

**EDUCAÇÃO CIÊNCIA E SAÚDE**  
<http://dx.doi.org/10.20438/ecs.v8i1.375>

## **SUBSTRATO ALTERNATIVO A BASE DE REJEITO DE COBRE E MATERIA ORGÂNICA NA PRODUÇÃO DE MUDAS DE IPÊ-BRANCO**

Kaliane Souza da Silva<sup>1</sup>, Anna Gabriela Rocha Arruda<sup>1</sup>, Denilson da Silva Costa<sup>2</sup>, Louis Dostoievsky Gomes Tabosa<sup>2</sup>, Ângelo Kidelman Dantas de Oliveira<sup>3</sup>, Fernando Kidelmar Dantas de Oliveira<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Curso de Engenharia de Minas e Meio Ambiente, Faculdade de Engenharia de Minas e Meio Ambiente, Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará, Marabá-PA, Brasil.

<sup>2</sup> Prof<sup>o</sup> de Engenharia de Minas e Meio Ambiente, Faculdade de Engenharia de Minas e Meio Ambiente, Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará, Marabá-PA, Brasil.

<sup>3</sup> Prof<sup>o</sup> do Programa de Pós-Graduação Ciências Naturais e Biotecnologias, Universidade Federal de Campina Grande, Cuité-PB, Brasil.

<sup>4</sup> Prof<sup>o</sup> da Unidade Acadêmica de Biologia e Química, Universidade Federal de Campina Grande, Cuité-PB, Brasil.

Email para correspondência: [kidelmar@ufcg.edu.br](mailto:kidelmar@ufcg.edu.br)

### **Resumo**

Sendo a atividade mineral relevante para economia global esta produz considerável quantidade de rejeito mineral, sendo o cobre (Cu) um dos metais mais explorados. Objetivou-se avaliar o crescimento do ipê-branco (*Tabebuia roseo-alba* (Ridl.) Sand.) cultivado com rejeito de cobre e matéria orgânica. O experimento foi conduzido na Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará, Marabá-PA. O período foi de setembro de 2018 a janeiro de 2019. O substrato foi composto de esterco bovino e rejeito de cobre. O delineamento experimental foi o inteiramente casualizado. As percentagens de esterco bovino foram: T1-0%; T2-5%; T3-10%; T4-15% e T5-20%, sendo os substratos complementados por rejeito de cobre. As plantas foram avaliadas quanto à altura, diâmetro do coleto e número de folhas. Os dados morfológicos foram submetidos à análise de variância e comparadas entre si pelo teste de Tukey. Os parâmetros altura, diâmetro e número de folhas tiveram um acréscimo a partir da diminuição da percentagem do rejeito de cobre. A concentração mais elevada de cobre nas raízes está relacionada ao baixo transporte do metal para o compartimento aéreo. Os coeficientes de extração foram superiores nas raízes, concluindo-se que a *Tabebuia roseo-alba* tem potencial para fitoestabilizar áreas degradadas por mineração de cobre.

**Palavras-chave:** fitorremediação, rejeito de mineração, metal pesado, esterco bovino.

### **Abstract**

As the mineral activity is relevant to the global economy, it produces a considerable amount of mineral waste, with copper (Cu) being one of the most explored metals. The objective of this study was to evaluate the growth of the white ipe (*Tabebuia roseo-alba*

(Ridl.) Sand.) cultivated with copper tailings and organic matter. The experiment was conducted at the Federal University of South and Southeast of Pará, Marabá-PA. The period was from September 2018 to January 2019. The substrate was composed of cattle manure and copper tailings. The experimental design was completely randomized. The percentages of cattle manure were: T1-0%; T2-5%; T3-10%; T4-15% and T5-20%, the substrates being complemented by copper tailings. Plants were evaluated for height, stem diameter and number of leaves. Morphometric data were submitted to analysis of variance and compared to each other by Tukey's test. The parameters height, diameter and number of leaves increased as the percentage of copper tailings decreased. The higher concentration of copper in the roots is related to the low transport of the metal to the aerial compartment. The extraction coefficients were higher in the roots, concluding that *Tabebuia rose-alba* has the potential to phytostabilize areas degraded by copper mining.

**Keywords:** phytoremediation, reject of mining, heavy metal, cattle manure.

## 1 Introdução

A mineração é uma das atividades básicas na economia de um país, sendo essencial para o desenvolvimento da sociedade. Por ser um país com grande extensão territorial, o Brasil devido sua localidade e formação geológica, se mostra uma nação privilegiada quando o assunto é diversidade e disponibilidade mineral, possuindo assim uma quantidade considerável de minerais metálicos e não-metálicos, fazendo com que ocupe uma posição mundial dominante como detentor de grandes reservas, que segundo Barreto (2001), está entre os seis mais importantes países minerais do mundo.

O cobre é um dos metais de importância e utilização mundial, ficando atrás somente do ferro e alumínio (SILVA, 2011). A questão ambiental é um fator preocupante quando o assunto é mineração de cobre devido aos seus impactos registrados nos diversos ramos da cadeia produtiva. De acordo com De Oliveira et al., (2015) áreas de rejeito de mineração de cobre possuem grande potencial de risco para à saúde humana, em razão da quantidade de metais pesados acumulados nas barragens de rejeito e risco iminente de contaminação do solo e corpos hídricos, além dos acidentes do rompimento das barragens, casos ocorridos recentemente, portanto para Lamengo & Vidal, (2007) a contaminação dos solos por meio dos metais pesados concebe uma forma de poluição crítica, sendo considerados os poluentes ambientais que mais abalam a saúde pública, sendo assim, a prevenção da poluição, bem como a limpeza de áreas contaminadas tornou-se, nos últimos anos, uma prioridade ambiental.

Diante disso, tem-se hoje em dia, diversos métodos para realização de atividades visando à recuperação de áreas degradadas, porém os custos são elevados, por exemplo, a lavagem do solo, extração por solvente, incineração, tratamento térmico indireto etc. Dessa forma, o uso de tecnologias apropriadas e com baixo custo, tornou-se fundamental.

De acordo com Estrela et al., (2018) o uso de espécies vegetais é uma tecnologia emergente e de baixo custo que pode mitigar a contaminação por metais pesados.

Para Lamengo & Vidal (2007), a fitorremediação é uma excelente alternativa para prevenir a intoxicação da população que reside no entorno das áreas contaminadas, bem como sua viabilidade com baixo custo, comparadas as tecnologias convencionais de despoluição.

O objetivo deste trabalho foi investigar o crescimento morfométrico inicial do ipê-branco (*Tabebuia roseo-alba* (Ridl.) Sand.) em substrato composto por rejeito de mineração de cobre e matéria orgânica, avaliar o índice de qualidade de Dickson (IQD), além de determinar o seu potencial fitorremediador em relação ao cobre.

## **2. Metodologia**

### **2.1 Localização, Clima e Substrato**

O experimento foi realizado em casa de vegetação na Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará (Unifesspa), Unidade II, Marabá-PA, situado nas coordenadas geográficas de 5°20'4.25"S, 49° 5'15.51"E e altitude de 94 m.

O clima da região é tropical, tendo-se como temperatura média 30 °C, possuindo maior pluviosidade no verão que no inverno.

O substrato utilizado nos tubetes foi composto de rejeito de barragem de mineração de cobre e matéria orgânica (esterco bovino), sendo o rejeito proveniente da empresa Vale S.A., Canaã dos Carajás - PA. Foram coletadas amostras para caracterização dos atributos químicos, conforme as instruções normativas, e enviadas ao Laboratório de Análise Agronômica e Consultoria, Linhares-ES. Os resultados estão apresentados na Tabela 1.

**Tabela 1.** Análise química da amostra de rejeito da mineração de cobre e análise de fertilizante orgânico sólido para a amostra de esterco bovino.

Parâmetro	Unidade	Amostra	
		Rejeito	Esterco
pH em CaCl <sub>2</sub>	-	-	7,7
Condutividade Elétrica (EC)	dS m <sup>-1</sup>	-	3,3
pH em H <sub>2</sub> O	-	8,6	-
Capacidade de Troca Catiônica	mmol kg <sup>-1</sup>	-	384,0
Matéria Orgânica Total	%	-	34,46
Nitrogênio (N)	%	-	0,62
Fósforo (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )	%	-	0,29
Potássio (K <sub>2</sub> O)	%	-	1,20
Enxofre (S)	%	-	0,37
Cálcio (Ca)	%	-	0,48
Magnésio (Mg)	%	-	0,26
Ferro (Fe)	mg dm <sup>-3</sup>	-	0,17
Zinco (Zn)	mg dm <sup>-3</sup>	-	38,7
Cobre (Cu)	mg dm <sup>-3</sup>	190,0	8,0
Manganês (Mn)	mg dm <sup>-3</sup>	-	103,7
Boro (B)	mg dm <sup>-3</sup>	-	5,7

Fonte: Laboratório de Análise Agronômica e Consultoria (FULLIN).

## 2.2 Delineamento Experimental

O delineamento foi o inteiramente casualizado (DIC), composto por cinco tratamentos e cinco repetições, tendo cinco plantas por unidade experimental, assim preconizado: T1 - Apenas rejeito (100%); T2 - Rejeito (95%) + Esterco bovino (5%); T3 - Rejeito (90%) + Esterco bovino (10%); T4 - Rejeito (85%) + Esterco bovino (15%) e T5 - Rejeito (80%) + Esterco bovino (20%), cuja concentração inicial do rejeito de cobre foi de 190 mg dm<sup>-3</sup>. Utilizou-se à espécie vegetal *Tabebuia roseo-alba*.

A Tabela 2 mostra a massa total de matéria de rejeito de mineração de cobre, considerando os percentuais crescentes de esterco bovino, conforme os tratamentos.

## 2.3 Material Vegetal e Cultivo

As sementes da espécie *Tabebuia roseo-alba* foram oriundas de coleta em matrizes no campus da Unifesspa, Unidade II – Marabá, PA.

O substrato foi pesado e distribuído nos tubetes após a preparação da mistura de acordo com as quantidades de rejeito de cobre e percentagens de

esterco bovino pré-definidas. O Tratamento 1 (controle) foi composto apenas por rejeito de cobre, como indica a Tabela 3.

**Tabela 2.** Tratamentos e massa do material de rejeito de cobre, esterco bovino e massa total, usados na instalação do experimento, respectivamente.

Tratamento	Rejeito (kg)	Esterco bovino (kg)	Massa Total (kg)
T1	10,0	0,0	10,0
T2	9,5	0,5	10,0
T3	9,0	1,0	10,0
T4	8,5	1,5	10,0
T5	8,0	2,0	10,0

T1 - Apenas rejeito (100%); T2 - Rejeito (95%) + Esterco bovino (5%); T3 - Rejeito (90%) + Esterco bovino (10%); T4 - Rejeito (85%) + Esterco bovino (15%); T5 - Rejeito (80%) + Esterco bovino (20%).

**Tabela 3.** Quantidade do rejeito de cobre utilizado para cada tratamento na mistura com o esterco bovino para composição do substrato.

Tratamento	Rejeito de cobre (%)	Esterco bovino (%)	Rejeito de cobre (g)	Esterco bovino (g)
T1	100,0	0,0	400,0	0,0
T2	95,0	5,0	380,0	20,0
T3	90,0	10,0	360,0	40,0
T4	85,0	15,0	340,0	60,0
T5	80,0	20,0	320,0	80,0

T1 - Apenas rejeito (100%); T2 - Rejeito (95%) + Esterco bovino (5%); T3 - Rejeito (90%) + Esterco bovino (10%); T4 - Rejeito (85%) + Esterco bovino (15%); T5 - Rejeito (80%) + Esterco bovino (20%).

O material que compôs o substrato foi depositado em cada tubete e permaneceram por 15 dias incubados, sem serem irrigados. Após este período foram semeadas 2 sementes por tubete. Dez dias após a emergência das plântulas, foi realizado o desbaste, mantendo-se a planta mais vigorosa.

#### 2.4 Avaliação Morfométrica de Crescimento

Posterior à incubação do substrato, se realizou o semeio da espécie, sendo iniciadas as avaliações morfométricas aos 20, 40, 60 e 80 dias. As plantas foram avaliadas quanto à altura, diâmetro do coleto e número de folhas. As medidas morfométricas foram realizadas com o uso de uma régua graduada. O diâmetro do coleto foi aferido com paquímetro digital da marca Stainless Hardened 0-150 mm. A contagem de folhas foi realizada de forma direta.

Aos 80 dias todas as plantas, após a coleta de dados, foram seccionadas no coleto e separadas por tratamentos, entre parte aérea e radicular. A fitomassa vegetal foi devidamente armazenada e identificada em sacos de papel. As raízes foram lavadas com água corrente de torneira até a

retirada completa do solo. As alíquotas de solo de cada tratamento foram armazenadas em sacos por tratamentos para posterior secagem.

O material vegetal e o solo foram colocados em estufa de marca Quimis modelo Q314M262, a 70 °C por 72 h até atingir o peso constante, para então serem pesados com balança digital de precisão, compondo então a fitomassa seca para posterior encaminhamento ao laboratório para realização de análises de macro e micronutrientes, conforme procedimentos laboratoriais.

Foi realizado o cálculo do índice de qualidade de Dickson (IQD) (DICKSON et al., 1960), como parâmetro para averiguação da qualidade das mudas, conforme consta a equação (1):

$$IQD = \frac{MST(g)}{\frac{H(cm)}{D(mm)} + \frac{MSPA(g)}{MSR(g)}} \quad \text{Eq. 1}$$

## 2.5 Índice e Fator de Translocação, Coeficiente de Extração

Devido ao acúmulo de cobre nos diferentes compartimentos de uma espécie, a mesma pode ser categorizada quanto ao regime de tolerância como fitoestabilizadoras e fitoextratoras (OLIVEIRA, 2018). No presente trabalho, o índice de translocação (IT) teve como finalidade avaliar a habilidade da *Tabebuia roseo-alba* em translocar o metal cobre das raízes para as partes aéreas, assim, calculou-se o índice de translocação (IT) do cobre, de acordo com Abichequer & Bohnen, (1998) pela equação (2):

$$IT = \frac{\text{Quantidade de metal acumulado parte aérea (folhas+caules)}}{\text{Quantidade de metal acumulado na planta}} \times 100 \quad \text{Eq. 2}$$

Já o cálculo do fator de translocação (FT), tem a finalidade de avaliar a habilidade da planta em translocar o metal pesado das raízes para as partes aéreas, comportamento desejável nos estudos de fitorremediação (MARCHIOL et al., 2004). O cálculo para tal parâmetro está indicado na equação (3):

$$FT = \frac{\text{Teor de metal na parte aérea}}{\text{Teor de metal nas raízes}} \quad \text{Eq. 3}$$

O coeficiente de extração (CE), segundo Kumar et al., (1995) indica a capacidade de extração de metais pesados pelas plantas, ou seja, o percentual de metal retirado do solo, sendo realizado pela equação (4):

$$CE = \frac{\text{Massa g do metal por g matéria seca (parte aérea e radicular)}}{\text{Massa g do metal por g matéria seca do solo}} \times 100 \quad \text{Eq. 4}$$

## 2.6 Avaliação Estatística

Os dados morfométricas foram submetidos à análise de variância com comparações de médias entre si pelo teste de Tukey a 95% de probabilidade, utilizando o programa estatístico Sisvar 5.6 Build (86) (FERREIRA, 2011). Fez-se análise de regressão das variáveis respostas (altura de plantas, diâmetro do coleto, número de folhas) em função dos percentuais crescentes de rejeito de cobre, além do cálculo do índice de qualidade de Dickson.

## 3. Resultados

### 3.1 Análises do Solo e da Espécie Vegetal

Após 80 dias houve a coleta total do experimento sendo as amostras enviadas ao Laboratório de Análise Agronômica e Ambiental para as devidas avaliações.

### 3.2 Altura de Plantas, Diâmetro do coleto, Número de Folhas

Nos primeiros 20 dias do experimento o ipê-branco não foi responsivo em relação ao crescimento, pois estava ainda em fase germinativa não tendo resposta das variáveis em relação ao substrato utilizado.

Aos 40 dias após o semeio, fez-se a coleta de dados para as variáveis: altura da planta, diâmetro e número de folhas, tendo-se valores crescentes para os parâmetros analisados, sendo que a altura obteve melhores resultados.

Em relação às variáveis, altura de plantas, diâmetro do coleto e número de folhas aos 60 dias do semeio, a espécie continuou tendo o mesmo comportamento comparado aos 40 dias, porém com incrementos nas variáveis.

Aos 80 dias obteve-se a coleta final, sendo que todas as mudas da espécie passaram por procedimentos laboratoriais para quantificação da

matéria seca, posteriormente usada para a avaliação do índice de qualidade de Dickson e análises químicas.

Fez-se análise de variância para os dados morfométricos aos 40, 60 e 80 dias após o semeio, como mostra a Tabela 4.

**Tabela 4:** Resumo das análises de variância, referentes à altura (cm), diâmetro do coleto (mm) e número de folhas (unidade) aos 40, 60 e 80 dias, em substrato cultivado com percentuais crescentes de matéria orgânica e decrescentes de rejeito cobre.

<b>FV</b>	<b>GL</b>	<b>Tratamentos</b>	<b>Altura</b>	<b>Diâmetro</b>	<b>N.º de Folhas</b>
<b>40 dias</b>					
<b>FV</b>	<b>GL</b>	<b>Tratamentos</b>	<b>Altura</b>	<b>Diâmetro</b>	<b>N.º de Folhas</b>
<b>Tratamento</b>	4	T1	3,41 b	1,55 a	3,00 b
		T2	3,90 ab	1,67 a	3,00 b
<b>Erro</b>	20	T3	5,06 ab	1,76 a	4,00 ab
		T4	5,21 ab	1,81 a	4,02 ab
<b>Total corrigido</b>	24	T5	5,68 a	1,88 a	4,48 a
<b>CV (%)</b>			23,81	19,89	14,70
<b>60 dias</b>					
<b>FV</b>	<b>GL</b>	<b>Tratamentos</b>	<b>Altura</b>	<b>Diâmetro</b>	<b>N.º de folhas</b>
<b>Tratamento</b>	4	T1	3,66 c	2,00 a	3,28 c
		T2	5,02 bc	1,98 a	4,71 b
<b>Erro</b>	20	T3	7,37 ab	2,32 a	6,28 a
		T4	8,32 a	2,65 a	6,56 a
<b>Total corrigido</b>	24	T5	8,28 a	2,71 a	6,84 a
<b>CV (%)</b>			21,69	18,09	9,17
<b>80 dias</b>					
<b>FV</b>	<b>GL</b>	<b>Tratamentos</b>	<b>Altura</b>	<b>Diâmetro</b>	<b>N.º de folhas</b>
<b>Tratamento</b>	4	T1	4,14 b	2,14 b	3,44 d
		T2	7,11 b	2,13 b	6,73 c
<b>Erro</b>	20	T3	11,55 a	2,70 ab	8,62 b
		T4	12,81 a	3,47 a	9,66 ab
<b>Total corrigido</b>	24	T5	13,98 a	3,64 a	9,88 a
<b>CV (%)</b>			18,58	19,71	8,18

FV = Fonte de variação; GL = Grau de liberdade; CV = Coeficiente de variação.

\*Médias seguidas de mesmas letras não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ( $\alpha < 0,05$ ).

Aos 40 dias do semeio, o tratamento T1 (100% rejeito de cobre) obteve um menor crescimento em relação ao tratamento T5, maior concentração de matéria orgânica (20% de esterco bovino), ainda que os tratamentos intermediários não apresentassem diferenças nem com o T1, nem com o T5, porém já mostrando uma tendência de que quanto maior o percentual de matéria orgânica, maior o crescimento das plantas.

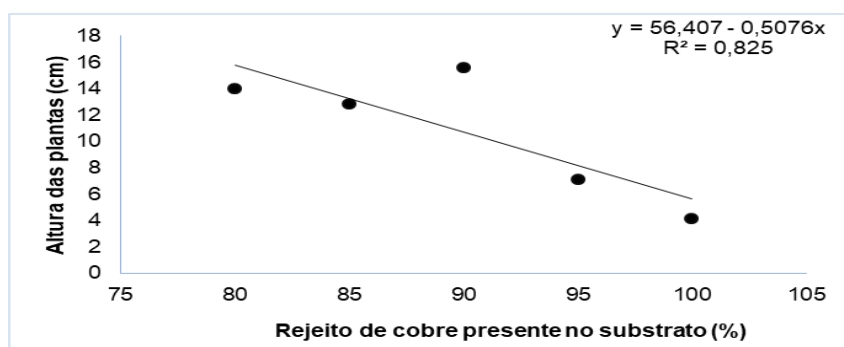


Para Yruela, (2009) altas concentrações de cobre no solo causam toxicidade às plantas, bem como inibição no crescimento de raízes e redução da fotossíntese, conseqüentemente afetando a altura e, Arruda et al., (2021) encontraram resultados semelhantes utilizando a mesma espécie em substrato rico em cobre, que afetou o crescimento das plantas e apresentou sintomas de toxicidade quanto maior era o percentual de cobre no substrato.

No entanto, aos 60 e 80 dias, a espécie teve um crescimento considerável, variando significativamente sua altura, onde os tratamentos T4, T5 e T6 atingiram um crescimento superior aos demais.

Oliveira (2018), estudando as espécies *Schizolobium amazonicum*, *Leucaena leucocephala* e *Azadiracta indica* submetidas a substrato rico em cobre (concentração de 200 mg dm<sup>-3</sup>) e matéria orgânica, encontrou aos 90 dias valor semelhante a esta pesquisa com a *Tabebuia roseo-alba* (13,98 cm) e valores superiores das duas outras espécies supracitadas, que atingiram uma altura média de 21 cm e 18 cm, respectivamente.

De acordo com a Figura 03, referente à regressão linear das médias de altura em função dos percentuais de rejeito de cobre e de matéria orgânica aos 80 dias, pode-se observar que para a variável altura, a *Tabebuia roseo-alba* se comportou de forma decrescente com relação ao aumento dos percentuais de cobre no substrato, ou seja, as alturas foram favorecidas pelo menor percentual do rejeito de cobre nos tratamentos.



**Figura 03:** Altura da *Tabebuia roseo-alba* em função dos percentuais decrescentes de rejeito de cobre e crescentes de matéria orgânica aos 80 dias.

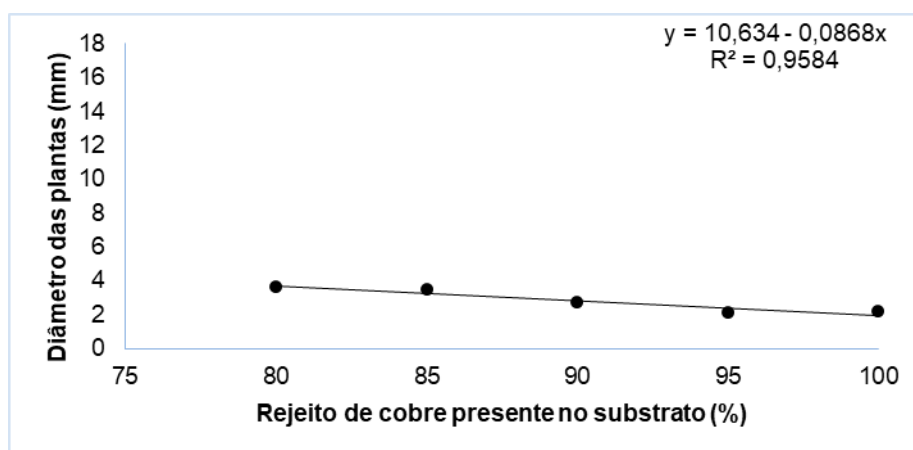
Para Silva et al., (2010) pesquisando a tolerância de mudas de canafístula (*Peltophorum dubium* Spreng. Taub.) inoculada com fungo em solo com excesso de cobre observaram que as alturas das mudas da espécie

apresentaram certa limitação ao efeito do cobre até a dose 150 mg dm<sup>-3</sup>, tendo-se assim um decréscimo na altura de acordo com o aumento da concentração de cobre, sendo que ao atingir o mesmo teor que o presente trabalho (198 mg dm<sup>-3</sup>), verifica-se quanto a altura valores próximos a *Tabebuia roseo-alba*.

Da Silva et al., (2012) investigando o crescimento e qualidade de mudas de timbó (*Ateleia glazioviana*) e dedaleiro (*Lafoensia pacari*) cultivadas em solo contaminado por cobre, a uma concentração de 190 mg dm<sup>-3</sup>, obtiveram altura de 16 cm, comprovando um comportamento semelhante a *Tabebuia roseo-alba* na mesma dose (13,98 cm). O mesmo comportamento de crescimento em altura da *T. roseo-alba* que aumentou, à medida que se diminuía o percentual de cobre e aumentava a matéria orgânica no substrato foi encontrado por Arruda et al., (2021).

Com relação ao diâmetro do coleto, de modo geral, as mudas apresentaram comportamentos semelhantes quando submetidas às quantidades pré-definidas de cobre e esterco bovino. Dessa forma, estatisticamente aos 20, 40 e 60 dias os diâmetros não tiveram variação significativa entre si, porém, aos 80 dias os tratamentos T3, T4 e T5 obtiveram os melhores desenvolvimentos.

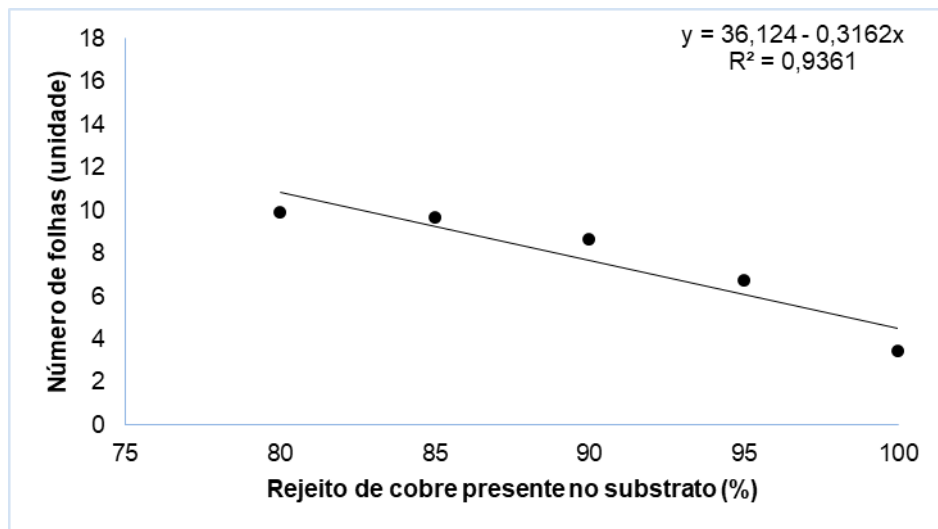
Conforme foram adicionados os percentuais de matéria orgânica no rejeito de cobre, o diâmetro foi tendo acréscimo seguindo o padrão de regressão linear (Figura 04).



**Figura 04:** Diâmetro da *Tabebuia roseo-alba* em função dos percentuais decrescentes de rejeito de cobre e crescentes de matéria orgânica ao final dos 80 dias do semeio.

Para Souza et al., (2006) o diâmetro é um parâmetro primordial para estimar a sobrevivência de mudas de espécies florestais. Neste mesmo contexto, Arruda et al., (2021) puderam observar resultados semelhantes ao encontrado neste trabalho, utilizando a mesma espécie e substrato composto por matéria orgânica e cobre, onde aos 80 dias de cultivo, os tratamentos contendo os maiores percentuais de matéria orgânica, obtiveram os melhores diâmetros. Em trabalho realizado por Oliveira, (2018) com *Leucaena leucocephala* e *Azadiracta indica* em concentração de 200 mg dm<sup>-3</sup> de cobre ao final de 90 dias, resultaram em valores de diâmetros iguais a 3,2 mm 2,5 mm respectivamente, próximos aos tratamentos T3, T4 e T5 da *Tabebuia roseo-alba* na concentração de 198 mg dm<sup>-3</sup> ao final de 80 dias.

Para o número de folhas a *T. roseo-alba* apresentou valores consideráveis (Figura 05), salvo nos tratamentos com maior concentração de rejeito de cobre que aos 80 dias, as plantas apresentaram clorose foliar e algumas senesceram. Para Cambrolé et al., (2015) as plantas que se desenvolvem em solos contaminados poderão afetar os parâmetros relacionados com o crescimento, dentre eles, altura das plantas, área foliar, acúmulo de biomassa e o número de folhas emitidas.



**Figura 05:** Número de folhas da *Tabebuia roseo-alba* em função dos percentuais decrescentes de rejeito de cobre e crescentes de matéria orgânica ao final dos 80 dias do semeio.

Neste experimento a avaliação do número de folhas foi observada a partir dos 40 dias da instalação do mesmo, chegando ao final aos 80 dias, com

resultados que alcançaram um maior número de folhas nos tratamentos com maior percentual de matéria orgânica (T4 e T5).

Matos et al., (2009) investigando o desenvolvimento da espécie *S. amazonicum* em substrato orgânico, puderam constatar que aos 90 dias, a espécie em questão obteve valor médio para número de folhas igual a 8, indicando uma correlação com a *Tabebuia roseo-alba* já que a mesma, a uma percentagem com 10% de matéria orgânica, obteve praticamente o mesmo resultado, dados que também foram observados por Arruda et al., (2021).

### 3.3 Produção de Fitomassa

Outro fator importante para a avaliação das plantas é a fitomassa seca. Na Tabela 5 têm-se os resultados das pesagens da parte aérea e radicular, na qual foram usados no cálculo para o índice de qualidade de Dickson.

**Tabela 5:** Fitomassa da *Tabebuia roseo-alba* e respectivos índices de qualidade de Dickson.

Tratamentos	H/D (cm)	MST (g)	MSPA (g)	MSR (g)	IQD
<b>T1</b>	1,938	0,112	0,060	0,052	0,036
<b>T2</b>	3,337	0,243	0,135	0,108	0,053
<b>T3</b>	4,277	0,632	0,372	0,259	0,110
<b>T4</b>	3,689	0,946	0,592	0,354	0,176
<b>T5</b>	3,834	1,048	0,656	0,392	0,190

\* T1 - Apenas rejeito (100%); T2 - Rejeito (95%) + Esterco bovino (5%); T3 - Rejeito (90%) + Esterco bovino (10%); T4 - Rejeito (85%) + Esterco bovino (15%); T5 - Rejeito (80%) + Esterco bovino (20%).  
H/D - Altura/Diâmetro; MST - Matéria seca total; MSPA - Matéria seca da parte aérea; MSR - Matéria seca radicular.

No estudo realizado, houve um incremento na massa seca da parte aérea e radicular, de acordo com o acréscimo da quantidade de esterco bovino, indicando que em maiores quantidades de matéria orgânica, a planta se cresceu melhor. Plantas cultivadas com altos níveis de cobre apresentam biomassa reduzida e sintomas de clorose, devido a um menor teor de clorofila e alterações na estrutura dos cloroplastos e composição da membrana dos tilacóides (AMBROSINI, 2016).

Greger, (2003) afirma que as plantas hiperacumuladoras possuem baixa produção de biomassa e alta acumulação de metais e que as plantas acumuladoras produzem mais biomassa, mas acumulam menos metal em relação às hiperacumuladoras.

### 3.4 Teores de cobre nos compartimentos das plantas

O acréscimo dos percentuais de matéria orgânica no rejeito de cobre influenciou os teores nos diferentes compartimentos da espécie estudada (Tabela 6).

**Tabela 6:** Quantidade de cobre referente a cada compartimento da espécie.

Tratamentos	Parte aérea (mg dm <sup>-3</sup> )	Parte radicular (mg dm <sup>-3</sup> )
<b>T1</b>	45,0	80,0
<b>T2</b>	19,0	118,0
<b>T3</b>	11,0	70,0
<b>T4</b>	10,0	63,0
<b>T5</b>	9,0	55,0

\* T1 - Apenas rejeito (100%); T2 - Rejeito (95%) + Esterco bovino (5%); T3 - Rejeito (90%) + Esterco bovino (10%); T4 - Rejeito (85%) + Esterco bovino (15%); T5 - Rejeito (80%) + Esterco bovino (20%).

Andrade, (2008) indica que essa baixa translocação do metal passado da raiz para outras partes da planta pode ser atribuída a um mecanismo de defesa da planta para um crescimento adequado em áreas de solos contaminados. Zhang et al., (2010) também afirmam que um acúmulo significativo de Cu, Zn e Cr no sistema radicular em comparação com as partes aérea pode indicar uma eficiência na contenção da translocação e/ou baixa capacidade de controle na sua absorção, impedindo-os de alcançar metabolicamente compartimentos mais ativos da parte aérea.

Marques et al., (2000) relata que espécies vegetais submetidas a elevadas concentrações de metais pesados geralmente acumulam parte do metal na raiz, ou seja, ela não consegue evitar a absorção do metal, porém delimita a sua translocação e disposição para os próximos níveis tóxicos.

De forma geral, para o trabalho com a *T. roseo-alba*, tem-se que as maiores concentrações finais de cobre apresentaram-se nos compartimentos radiculares caracterizando a espécie como uma planta que possui um dos mecanismos da fitorremediação que é a fitoestabilização.

### 3.5 Índice e Fator de Translocação, Coeficiente de Fitoextração

#### 3.5.1 Índice e Fator de Translocação

O índice de translocação (IT) e o fator de translocação (FT) são parâmetros usados para identificar a capacidade dos vegetais com potencial de translocar nos compartimentos aéreos e radiculares os metais pesados (OLIVEIRA, 2018).

No presente estudo, o IT e FT teve a finalidade de avaliar a capacidade e habilidade da planta em translocar o cobre das raízes para as partes aéreas. Assim, realizando os cálculos de acordo com a equação 2 e 3, tem-se os seguintes valores de IT e FT para cada tratamento (Tabela 7).

**Tabela 7:** Índices e fator de translocação para cada tratamento.

Tratamentos	IT (%)	FT
T1	36,00	0,56
T2	13,86	0,16
T3	13,58	0,15
T4	13,69	0,15
T5	14,06	0,16

\* T1 - Apenas rejeito (100%); T2 - Rejeito (95%) + Esterco bovino (5%); T3 - Rejeito (90%) + Esterco bovino (10%); T4 - Rejeito (85%) + Esterco bovino (15%); T5 - Rejeito (80%) + Esterco bovino (20%).

Pode-se perceber que no tratamento testemunha (T1) o IT foi maior entre todos, segundo Kabata-Pendias, (2010) afirma que o cobre não é prontamente móvel na planta devido permanecer ligado fortemente às paredes celulares das raízes, sendo os órgãos jovens os primeiros a desenvolverem sintomas de deficiência de cobre.

Andreazza & Camargo (2011) investigando áreas contaminadas com cobre cultivado com mamona (*Ricinus communis* L.) foram encontrados valores IT baixos quando as plantas foram submetidas a rejeito de mineração, sendo os ITs iguais a 0,01; 0,01 e 0,03, respectivamente. O que diferencia desta pesquisa onde os valores de IT são bem superiores, ou seja, que em relação à *R. communis* a *T. roseo-alba* se apresenta com maior capacidade de translocar o cobre em seus compartimentos aéreos e radiculares.

O fator de translocação que mostra a habilidade das espécies de translocar nutrientes que sendo superior a um (1) indica uma eficiente

habilidade da planta em translocar os metais das raízes para a parte aérea confirmando a característica de hiperacumulação e fitoextração da planta (MAHMUD et al., 2008; MELO et al., 2009). Assim, de acordo com a literatura a *T. roseo-alba* não obteve resultados satisfatórios para ser classificada com maior acurácia referente ao índice e fator de translocação.

### 3.5.2 Coeficiente de Extração

O coeficiente de extração (CE) é um parâmetro relevante para identificar espécies capazes de retirar metal pesado do solo e translocar para parte aérea. Entretanto, se esse fenômeno não ocorrer e o metal ficar retido na parte radicular após a absorção, este mecanismo é denominado de fitoestabilização (OLIVEIRA, 2018). Quanto maior esse coeficiente, maior é a absorção dos elementos pelas plantas (HENRY, 2000).

Na Tabela 8 para o CE a *T. roseo-alba* apresentou valor de fitoextração 23,68% para a parte aérea e para a parte radicular 42%, respectivamente.

**Tabela 8:** Coeficientes de extração da parte aérea e radicular.

Tratamentos	Parte aérea (%)	Radicular (%)
T1	23,68	42,10
T2	10,00	62,10
T3	5,78	36,84
T4	5,26	33,15
T5	4,73	28,94

\* T1 - Apenas rejeito (100%); T2 - Rejeito (95%) + Esterco bovino (5%); T3 - Rejeito (90%) + Esterco bovino (10%); T4 - Rejeito (85%) + Esterco bovino (15%); T5 - Rejeito (80%) + Esterco bovino (20%).

Arruda et al., (2021) estudando o potencial fitoextrator desta mesma espécie submetidas a substrato rico em cobre, verificaram que o CE resultou em valores crescentes à medida que se elevava a concentração do cobre.

Caires, (2005) estudando ipê-roxo (*Handroanthus impetiginosus*), alcançou resultados, sendo que a raiz foi o órgão que mais acumulou o cobre, assim como nesta pesquisa com o ipê-branco (*Tabebuia roseo-alba*) que de uma maneira geral possuiu essa característica de concentrar melhor o cobre em sua parte radicular.

#### 4. Conclusão

A *Tabebuia roseo-alba*, em relação aos parâmetros morfométricos, altura e diâmetro do coleto e número de folhas, ao final do experimento, obteve o melhor desenvolvimento no tratamento com a maior porcentagem de matéria orgânica, o T5 - Rejeito (80%) + Esterco bovino (20%).

Quanto ao índice de qualidade de Dickson, conclui-se que o tratamento T5 - Rejeito (80%) + Esterco bovino (20%) da *Tabebuia roseo-alba* foi satisfatório, apresentando melhores condições de sobrevivência do plantio da espécie no campo, devido a robustez da planta.

A espécie *Tabebuia roseo-alba* acumulou em suas raízes maiores concentrações do cobre, indicando que a mesma se classifica como uma espécie fitoestabilizadora nas condições de cultivo de 190 mg dm<sup>-3</sup>.

Finalmente, um substrato a base de rejeito de cobre e matéria orgânica pode ser utilizado para produção de mudas de plantas florestais, como forma de minimizar os danos causados por elementos minerais contaminantes para o meio ambiente.

#### 5. Referências

ABICHEQUER, A.D.; BOHNEN, H. Eficiência de absorção, translocação e utilização de fósforo por variedades de trigo. **R. Bras. Ci. Solo**, v. 22, p. 21-26, 1998.

AMBROSINI, V., SORIANI, H., ROSA, D., TIECHER, T., GIROTTO, E., SIMÃO, G., BRUNETTO, G. (2016). **Impacto do excesso de cobre e zinco no solo sobre videiras e plantas de cobertura**. Embrapa Uva e Vinho-Capítulo em livro técnico (INFOTECA-E), 2016.

ANDRADE, M.G. **Fitorremediação em bioensaio com solos de área de mineração e processamento de chumbo, avaliada sob diferentes métodos de extração**. 2008.

ANDREAZZA, R.; CAMARGO, F.A.O. Fitorremediação de áreas contaminadas com cobre utilizando plantas de mamona. **Ciências Agrárias**, v. 7, 2011.

ARRUDA, A.G.R.; COSTA, D.S.; TABOSA, L.D.G.; COSTA, J.R.M.; OLIVEIRA, A.K.D.; OLIVEIRA, F.K.D. Substrato a base de rejeito de mineração de cobre na produção de ipê-branco. **Revista Verde**, v. 16, n.1, p.18-26, 2021.



BARRETO, M.L. **Mineração e desenvolvimento sustentável: desafios para o Brasil**. 2001.

CAIRES, S.M. **Comportamento de mudas de espécies florestais nativas na fitorremediação de solo contaminado com zinco e cobre**. Viçosa, 2005. 81 p. Dissertação (Mestrado), Programa de Pós-Graduação em Solos e Nutrição de Plantas, Universidade Federal de Viçosa, 2005.

CAMBROLLÉ, J.; GARCÍA, J.L.; FIGUEROA, M.E.; CANTOS, M. Evaluating wild grapevine tolerance to copper toxicity. **Chemosphere**, v.1, n. 20, p. 171-178, 2015.

DA SILVA, R.F., SAIDELLES, F.L., KEMERICH, P.D., STEFFEN, R.B., SWAROWSKY, A.; DA SILVA, A.S. Crescimento e qualidade de mudas de Timbó e Dedaleiro cultivadas em solo contaminado por cobre. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 16, n. 8, 2012.

DE OLIVEIRA TRINDADE, A.; SOARES, L.O., NETO, R.O., DE SOUZA, L.E., ABICHEQUER, L.A., GONÇALVES, I.G.; CARON, F. Caracterização dos rejeitos das minas do Camaquã para reaproveitamento sustentável. **Revista Monografias Ambientais**, v. 14, p. 116-132, 2015.

DICKSON, A.; LEAF, A.L.; HOSNER, J.F. Quality appraisal of white spruce and white pine seedling stock in nurseries, v. 36, n. 1, p.10-13, 1960.

ESTRELA, M.A.; CHAVES, L.H.G.; SILVA, L.N. Fitorremediação como solução para solos contaminados por metais pesados. **Revista Ceuma Perspectivas**, v. 31, n. 1, p. 160-172, 2018.

FERREIRA, D.F. Sisvar: a computer statistical analysis system. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 35, n.6, p. 1039-1042, 2011.

GREGER, M. 2003. **Phytoremediation - Does it work?**. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON THE BIOGEOCHEMISTRY OF TRACE ELEMENTS, 7., 2003.

HENRY, J.R. An overview of the phytoremediation of lead and mercury. National Network of Environmental Management Studies (NNEMS). Washington, D. C.: U.S. **Environmental Protection Agency**, p. 51. 2000.

KABATA-PENDIAS, A. **Trace elements in soils and plants**. 4th ed. Boca Raton: CRC Press, 2010. 505p.

KUMAR, P.B.A.N.; DUSHENKOV, V.; MOTTO, H.; RASKIN, I. Phytoextraction: The use de plants to remove heavy metals from soils. **Environmental Science & Technology**, v. 29, n. 5, 1995.

LAMENGO, F.P.; VIDAL, R.A. Fitorremediação: Plantas como agentes de despoluição?. **Revista de Ecotoxicologia e Meio Ambiente**, v. 17, p. 9-18, 2007.

MAHMUD, R., INOUE, N., KASAJIMA, S.Y.; SHAHEEN, R. (2008). Assessment of potential indigenous plant species for the phytoremediation of arsenic-contaminated areas of Bangladesh. **International Journal of Phytoremediation**, v. 10, n. 2, p. 119-132. 2008.

MARCHIOL, L.; SACCO, P.; ASSOLARI, S.; ZERBI, G. Reclamation of polluted soil: Phy-toremediation potential of crop-related Brassica species. **Water Air and Soil Pollution**, v. 158, n. 1, p. 345-356, 2004.

MARQUES, T.C.L.L.S.M.; MOREIRA, F.M.S.; SIQUEIRA, J.O. Crescimento e teor de metais de mudas de espécies arbóreas cultivadas em solo contaminado com metais pesados. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 35, n. 1. p. 121-132. 2000.

MATOS, G.D., FRIGOTTO, T., MARTINS, A.P.M.; BRUN, E.J. (2009). **Desenvolvimento de mudas de paricá (*Schizolobium amazonicum* Huber ex Ducke) em substrato orgânico: estudo de caso**. Synergis musscyentifica UFTPR. 2009.

MELO, E.E.C., COSTA, E.T.S., GUILHERME, L.R.G., FAQUIN, V.; NASCIMENTO, C.W.A. Accumulation of arsenic and nutrients by castor bean plants grown on an As-enriched nutrient solution. **Journal of Hazardous Materials**, v.168, p. 479-483, 2009.

OLIVEIRA, F.K.D. (2018). 112 p. **Potencial de espécies vegetais à fitorremediação de solo contaminado com cobre**. Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade Federal da Paraíba, Areia. 2018

SILVA, A. **Cadeia Produtiva do Cobre, 2011**. Trabalho de Conclusão de Curso (Curso de especialização em Engenharia de recursos minerais-CEERMIN)- Escola de Engenharia da UFMG, Belo Horizonte, 2011.

SILVA, R.F.; ANTONIOLLI, Z.I.; LUPATINI, M.; TRINDADE, L.L.; SILVA, A.S. Tolerância de mudas de canafistula (*Peltophorum dubium* (Spreng.) Taub.)

inoculada com *Pisolithus microcarpus* a solo com excesso de cobre. **Ciência Florestal**, v. 20, n.1, p. 147-156, 2010.

SOUZA, C.A.M.; OLIVEIRA, R.B.; MARTINS-FILHO, S.; LIMA, J.S.S. Crescimento em campo de espécies florestais em diferentes condições de adubações. **Ciência Florestal**, v. 16, n. 3, 2006.

YRUELA, I. Copper in plants: acquisition, transport and interactions. **Functional Plant Biology**, v. 36, p. 409-430, 2009.

ZHANG, H.W.; HUANG, Y.; YE, X.S.; XU, F. Analysis of the contribution of acid phosphatase to P efficiency in *Brassica napus* under low phosphorus conditions. **Sci China Life Sci**, v. 53, n. 6, 2010.

## 6. Agradecimentos

A Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará e ao prof. Dr. Lourival Ferreira Cavalcante.