\_\_\_. VITTI, G.C.; OLIVEIRA, S.A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. 2.ed. Piracicaba: Potafos, 1997. 319p.

MARTINES, A.M. **Impacto do lodo de curtume nos atributos biológicos e químicos do solo**. 2005. 74f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 2005.

\_\_\_\_\_. ANDRADE, C.A. de; CARDOSO, E.J.B.N. Mineralização do carbono orgânico em solos tratados com lodo de curtume. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.41, n.7, jul. 2006, p.1149-1155

MARTINS, J.C., GONÇALVES, M.C., GONÇALVES, A.R., RODRIGUES, C.P., PIRES, F.P.; OLIVEIRA, A. Qualidade da água de rega e riscos de salinização e de alcalização de solos do Alentejo. **Revista de Ciências Agrárias**, v.24, n. 34, p.324-336. 2001.

MATOS, A.T. Tratamento e aproveitamento agrícola de resíduos sólidos. **Cadernos Técnicos**, Viçosa: Associação dos Engenheiros Agrícolas de Minas Gerais, n.37, 120p. 2006.

MATTIAZZO-PREZOTO, M.E. **Comportamento de Cu, Cd, Cr, Ni, Zn adicionados a solos de clima tropical em diferentes valores de pH**. 1994.197f. Tese (Livre-Docência) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1994.

MELO, W.J. de; MARQUES, M.O. Potencial do lodo de esgoto como fonte de nutrientes para as plantas. In: BETTIOL, W.; CAMARGO, O.A. (Ed.) **Impacto ambiental do uso agrícola do lodo de esgoto**. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2000. p.109-141.

\_\_\_\_\_. MARQUES, M.O SANTIAGO, G.; CHELLI, R.A. Efeito de doses crescentes de lodo de esgoto sobre frações da matéria orgânica e CTC de um Latossolo cultivado com cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.18, p.449-455, 1994.

MENDES, A.M.S.; DUDA, G.P.; NASCIMENTO, C.W.A. do; SILVA, M.O. Bioavailability of cadmium and lead in a soil amended with phosphorus fertilizers. **Scientia Agricola**, v.63, p.328- 332, 2006.

MERTZ, W.E. Chromium occurrence and function in biological systems. **Physiology Reviews**, Baltimore, v.49, p.163-239, 1969.

MEURER, E. J. Fatores que influenciam o crescimento e o desenvolvimento das plantas. In: NOVAIS, R.F. et al. (Eds.). **Fertilidade do solo**. Viçosa, MG:SBCS, 2007. cap. II, p.65-90.

MICHELS, I.L.; SPROESSER, R.L.; MENDONÇA, C.G. **Cadeia Produtiva da Carne Bovina de Mato Grosso do Sul**. Campo Grande: Ed. Oeste, 2001, 212p.

MOBRICCI, C.A. de N. **Adubação mineral, esterco de curral e lodo de esgoto no desenvolvimento inicial do cafeeiro**. 2006. 64f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Estadual Paulista, Botucatu. 2006.

NOGUEIRA, O.L. **A cultura do açaí**. Brasília: SPI-EMBRAPA, 1995. 49p.

NOGUEIRA, T.A.R.; OLIVEIRA, L.R.; MELO, W.J.; FONSECA, I.M.; MELO, G.M.P.; MELO, V.P.; MARQUES, M.O. Cádmiio, cromo, chumbo e zinco em plantas de milho e em Latossolo após nove aplicações anuais de lodo de esgoto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v.32, p.2195:2207, 2008.

NUNES, L.P.M. **Caracterização geolétrica da área de curtume localizada no Distrito Industrial de Icoaraci, Belém-Pará**. 2005. 86f. Dissertação (Mestrado em Geofísica) – Centro de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém. 2005.

OLIVEIRA, C.; AMARAL SOBRINHO, N.M.B.; MARQUES, V.S.; MAZUR, M. Efeitos da aplicação de lodo de esgoto enriquecido com cádmio e zinco na cultura do arroz. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v.29, p.109-116, 2005.

OLIVEIRA, F.C.; MATIAZZO, M.E.; MARCIANO, C.R.; ROSSETO, R. Efeitos de aplicações sucessivas de lodo de esgoto em Latossolo Amarelo distrófico cultivado com cana-de-açúcar: carbono orgânico, condutividade elétrica, pH e CTC. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v.26, p.505-519, 2002.

OLIVEIRA, M. do S.P. de; CARVALHO, J.E.U. de; NASCIMENTO, W.M.O. do. **Açaí (*Euterpe oleracea* Mart.)**. Jaboticabal: Funep, 2000, 52p. (Série frutas nativas, 7)

\_\_\_\_\_. FARIAS NETO, J.T. de. **Cultivar BRS-Pará: açaizeiro para produção de frutos em terra firme**. Belém: Embrapa Amazônia Oriental. dez.2004, 3p. (Comunicado Técnico, 114).

OLIVEIRA, S.C. **Solubilidade e disponibilidade de micronutrientes e metais pesados tóxicos em fertilizantes comercializados no Brasil**. 2003. 156f. Tese (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) - Escola Superior de Agricultura Luíz Queiroz, Piracicaba. 2003.

PACHECO, J.W.F. **Curtumes**. São Paulo: Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental, 2005. 76p.

PALERMO, H.F. **Avaliação econômica e ambiental das atividades curtidoras e acabadoras de couros na região de Franca – Estado de São Paulo**. 2001. 146f. Tese (Doutorado em Geociências) - Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro. 2001.

PARÁ. GOVERNO DO ESTADO DO PARÁ. **Conheça o Pará**. 2006. Disponível em: <<http://www.pa.gov.br/conhecaopara/anandindeua1.asp>>. Acesso em: 10 out. 2006.

PARMIGIANI, M.P.C.V.D.; MIDIO, A.F. Chumbo na alimentação da população infantil. **Cadernos de Nutrição**, v.9, p.25-34, 1995.

PASSIANOTO, C.C.; CASTILHOS, D.D.; CASTILHOS, R.M.V.; LIMA, A.C.R. de; LIMA, C.L.R. de. Atividade e biomassa microbiana no solo com a aplicação de dois diferentes lodos de curtume. **Revista Brasileira de Agrociência**, Pelotas, v.7, n.2, p.125-130, mai./ago. 2001.

PEREIRA, P.R.G., MARTINEZ, H.E.P. Produção de mudas para o cultivo de hortaliças em solo e hidroponia. **Informe agropecuário**, Belo Horizonte, v.20, p.24-31, 1999.

PERON, A.B. **Encapsulamento do cromo proveniente do lodo de curtume, em matrizes de cimento, visando a resistência mecânica à compressão e os limites de lixiviação e solubilização**. 2008, 103f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Materiais) - Universidade Estadual Paulista, Bauru. 2008.

PILON-SMITS, E. Phytoremediation. **Ann. Rev. Plant Biol.** v.51, p.525-533, 2005.

PIRES, F.R.; SOUZA, C.M.; CECON, P.R.; SANTOS, J.B. dos; TÓTOLA, M.R.; PROCÓPIO, S. de O.; SILVA, A.A. da; SILVA, C.S.W. Inferências sobre atividade rizosférica de espécies com potencial para fitorremediação do herbicida tebuthiuron. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.29, n.4, p.627-634, 2005.

PRIEBE, G.P. da S. **Análise da composição da pele/couro em função das etapas do seu processamento em curtumes**. 2005. 60f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Química) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. 2005.

RAI, D.; EARY, L.; ZACHARA, E. Environmental chemistry of chromium. **Science of Total Environment**, v.86, p.15-23, 1989.

RAIJ, B. VAN. **Fertilidade do solo e adubação**. Piracicaba: Potafos, 1991. 343p.

\_\_\_\_\_. CANATRELLA, H.; QUAGGIO, J.A.; FURLANI, A.M.C. **Recomendações de adubação e calagem para o estado de São Paulo**. Campinas: Instituto Agrônomo - Fundação IAC, 1996. 285p. (Boletim Técnico, 100).

RANGEL, O.J.P.; SILVA, C.A.; BETTIOL, W.; GUILHERME, L.R.G.; DYNIA, J.F. Acúmulo de Cu, Mn, Ni, Pb e Zn. EM Latossolo Vermelho adubado com fontes de lodo de esgoto e cultivado com milho. **Ciência Agrotécnica**, v.28, p.15-23, 2004.

\_\_\_\_\_. SILVA, C.A.; BETTIOL, W. & DYNIA, J.F. Efeito de aplicações de lodo de esgoto sobre os teores de metais pesados em folhas e grãos de milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.30, p.583-594, 2006.

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

RODELLA, A.A.; ALCARDE, J.C. Legislação sobre micronutrientes e metais pesados. In: FERREIRA, M.E.; CRUZ, M.C.P.; RAIJ, B.; ABREU, C.A. (Ed.). **Micronutrientes e elementos tóxicos na agricultura**. Jaboticabal: CNPQ/FAPESP/POTAFOS, 2001. cap.22, p.555-576.

RODRIGUES, A.L.M.; ANGHINONI, M.C.M.; TEDESCO, M.J.; GIANELLO, C. Critérios técnicos para disposição no solo de resíduos sólidos de curtume. In: CONGRESSO DA UNIÃO INTERNACIONAL DOS QUÍMICOS E TÉCNICOS DA INDÚSTRIA DO COURO, 22., Porto Alegre, 1993. **Boletim**. Porto Alegre: FEPAM, 1993. 14p.

RUPPENTHAL, J.E. **Perspectivas do setor couro do Estado do Rio Grande Do Sul**. 2001. 244f. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis. 2001.

SALISBURY, F.B.; ROSS, C.W. **Plant Physiology**. Belmont: Wadsworth, 1991. 682p.

SANTOS, H.R. dos. **Aplicação de coagulantes no afluente de reator anaeróbio de leite expandido alimentado com esgoto sanitário**. 2001. 151f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Hidráulica e Saneamento) - Escola de Engenharia de São Carlos: Universidade de São Paulo, São Carlos. 2001.

SANTOS, R.V.; MURAOKA, T. Interações, salinidade e fertilidade do solo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 26, 1997. Campina Grande. **Anais...** Campina Grande: UFPB, 1997, p.289-317.

SCHALCH, V.; ALMEIDA, W.C. de; GOMES, L.P. Resíduos sólidos industriais. In: CURSO DE GERENCIAMENTO DE RESÍDUOS SÓLIDOS, 1., 1989, São Paulo. **Resumos...** São Paulo: Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental, 227p.

SELBACH, P.A.; TEDESCO, M.J.; GIANELLO, C.; CAVALLET, L.E. Descarte e biodegradação de lodos de curtume. **Revista do Couro**, Porto Alegre, v.81, p.83-94, 1991.

SHEN, Z.; LI, X.; WANG, C.; CHEN, H.; CHUA, H. Lead phytoextraction from contaminated soil with high biomass plant species. **Journal Environmental Quality**, Madison, v.31, p.1893-1900, 2002.

SHIMIZU, M.K.; GATO, R.F.; VASCONCELOS, M.A.M.; MATOS, L.M.S. de. **Plantio de açaizeiro, cupuaçuzeiro e formação de pomar em quintais**. Belém: Embrapa Amazônia Oriental. 2007. 18p. (Documentos, 286).

SILVA, C.J.C. da; LIMA, M.G. de S.; CARVALHO, C.M. de; ELOI, W.M.; PEDROZA, M.M.; SILVA, C.J.C. da. Efeito do lodo de estação de tratamento de despejos de curtume na fase inicial do crescimento do milho. **Revista de Biologia e Ciências da Terra**, v.5, n.2, p.131-136, 2005.

SILVA, F.C. da. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. Brasília: Embrapa, 1999. 370p.

SILVA, F.C.; BOARETTO, A.E.; BERTON, R.S.; ZOTTELI, H.B.; PEXE, C.A.; MENDONÇA, E. Cana-de-açúcar cultivada em solo adubado com lodo de esgoto: nutrientes, metais pesados e produtividade. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.33, p.1-12, 1998.

SILVA, P.J.D. da; ALMEIDA, S.S. de. Estrutura Ecológica de açazeis em Ecossistemas Inundáveis da Amazônia. In: JARDIM, M.A.G.; MOURÃO, L.; GROSSMANN, M. (Org.). **Açaí (*Euterpe oleracea* Mart.): possibilidades e limites para o desenvolvimento sustentável no estuário amazônico**. Belém: Museu Paraense Emílio Goeldi, 2004. p.37-51. (Coleção Adolfo Ducke).

- SIMONETE, M.A.; KIEHL, J.C. Extração e fitodisponibilidade de metais em resposta a adição de lodo de esgoto no solo. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v.19, n.3, 2002.
- SOUSA, D.M.G.; LOBATO, E. **Cerrado: correção do solo e adubação**. 2.ed. Planaltina: Embrapa Cerrados, 2004. 416p.
- SOUZA, D.M.G.; MIRANDA, L.N.; OLIVEIRA, S.A.; Acidez do solo e sua correção. In: NOVAIS, R.F. et al. (Eds.). **Fertilidade do solo**. Viçosa, MG:SBCS, 2007. cap. V, p.205-9274.
- SOUZA, Z.M.; BEUTLER, A.N.; MELO, V.P.; MELO, W.J. Estabilidade de agregados e resistência à penetração em Latossolos adubados por cinco anos com biossólido. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.29, n.1, p.117-123. 2005.
- SOUZA, S.M. DE; CHAVES, L.H.G.; SOUZA, A.P. DE. Efeito da aplicação de lodo de curtume sobre a condutividade elétrica e reação de solo ácido. **Agropecuária Técnica**, Areia, v.27, n.2, p.77-84, 2006.
- TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 3.ed. Porto Alegre: Artmed, 2004. 719p.
- TAN, K.H. **Environmental soil science**. 2.ed. New York: Marcel Dekker, v.74, 2000. 452p.
- TEDESCO, M.J.; GIANELLO, C.; BISSANI, C.A.; BOHNEN, H.; VOLKWEISS, S.J. **Análises de solos, plantas e outros materiais**. 2.ed. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1995. 174p.
- \_\_\_\_\_. SELBACH, P.A.; GIANELLO, C.; CAMARGO, F.A. de O. Resíduos orgânicos no solo e os impactos no ambiente. In: SANTOS, G.A.; CAMARGO, F.A.O. (Ed.). **Fundamentos da matéria orgânica do solo, ecossistemas tropicais e subtropicais**. Porto Alegre: Gênese, 1999. p.159-196.
- TEIXEIRA, J.A. de O.S. **Descarte de resíduo de curtume no solo**. 1981. 86f. Dissertação (Mestrado em Ciências do Solo) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre. 1981.
- TEIXEIRA, K.R.G.; GONÇALVES FILHO, L.A.R.; CARVALHO, E.M.S.; ARAÚJO, A.S.F. de; SANTOS, V.B. dos. Efeito da adição de lodo de curtume na fertilidade do solo, nodulação e rendimento da matéria seca do caupi. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v.30, n.6, p.1071-1076, nov./dez. 2006.
- TOSCAN, R. Justificativa Para Instalação de Equipamentos de Filtragem Intermediária no Reciclo de Caleiro com Preservação de Cabelo. **Revista do Couro**, Estância Velha, p.53-54, jul.1993.
- TROEH, F.R.; THOMPSON, L.M. **Solos e Fertilidade dos solos**. São Paulo: Ed. Andrei, 2007. 718p.
- USEPA. United States Environmental Protection Agency. **Drinking water standards and health advisories**. Washington, DC, 1983.
- VIEGAS, I. de J.M.V.; FRAZÃO, D.A.C.; THOMAZ, M.A.A.; CONCEIÇÃO, H.E.O. da; PINHEIRO, E. Limitações nutricionais para o cultivo de açaizeiro em Latossolo Amarelo textura média, Estado do Pará. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v.26. n.2. ago.2004.
- VIEIRA, M.S., **Recuperação de cromo contido nas cinzas provenientes da incineração de resíduos sólidos da indústria coureiro-calçadista visando**

**obtenção de cromato de sódio (VI).** 2004. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. 2004.

VITTI, G.C.; LIMA, E.; CICARONE, F. Cálcio, magnésio e enxofre. In: FERNANDES, M.S. (Ed.). **Nutrição Mineral de Plantas.** Viçosa (MG):SBCS, 2006, cap. XII. p.299-325.

WADT, P.G.S. **Lodo de curtume:** alternativa na recuperação de áreas degradadas. 2005. Disponível em: <<http://www.agronline.com.br/artigos/artigo.php?id=262>>. Acesso em: 02 dez. 2008.

WALDEMAR, C.C. A experiência do DMLU como fornecedor de resíduos úteis na composição de substratos para plantas. In: KÄMPF, A.N.; FERMINO, M.H. (Eds.). **Substrato para plantas:** a base da produção vegetal em recipientes. Porto Alegre: Gênese, 2000. p.171-176.

WATANABE, M.E. Phytoremediation on the brink of commercialization. **Environmental Science and Technology**, v.31, p.182A-186A, 1997.

WERTHER, J., OGADA, T., Sewage sludge combustion. **Progress in Energy and Combustion Science**, v.25, p.55-116, feb./1999.

YENDO, A.Y. **Uso de um biofiltro aerado submerso como unidade de pós-tratamento de efluente de tratamento anaeróbio de curtume.** 2003. 119p. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos e Tecnologias Ambientais) - Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira. 2003.

ZACARKIM, C.E. **Uso de sistema wetland construído no pós-tratamento de efluente de curtume.** 2006. 77p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Marechal Cândido Rondon. 2006.

**APÊNDICE**

**TABELA 1A** Lista de abreviaturas e siglas

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ABQ TIC	Associação Brasileira dos Químicos e Técnicos da Indústria do Couro
AICSUL	Associação das Indústrias de Curtumes do Rio Grande do Sul
BNDES	Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social
CBO	Coordenação de Botânica
CE	Condutividade elétrica
CETESB	Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental do Estado de São Paulo
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
C/N	Relação carbono:nitrogênio
CNPC	Conselho Nacional da Pecuária de Corte
CNPq	Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico
CR	Comprimento da raiz
CTC	Capacidade de troca de cátions
DC	Diâmetro do colo
DBO	Demanda Bioquímica de Oxigênio
DII	Distrito Industrial de Icoaraci
DQO	Demanda Química de Oxigênio
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
EMBRAPA-CPATU	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – Centro de Pesquisa Agropecuária do Trópico Úmido
EPA	Environmental Protection Agency
ETE	Estação de Tratamento de Efluentes
F	Teste F
FEPAM	Fundação Estadual de Proteção Ambiental
FIERGS	Federação das Indústrias do Estado do Rio Grande do Sul
h	Altura da planta
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
MMA	Ministério do Meio Ambiente
MO	Matéria Orgânica
MOS	Matéria orgânica do solo
MPEG	Museu Paraense Emílio Goeldi

MS	Matéria seca
MSPA	Matéria seca da parte aérea
MSR	Matéria seca da raiz
MST	Matéria seca total
MTE	Ministério do Trabalho e Emprego
NBR	Norma brasileira
PA	Pará
PADCT	Programa de Apoio ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico
P&D	Pesquisa e Desenvolvimento
PIB	Produto Interno Bruto
PML	Produção Mais Limpa
PNMA	Política Nacional do Meio Ambiente.
PR	Paraná
PRNT	Poder relativo de neutralização total
RAIS	Relação Anual de Informações Sociais
RAIS/MTE	Relação Anual de Informações Sociais/Ministério do Trabalho e Emprego
RMB	Região Metropolitana de Belém
RS	Rio Grande do Sul
SB	Soma de bases
SC	Santa Catarina
SEBRAE	Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas
SECEX	Secretaria de Comércio Exterior
SEICOM	Secretaria da Indústria Comércio e Mineração
SENAI	Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial
ST	Sólidos Totais
STF	Sólidos Totais Fixos
STV	Sólidos Totais Voláteis
TFSA	Terra fina seca ao ar
UEPB	Universidade Estadual da Paraíba
UFLA	Universidade Federal de Lavras
UFRA	Universidade Federal Rural da Amazônia
USEPA	United States Environmental Protection Agency

**Tabela 2A** Lista de Símbolos

%	Porcentagem
°C	Grau Celsius
>	Maior
<	Menor
Al	Alumínio
Al <sup>3+</sup>	Alumínio extraível
As	Arsênio
C	Carbono
C <sub>t</sub>	Carbono total
Ca	Cálcio
Ca <sup>2+</sup>	Cálcio trocável
CaCl <sub>2</sub>	Cloreto de cálcio
Ca(OH) <sub>2</sub>	Hidróxido de cálcio ou cal hidratada
Cd	Cádmio
Cd <sub>t</sub>	Cádmio total
cmol <sub>c</sub> .dm <sup>-3</sup>	Centimol carga por decímetro cúbico
CO <sub>2</sub>	Gás carbônico
Cr	Cromo
Cr <sub>t</sub>	Cromo total
Cr <sup>3+</sup> ou Cr III	Cromo trivalente
Cr VI	cromo hexavalente
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Óxido de cromo
Cu	Cobre
Fe	Ferro
G	Gramas
g.cm <sup>-3</sup>	Gramas por centímetro cúbico
g.kg <sup>-1</sup>	Gramas por quilograma
H <sup>+</sup>	Íon hidrogênio
H+Al	Acidez potencial
H <sub>2</sub> O	Água
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	Ácido Sulfúrico
HCl	Ácido clorídrico
Hg	Mercúrio
HNO <sub>3</sub> + HClO <sub>4</sub>	Ácido nítrico + Ácido hipoclorídrico

K	Potássio
<b>K<sup>+</sup></b>	Potássio trocável
Kcal	Quilo caloria
Kg.ha <sup>-1</sup>	Quilograma por hectare
Kg	Quilograma
Km	Quilômetro
L	Litro
L.ha <sup>-1</sup>	Litro por hectare
M	Metro
m	Porcentagem de saturação por alumínio
m <sup>3</sup>	Metro cúbico
Mg	Magnésio
Mg <sup>2+</sup>	Magnésio trocável
Mg há <sup>-1</sup>	Megagrama por hectare
mg	Miligramma
mg.dm <sup>-3</sup>	Miligramma por decímetro cúbico
mg.ha <sup>-1</sup>	Miligramma por hectare
mg.kg <sup>-1</sup>	Miligramma por quilograma
mg.l <sup>-1</sup>	Miligramma por litro
mL	Mililitro
mm	Milímetro
mmol <sub>c</sub> .dm <sup>-3</sup>	Milimol carga por decímetro cúbico
Mn	Manganês
N	Nitrogênio
Na	Sódio
Na <sup>+</sup>	Sódio trocável
NH <sub>2</sub>	Grupo amino
NH <sub>3</sub>	Amoníaco
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	Amônio
Ni	Níquel
NO <sub>2</sub>	Óxido nítrico
NPK	Adubo à base de nitrogênio, fósforo e potássio
O <sub>2</sub>	Oxigênio
P	Fósforo
Pb	Chumbo

$\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$	Nitrato de Chumbo
pH	Potencial hidrogeniônico ou acidez ativa
<b>T</b>	Capacidade de troca de cátions
t.ha <sup>-1</sup>	Tonelada por hectare
V	Percentagem de saturação por bases
v/v	Relação volume:volume
Zn	Zinco

Tabela 3A. Valores do teste F e níveis de significância da composição química dos substratos utilizados no cultivo de plântulas de açaizeiro, cultivar BRS-Pará, em função da aplicação de doses crescentes de lodo de curtume. Belém(PA), 2008.

Fonte de Variação	Gl						
<b>ANTES DO PLANTIO</b>							
Tratamentos	5	1,50 <sup>NS</sup>	1,47 <sup>NS</sup>	1,44 <sup>NS</sup>	8,60 <sup>**</sup>	4,44 <sup>**</sup>	
Resíduo	24						
Cv %		33,12	17,88	26,29	25,74	34,99	
<b>AOS 180 DIAS DA SEMEADURA</b>							
Tratamentos	5						
Resíduo	24						
Cv %							

(\*\*); (\*) e (NS): Diferença com 1%, 5% e não significativo, respectivamente.

Tabela 4A. Valores do teste F e níveis de significância da composição química dos substratos utilizados no cultivo de plântulas de açaizeiro, cultivar BRS-Pará, em função da aplicação de doses crescentes de lodo de curtume. Belém(PA), 2008.

Fonte de Variação	GI						
<b>ANTES DO PLANTIO</b>							
Tratamentos	5	1,50 <sup>NS</sup>	1,47 <sup>NS</sup>	1,44 <sup>NS</sup>	8,60**	4,44**	
Resíduo	24						
Cv %		33,12	17,88	26,29	25,74	34,99	
<b>AOS 180 DIAS DA SEMEADURA</b>							
Tratamentos							
Resíduo							
Cv %							

(\*\*); (\*) e (NS): Diferença com 1%, 5% e não significativo, respectivamente.

Tabela 5A. Valores do teste F e níveis de significância dos parâmetros de crescimento de plântulas de açaizeiro, cultivar BRS-Pará, em função da aplicação no solo de doses crescentes de lodo de curtume. Belém(PA), 2008.

Fonte de Variação	GI	Altura Planta	Diâmetro Colo	Massa Seca Raíz	Massa Seca Parte Aérea	Massa Seca Total
Tratamentos	5	1,51 <sup>NS</sup>	2,73*	2,75*	0,36 <sup>NS</sup>	1,12 <sup>NS</sup>
Resíduo	24					
(**); (*)e ( N S	CV (%)	33,12	17,68	12,38	13,34	11,49

): Diferença com 1%, 5% e não significativo, respectivamente.

Tabela 6A. Valores do teste F e níveis de significância da composição química de plântulas de açaizeiro, cultivar BRS-Pará, em função da aplicação no solo de doses crescentes de lodo de curtume. Belém(PA), 2008.

Fonte de Variação	Gl	Na	Ca	Mg	K	Cd	Cr	Cu	Fe	Mn	Pb	Zn
-------------------	----	----	----	----	---	----	----	----	----	----	----	----

### PARTE AÉREA

Tratamentos	5	1,50 <sup>NS</sup>	1,47 <sup>NS</sup>	1,44 <sup>NS</sup>	8,60 <sup>**</sup>	4,44 <sup>**</sup>	0,42 <sup>NS</sup>	1,06 <sup>NS</sup>	22,21 <sup>**</sup>	12,40 <sup>**</sup>	6,98 <sup>**</sup>	5,34 <sup>**</sup>
Resíduo	24											
Cv %		33,12	17,88	26,29	25,74	34,99	51,48	2,38	2,45	13,34	12,50	11,49

### RAÍZ

Tratamentos	5											
Resíduo	24											
Cv %												

(\*\*); (\*) e (NS): Diferença com 1%, 5% e não significativo, respectivamente.