

PRODUÇÃO DE MUDAS DE *Schizolobium amazonicum* EM REJEITO DE MINERAÇÃO DE COBRE E FERTILIZANTE ORGÂNICO

Elyla Christal Barbosa Martins¹, Kaliane Souza da Silva¹, Anna Gabriela Rocha Arruda¹, Denilson da Silva Costa², Ângelo Kidelman Dantas de Oliveira³, Fernando Kidelmar Dantas de Oliveira⁴

¹ 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.

² Profº 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.

³ Profº do Programa de Pós-Graduação Ciências Naturais e Biotecnologias, Universidade Federal de Campina Grande, Cuité-PB, Brasil.

⁴ Profº da Unidade Acadêmica de Biologia e Química, Universidade Federal de Campina Grande, Cuité-PB, Brasil.

Email para correspondência: kidelmar@ufcg.edu.br

Resumo

O rejeito do processo de mineração de cobre depositado em barragens tem se tornado um problema socioambiental. Através da fitorremediação é possível reutilizar o rejeito de mineração para produção de mudas de espécies florestais, como o *Schizolobium amazonicum* Huber ex Ducke para cultivos em áreas degradadas. O objetivo da pesquisa foi produzir mudas de *Schizolobium amazonicum* utilizando rejeito de mineração de cobre e matéria orgânica. O experimento foi conduzido na Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará, em Marabá-PA. O delineamento experimental foi inteiramente casualizado. As avaliações morfológicas foram altura, o diâmetro de caule e o número de folhas. A fitomassa seca foi pesada e serviu para determinação do índice e fator de translocação, coeficiente de extração e índice de qualidade de Dickson. Foi realizada a análise de variância e comparadas pelo teste de Tukey a $\alpha \leq 0,05$. Com o decréscimo de cobre no substrato, houve acréscimo na altura das plantas e no número de folhas sendo que as mudas do T5 obtiveram um crescimento satisfatório, pois atingiram 60 dias com a medida morfológica da altura adequada para a espécie. Para o índice de qualidade de Dickson, as mudas se apresentaram aptas a serem cultivadas no campo.

Palavras-chave: paricá, fitorremediação, metal pesado, matéria orgânica.

Abstract

The tailings from the copper mining process deposited in dams has become a socio-environmental problem. Through phytoremediation, it is possible to reuse mining waste to produce seedlings of forest species, such as *Schizolobium amazonicum* Huber ex Ducke for cultivation in degraded areas. The objective of the research was to produce seedlings of *Schizolobium amazonicum* using copper mining tailings and organic matter. The experiment was conducted at the Federal University of the South and Southeast of Pará, in Marabá-PA. The experimental

design was completely randomized. Morphometric evaluations were height, stem diameter and number of leaves. The dry phytomass was weighed and used to determine the index and translocation factor, extraction coefficient and Dickson's quality index. Analysis of variance was performed and compared by Tukey's test at $\alpha \leq 0.05$. With the decrease of copper in the substrate, there was an increase in the height of the plants and in the number of leaves. For the Dickson quality index, the seedlings were able to be cultivated in the field.

Keywords: paricá, phytoremediation, heavy metal, organic matter.

1 Introdução

A mineração compreende um conjunto de atividades destinadas a pesquisar, descobrir, mensurar, extrair, tratar, beneficiar e transformar recursos minerais de forma a torná-los recursos econômicos e sociais (IBRAM, 2016). Este importante setor da economia é responsável por contribuir positivamente à balança comercial do Brasil. Segundo o Ministério de Minas e Energia (MME, 2019), a mineração representa 4% do Produto Interno Bruto (PIB) brasileiro e é responsável por gerar 200 mil empregos somente na indústria extrativa. No ano de 2017, as exportações de bens minerais totalizaram U\$S 27,8 bilhões, sendo o Pará, responsável por US\$ 10,6 bilhões desse valor, ou seja, 38% do total nacional, com destaque para minérios de ferro e cobre (DNPM, 2018).

Atualmente o cobre é o terceiro metal mais produzido e utilizado no mundo. A importância do cobre no desenvolvimento industrial merece destaque, pois representa a base da indústria elétrica e de equipamentos devido a sua característica de excelente condutor elétrico (SILVA, 2011).

Por conseguinte, com o advento tecnológico e crescimento da população mundial, a demanda por bens minerais, como o cobre, tem se tornado cada vez maior para atender às ilimitadas necessidades humanas. No entanto, inerente à produção da matéria-prima, existe a geração de resíduos sólidos e rejeitos decorrentes dos processos de beneficiamento mineral, dispostos em barragens de rejeitos, que as vezes tornam-se uma ameaça socioambiental.

Nesse sentido, para aliar desenvolvimento econômico e social à proteção ao meio ambiente é necessário recorrer às práticas sustentáveis. E assim, surge a fitorremediação, que pode ser definida como o uso de plantas e seus microrganismos associados, para o tratamento de solo, água ou ar contaminados. É uma tecnologia emergente com potencial para tratamento eficaz de uma larga escala de poluentes orgânicos e inorgânicos (ANDRADE; TAVARES; MAHLER, 2007).

Com o uso de técnicas de fitorremediação, é possível promover o tratamento e recuperação de solos contaminados, além de agregar utilidade a determinados resíduos, como o rejeito de mineração de cobre, que pode ser empregado como substrato para produção de mudas de determinadas plantas, como o *Schizolobium amazonicum* Huber ex Ducke (Paricá), conhecido por possuir madeira de alta qualidade para exportação, além de ser usado na produção de celulose e papel, terapia medicinal e plantios em recuperação e restauração ambiental (CARVALHO, 2007).

O objetivo geral desta pesquisa foi produzir mudas da espécie *Schizolobium amazonicum* Huber ex Ducke utilizando como substrato rejeito de mineração de cobre e matéria orgânica a diferentes percentagens. E os específicos foram investigar o crescimento inicial da espécie; avaliar o comportamento das plantas comparando o crescimento destas às proporções usadas; atribuir uso ao rejeito de mineração de cobre como substrato para produção de mudas da espécie vegetal avaliando mecanismos fitorremediadores e determinar o Índice de Qualidade de Dickson (IQD).

2. Metodologia

2.1 Localização, Clima e Substrato

O experimento foi realizado na Casa de Vegetação das Faculdades de Química e Engenharia de Minas e Meio Ambiente, da UNIFESSPA, na Unidade II, localizado à Folha 17, Quadra 04, Lote Especial, Bairro Nova Marabá, Marabá/PA. O clima da região é tropical, tendo-se como temperatura média 30 °C, possuindo maior pluviosidade no verão que no inverno.

O período experimental ocorreu de setembro a dezembro de 2018. Marabá é um município da região Amazônica, a Sudeste do Pará. Apresenta coordenadas geográficas: 05° 20' 28" Latitude Sul e 49° 05' 51" Longitude WGr. Seu clima caracteriza-se como equatorial, quente e úmido, com temperatura média anual de 26,5° C. Possui período chuvoso entre os meses de dezembro a maio e período seco entre junho e novembro, segundo a Fundação Amazônia de Amparo a Estudos e Pesquisas (FAPESPA, 2016).

O substrato utilizado no experimento foi composto de rejeito de mineração de cobre misturado à matéria orgânica, a diferentes percentagens.

O rejeito foi oriundo da Barragem do Sossego, pertencente à empresa Vale S.A., em Canaã dos Carajás/PA. A Barragem do Sossego (Figura 2) teve sua operação iniciada em 2004, e segundo dados da Agência Nacional de Mineração (2019), tem altura de 42,10 m e volume total de rejeito armazenado 108.119.279,13 m³.

Foram coletadas previamente amostras dos componentes do substrato (rejeito e matéria orgânica) e enviadas ao Laboratório de Análise Agronômica, Ambiental e Preparo de Soluções Químicas (FULLIN), para as devidas análises. A Tabela 1 mostra os resultados obtidos. Nos Apêndices estão todas as análises realizadas durante a fase experimental.

Tabela 1: Atributos químicos do rejeito de cobre e matéria orgânica, usados no experimento.

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

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

2.2 Delineamento Experimental

O delineamento experimental foi inteiramente casualizado, com cinco tratamentos e cinco repetições por tratamento, totalizando vinte e cinco parcelas experimentais. Cada parcela experimental foi constituída de cinco tubetes para mudas, onde foi realizado o semeio das sementes de *S. amazonicum*, totalizando cento e vinte e cinco unidades. Cada tratamento era composto por um percentual variado de rejeito de mineração de cobre e matéria orgânica no substrato, conforme ilustra a Tabela 2.

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

Tratamento	Rejeito (%)	Esterco bovino (%)	Massa Total (kg)
T1	100,0	0,0	10,0
T2	97,5	2,5	10,0
T3	95,0	5,0	10,0
T4	92,5	7,5	10,0
T5	90,0	10,0	10,0

T1 - Apenas rejeito (100%); T2 - Rejeito (97,5%) + Esterco bovino (2,5%); T3 - Rejeito (95%) + Esterco bovino (5%); T4 - Rejeito (92,5%) + Esterco bovino (7,5%); T5 - Rejeito (90%) + Esterco bovino (10%).

2.3 Material Vegetal e Cultivo

As sementes de *Schizolobium amazonicum* foram provenientes de empresa de reflorestamento no Pará.

A partir dos valores da Tabela 2 e por meio de cálculos simples, conseguiu-se obter a quantidade, em gramas, de rejeito e matéria orgânica que comporiam cada tratamento e suas repetições. Dessa forma, o rejeito de mineração de cobre foi colocado para secar ao ar livre e, posteriormente, realizada a pesagem da quantidade do mesmo que encheria um tubete para mudas.

Após a pesagem, o valor encontrado foi 436,348 g. Porém, ficou estabelecido o valor de 400 g para 100% de rejeito, devido a fatores como necessidade de espaço para realizar o plantio das sementes, irrigação, adição de matéria orgânica, entre outras razões que poderiam fazer transbordar o tubete com material. Nesse sentido, com os valores da Tabela 2, a quantidade de rejeito (100%) estabelecida em 400 g e partir de cálculos simples, as quantias, em gramas, de materiais que comporiam o substrato de cada tubete, para os demais tratamentos, foram encontrados, como mostra a Tabela 3.

Tabela 3: Percentual e massa 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	97,5	2,5	390,0	10,0
T3	95,0	5,0	380,0	20,0
T4	92,5	7,5	370,0	30,0
T5	90,0	10,0	360,0	40,0

T1 - Apenas rejeito (100%); T2 - Rejeito (97,5%) + Esterco bovino (2,5%); T3 - Rejeito (95%) + Esterco bovino (5%); T4 - Rejeito (92,5%) + Esterco bovino (7,5%); T5 - Rejeito (90%) + Esterco bovino (10%).

O material que compôs o substrato foi depositado em cada tubete por tratamento e repetição, todos os tubetes permaneceram por 15 dias incubados, sem serem irrigados. Foi necessário efetuar a quebra de dormência térmica das sementes previamente. O procedimento consistiu em aquecer água em um recipiente até a temperatura de 100° C, e em seguida, no mesmo, despejar as sementes deixando-as descansar por 24 horas antes do semeio. A semeadura foi feita nos tubetes, onde foi colocada uma semente em cada, à profundidade de um centímetro.

2.4 Avaliação Morfométrica de Crescimento

Após a germinação e emergência das plântulas (6 dias), as avaliações morfométricas definidas a partir da germinação, ocorreram aos 20, 40 e 60 dias. As plantas foram avaliadas quanto à altura, diâmetro de caule e número de folhas. Para aferir a altura foi utilizada régua graduada em cm, para o diâmetro do caule foi utilizado com um paquímetro digital em aço inox da marca ZAAS Precision 0-150 mm/0-6" e, a contagem de folhas por planta foi realizada de forma direta.

Para avaliação final aos 60 dias foi realizado a secção da planta na altura do colo, retirada das raízes e sua lavagem. A fitomassa vegetal foi acondicionada e identificada em sacos de papel para posterior secagem e pesagem.

Após esse procedimento, as partes aérea e radicular dos vegetais foram colocadas em estufa de marca Quimis modelo Q314M242 a 70° C por 72 h. Passado esse período a fitomassa foi retirada da estufa e pesada em balança eletrônica de precisão da marca Marte modelo AL200C. Em seguida, as plantas foram acondicionadas em sacos plásticos, devidamente identificadas e encaminhadas ao laboratório especializado, juntamente com os substratos dos tratamentos.

As aferições da altura das plantas e diâmetro do caule, além das pesagens das fitomassas secas das partes aérea e radicular foram úteis para determinação do Índice de Qualidade de Dickson (IQD), um importante indicador da qualidade de mudas, no qual são considerados critérios como a robustez e o equilíbrio da distribuição da biomassa na muda, ponderando os

resultados de vários parâmetros importantes (FONSECA et al., 2002). O maior valor de IQD indicará a muda de melhor qualidade. O cálculo é realizado a partir da equação (1) (DICKSON et al., 1960):

$$IQD = \frac{MST (g)}{\frac{H (cm)}{DC (mm)} + \frac{PMSPA (g)}{PMSR (g)}} \quad \text{Eq. 1}$$

Onde: IQD: Índice de Qualidade de Dickson; MST: massa seca total (g); H: altura da planta (cm); DC: diâmetro de caule (mm); PMSPA: peso da matéria seca da parte aérea (g); PMSR: peso da matéria seca da raiz (g).

2.5 Índice e Fator de Translocação, Coeficiente de Extração

A tolerância é caracterizada pela capacidade relativa de absorver, translocar e concentrar metais. Assim, as plantas podem ser consideradas como acumuladoras, indicadoras e excludoras, de acordo com as concentrações relativas dos metais presentes na raiz e na parte aérea. As espécies tolerantes que geralmente acumulam maiores concentrações de metais na raiz em relação à parte aérea são denominadas fitoestabilizadoras, enquanto as que acumulam maiores concentrações de metais na parte aérea em relação à raiz são chamadas de fitoextratoras. 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). Quanto maior o valor de IT, maior a quantidade translocada para a parte aérea; quanto maior o valor de FT, maior a habilidade que a planta tem para fazer o elemento translocar.

Abichequer & Bohnen, (1998) pela equação (2):

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

O cálculo do fator de translocação (FT), de acordo com a equação (3) tem a finalidade de avaliar a habilidade da planta de realizar a fitoextração, ou seja, translocar o metal pesado das raízes para as partes aéreas, comportamento desejável nos estudos de fitorremediação (MARCHIOL et al., 2004):

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

O coeficiente de extração (CE) é um parâmetro relevante para identificar espécies capazes de retirar metal pesado do solo e translocar para parte aérea (OLIVEIRA, 2018). É dado pela equação (4) (KUMAR et al., 1995):

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

2.6 Avaliação Estatística

Os dados obtidos a partir das avaliações morfométricas e do cálculo do IQD foram submetidos à análise de variância (Anava) com comparações entre médias pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade, utilizando o software Sisvar (FERREIRA, 2014). Fez-se análise de regressão das variáveis morfométricas (altura das plantas, diâmetro de caule e número de folhas) em função das percentagens de rejeito de cobre no substrato. A partir dos resultados das análises químicas das plantas realizados em laboratório foi possível calcular os índices e fator de translocação e o coeficiente de extração.

3. Resultados

3.1 Análises do Solo e da Espécie Vegetal

Na Tabela 4 estão apresentados os resultados das avaliações estatísticas realizadas sobre as aferições morfométricas.

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

Aos 20 dias (Tabela 4), para as características morfométricas altura, diâmetro de caule e número de folhas não houve alteração estatística nos tratamentos estudados, demonstrando assim, que as diferentes porcentagens de rejeito e matéria orgânica não influenciaram nos atributos supracitados.

Para os 40 dias, verifica-se variação na altura, já que T1 diferiu estatisticamente de T4 e T5, constatando a influência das quantidades de matéria orgânica nos tratamentos para o crescimento da planta. No que se refere ao diâmetro do caule e número de folhas não houve alteração estatística nos tratamentos.

Nos 60 dias as diferenças se tornaram notórias para as três variáveis morfométricas. Em relação à altura, os valores diminuíram à proporção que aumentou a quantidade de rejeito e reduziu a quantidade de matéria orgânica, conforme se observa na Figura 9, a correlação significativa entre as variáveis. À medida que a matéria orgânica foi sendo adicionada, mesmo que em quantidades mínimas, houve considerável mudança na altura das plantas, indicando que o rejeito associado à matéria orgânica proporciona condições favoráveis de crescimento à espécie.

Tabela 4: Resumo das análises de variância, referentes à altura, diâmetro do caule e número de folhas aos 20, 40 e 60 dias, de *Schizolobium amazonicum* cultivado em substrato com percentuais de rejeito de cobre e matéria orgânica.

FV	GL	Tratamento	Altura (cm)	Diâmetro do caule (mm)	Número de folhas
Tratamento	4		20 dias		
Erro	20	T1	10,40 a	3,07 a	2,10 a
Total	24	T2	10,77 a	3,22 a	2,55 a
		T3	10,20 a	3,10 a	2,45 a
		T4	12,08 a	3,11 a	2,17 a
		T5	11,18 a	2,87 a	2,55 a
CV (%)			14,16	8,13	12,97
FV	GL	Tratamento	Altura (cm)	Diâmetro do caule (mm)	Número de folhas
Tratamento	4		40 dias		
Erro	20	T1	12,26 a	3,45 a	3,42 a
Total	24	T2	14,52 ab	3,56 a	4,15 a
		T3	14,40 ab	3,30 a	3,68 a
		T4	16,30 b	3,53 a	3,67 a
		T5	15,32 b	3,49 a	5,12 a
CV (%)			8,55	5,76	23,58
FV	GL	Tratamento	Altura (cm)	Diâmetro do Caule (mm)	Número de Folhas
Tratamento	4		60 dias		
Erro	20	T1	13,31 a	3,82 a	5,50 a
Total	24	T2	15,95 ab	4,39 b	6,00 a
		T3	16,97 bc	4,06 ab	6,60 ab
		T4	19,78 cd	4,28 ab	7,18 ab
		T5	20,59 d	4,26 ab	8,84 b
CV (%)			9,41	6,35	20,13

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 ($\alpha < 0,05$).

A correlação entre as variáveis altura e porcentagem de rejeito de cobre no substrato não se apresentou de maneira significativa, conforme se pode observar na Figura 1.

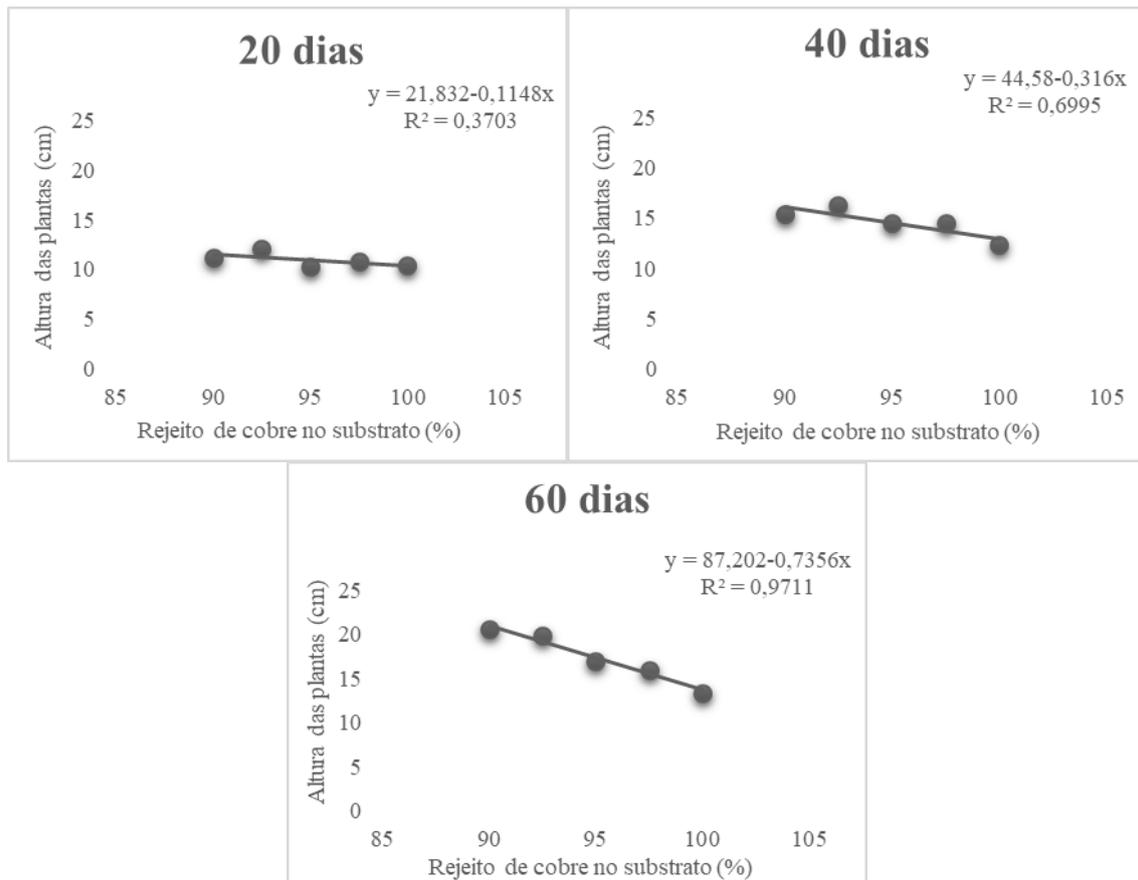


Figura 1: Altura média de plantas de *Schizolobium amazonicum* para 20, 40 e 60 dias em que T1 (100% Rejeito + 0,0% Matéria Orgânica), T2 (97,5% Rejeito + 2,5% Matéria Orgânica), T3 (95% Rejeito + 5% Matéria Orgânica), T4 (92,5% Rejeito + 7,5 Matéria Orgânica) e T5 (90% Rejeito + 10% Matéria Orgânica).

Santos et al., (2009) em estudo de adubação orgânica na cultura do milho no brejo paraibano, constataram que a menor resposta à aplicação do matéria orgânica deveu-se, possivelmente, à sua menor velocidade de decomposição e sua lenta liberação dos nutrientes para a cultura, o que pode explicar o porquê das diferentes porcentagens de matéria orgânica para 20 dias, não influenciarem na altura, diâmetro de caule e número de folhas, o que, já para 40 e 60 dias, pôde-se observar a influência da presença do mesmo.

No trabalho de Vieira e Weber, (2013) em que se verificou a influência de compostos orgânicos no crescimento de mudas de *Schizolobium amazonicum*, as autoras observaram que a altura das mudas de paricá foi influenciada positivamente pela adição de substrato orgânico à terra de mata, sendo que no tratamento sem adição de substrato orgânico as mudas apresentaram o menor crescimento, conforme se constatou na presente

pesquisa, em que para 40 e 60 dias, os tratamentos que possuíam maior quantidade de matéria orgânica apresentaram maior altura.

Oliveira, (2018) ao analisar o potencial de espécies vegetais à fitorremediação de solo contaminado com cobre, identificou que em relação ao *S. amazonicum*, à medida que as doses de cobre foram sendo acrescentadas a espécie foi reduzindo em altura, o que corrobora com o presente trabalho, ao analisar a Figura 1, onde os valores de altura diminuíram à proporção que aumentou a quantidade de rejeito. No entanto, segundo Carvalho, (2007) as mudas de *S. amazonicum* atingem tamanho adequado para plantio em campo entre 20 a 35 cm de altura, cerca de 60 dias após a sementeira, o que pode ser observado em T5 (60 dias), que atingiu o valor 20,59 cm, estando dentro dos padrões indicados para plantio em campo, e mostra que, mesmo possuindo elevada quantidade de rejeito de mineração (90%) e concentração de 171,8 mg dm⁻³ de cobre o contaminante não impediu o crescimento da espécie.

Com relação ao diâmetro do caule e porcentagem de rejeito de cobre no substrato, tanto para 20, 40 e 60 dias, não houve correlação significativa entre as variáveis, como se verifica na Figura 2.

Silva et al., (2012) analisando o crescimento e qualidade de mudas de *Ateleia glazioviana* (Timbó) e *Lafoensia pacari* (Dedaleiro) cultivadas em solo contaminado por cobre, notaram que o aumento da concentração de cobre para as espécies não aumentou o diâmetro destas, atingindo, para 192 mg dm⁻³, 3,74 e 2,85 mm, respectivamente, valores inferiores aos encontrados para 60 dias em *S. amazonicum* neste trabalho, que atingiu 4,39 mm no T2 na concentração de 185,45 mg dm⁻³ de cobre.

Vieira e Weber, (2013) encontraram diâmetro de caule de 4,12 mm para *S. amazonicum* cultivado em substrato composto de 100% de matéria orgânica, e isso demonstra que os valores encontrados na presente pesquisa foram satisfatórios para esse parâmetro morfométrico, já que variaram entre 3,82 e 4,39 mm, em substratos que possuíam de 90 a 100% de rejeito de cobre e 0 a 10% de matéria orgânica.

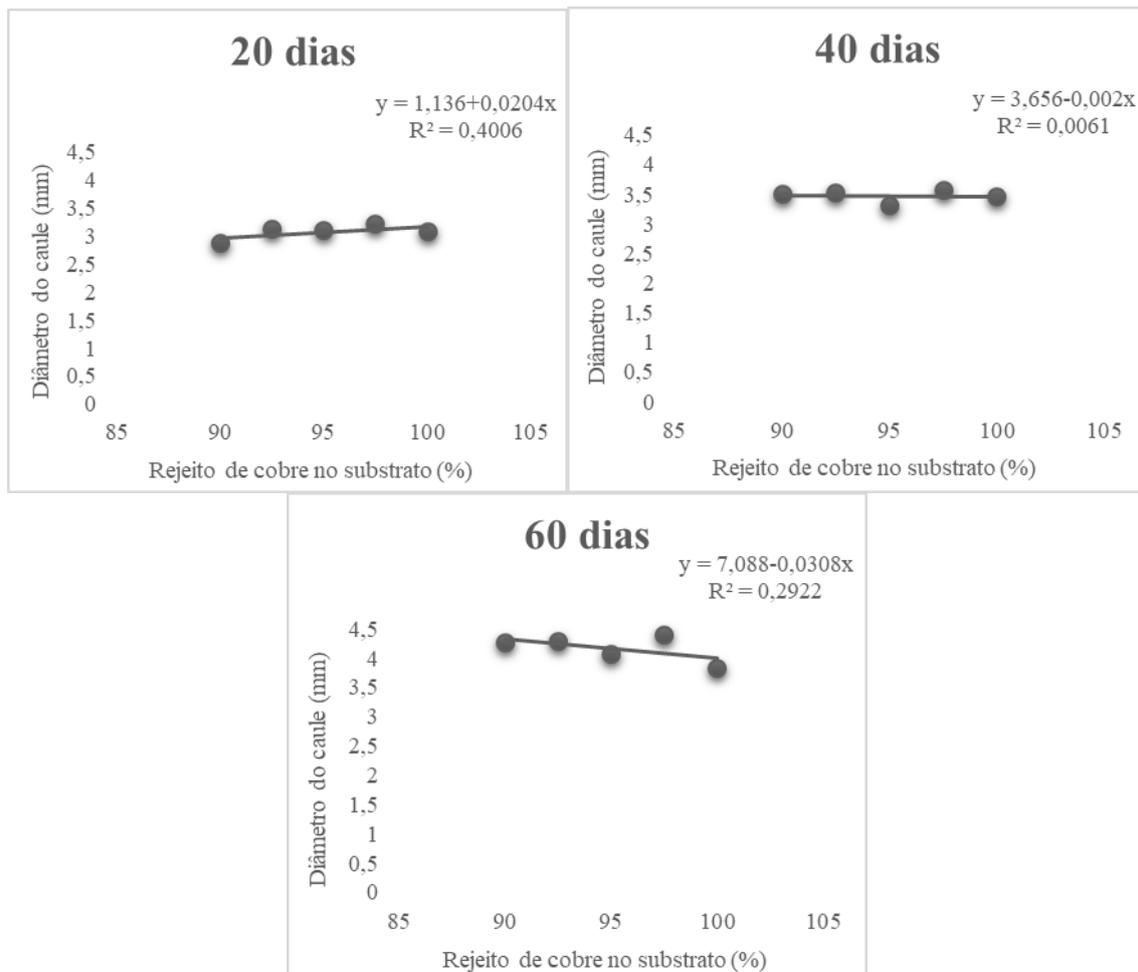


Figura 2: Diâmetro médio do caule para 20, 40 e 60 dias de *Schizolobium amazonicum* em que T1 (100% Rejeito + 0,0% Matéria Orgânica), T2 (97,5% Rejeito + 2,5% Matéria Orgânica), T3 (95% Rejeito + 5% Matéria Orgânica), T4 (92,5% Rejeito + 7,5% Matéria Orgânica) e T5 (90% Rejeito + 10% Matéria Orgânica).

Segundo Oliveira, (2018) o diâmetro de caule no *S. amazonicum* se manteve mesmo com o acréscimo do cobre ao substrato, o que se pode observar, principalmente, para 60 dias, que T2, mesmo na mesma concentração de rejeito de cobre no substrato, apresentou valor significativo de diâmetro de caule.

O número de folhas das plantas, aos 60 dias, foi afetado pela nula e baixa quantidade de matéria orgânica nos T1 e T2, respectivamente, já que esses apresentaram valores inferiores em relação ao T5. Os valores do número de folhas diminuíram à proporção que aumentou a percentagem de rejeito de cobre e reduziu a taxa percentual de matéria orgânica, conforme se verifica na Figura 3 a correlação significativa entre as variáveis.

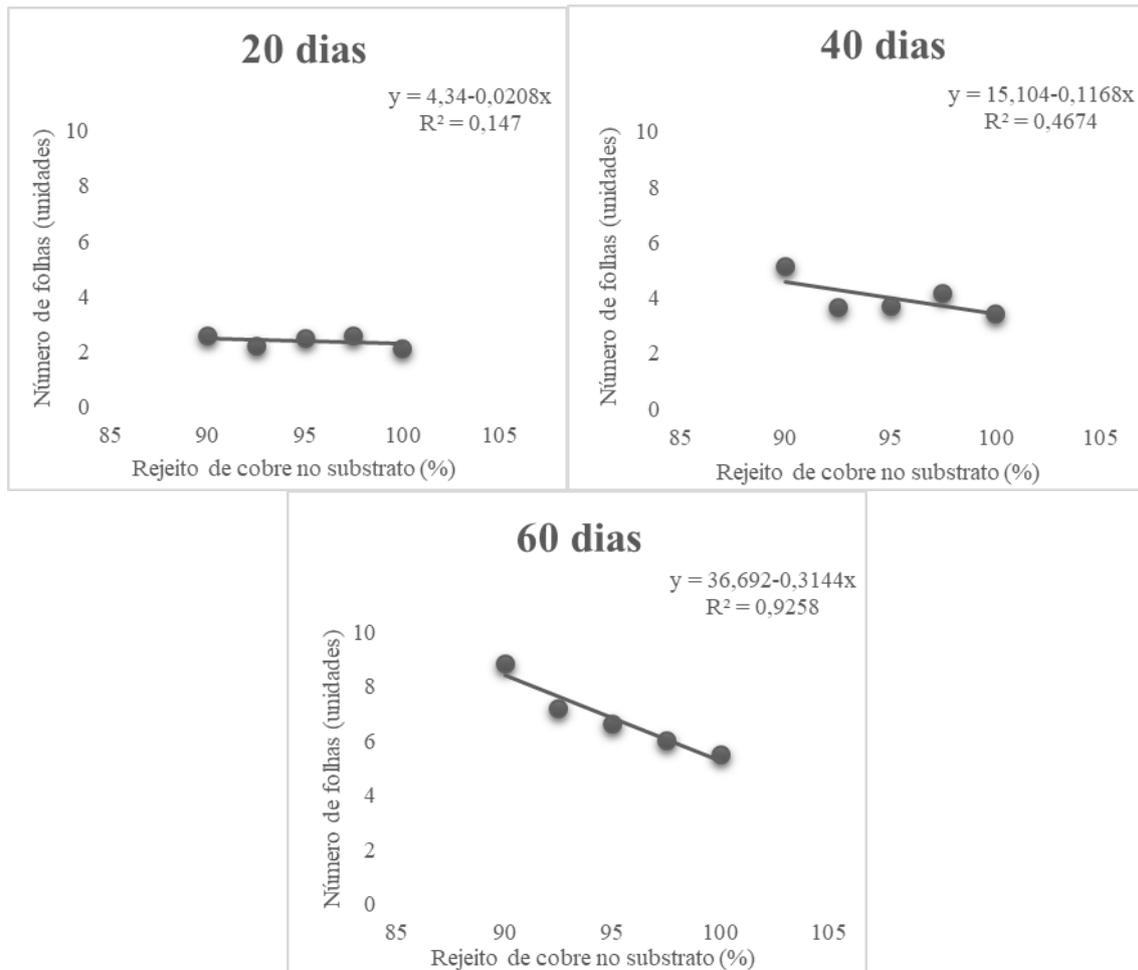


Figura 3: Número médio de folhas para 20, 40 e 60 dias de *Schizolobium amazonicum* em que T1 (100% Rejeito + 0,0% Matéria Orgânica), T2 (97,5% Rejeito + 2,5% Matéria Orgânica), T3 (95% Rejeito + 5% Matéria Orgânica), T4 (92,5% Rejeito + 7,5% Matéria Orgânica) e T5 (90% Rejeito + 10% Matéria Orgânica).

De acordo com Matos et al., (2009) no estudo de crescimento de mudas de *S. amazonicum* em substrato orgânico, os valores encontrados para o número de folhas na avaliação do desenvolvimento das mudas, aos 60 dias, foram 3 folhas, valor inferior ao encontrado na presente pesquisa, que variou entre 5,50 e 8,84, o que demonstra que mesmo com a presença do contaminante, os valores foram superiores.

Na Tabela 5 está apresentado o resultado da avaliação estatística realizada sobre o IQD aos 60 dias.

Tabela 5: Resumo da análise de variância, referente ao Índice de qualidade de Dickson (IQD) aos 60 dias, de *Schizolobium amazonicum* cultivado em substrato com percentuais de rejeito de cobre e matéria orgânica.

FV	GL	Tratamentos	IQD
Tratamento	4		60 dias
Erro	20	T1	0,92 a
Total	24	T2	1,24 ab
		T3	1,41 b
		T4	1,21 ab
		T5	1,29 ab
CV (%)			19,65

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

*Números seguidos pela mesma letra ou sequência de letras na coluna são estatisticamente iguais entre si, pelo teste Tukey, a 5%.

Para o IQD, as mudas apresentaram ser de boa qualidade e houve diferença estatística apenas entre T1 e T3. Azevedo et al., (2010) relataram que o IQD é um ótimo indicador da qualidade de mudas, porque leva em conta em seu cálculo a robustez e o equilíbrio da distribuição da biomassa na muda, ponderando os resultados de parâmetros importantes utilizados na avaliação da qualidade de mudas, como a altura, o diâmetro, matéria seca parte aérea, raiz e também a total.

Caione, Lange & Schoninger (2012), pesquisando sobre crescimento de mudas de *Schizolobium amazonicum* em substrato fertilizado com nitrogênio, fósforo e potássio, observaram valores de IQD na faixa de 0,29 a 0,38. Para substratos compostos de 100% solo e 100% matéria orgânica na produção de mudas de *S. amazonicum*, Vieira & Weber (2013) encontraram valores de 0,10 e 0,27, respectivamente. Isso demonstra que mesmo com a presença de fertilizantes, as mudas de *S. amazonicum*, das pesquisas supracitadas apresentaram valores inferiores ao encontrados neste trabalho, já que para T1 que não possuía nenhum tipo de adubação, o valor de IQD foi de 0,92.

A partir dos valores da Tabela 6 é possível verificar que *S. amazonicum* apresentou o índice de translocação variando de 4,76 a 1,84%. No substrato contendo maior e menor quantidade de cobre, respectivamente, a planta conseguiu translocar para a parte aérea um maior percentual de cobre existente, no entanto, para os demais tratamentos IT e FT foram reduzidos.

Tabela 6: Índice de translocação (IT) e fator de translocação (FT) em *Schizolobium amazonicum* para os tratamentos utilizados.

Tratamentos	IT (%)	FT
T1 (100% Rejeito)	4,76 (100%)	0,05
T2 (97,5% Rejeito)	2,26 (47,48%)	0,02
T3 (95% Rejeito)	2,54 (53,36%)	0,03
T4 (92,5% Rejeito)	1,84 (38,66%)	0,02
T5 (90% Rejeito)	4,55 (95,59%)	0,05

Os valores de Coeficiente de Extração (CE) dos tratamentos para *S. amazonicum* foram, para a parte aérea 7,89% (T1 e T5) e 4,74% (T2, T3 e T4) e para parte radicular 157,89% (T1), 205,26% (T2), 181,58% (T3), 252,63% (T4) e 165,79% (T5), conforme se observa na Tabela 7.

Tabela 7: Coeficiente de extração (CE) em *Schizolobium amazonicum* para os tratamentos utilizados.

Tratamentos	CE - PA (%)	CE - PR (%)
T1 (100% Rejeito)	7,89	157,89
T2 (97,5% Rejeito)	4,74	205,26
T3 (95% Rejeito)	4,74	181,58
T4 (92,5% Rejeito)	4,74	252,63
T5 (90% Rejeito)	7,89	165,79

PA = Parte aérea; PR = Parte radicular.

A alta porcentagem observada para a parte radicular ocorreu devido a um aumento na concentração de cobre nas raízes. Ao final do experimento as amostras foram enviadas à laboratório especializado para detecção da quantidade de cobre presente, e os resultados podem ser visualizados na Tabela 8.

Tabela 8: Quantidade de cobre em mg dm^{-3} presente na parte radicular de em *Schizolobium amazonicum* após análise química.

Tratamentos	Parte Radicular (mg dm^{-3})
T1	300,0
T2	390,0
T3	345,0
T4	480,0
T5	315,0

Os valores observados (Tabela 8) diferem do encontrado na primeira análise para detecção da quantidade de cobre no rejeito de mineração, conforme apresentado na Tabela 1 (190 mg dm^{-3}). O aumento da concentração de cobre foi ocasionado, possivelmente, por esta espécie ter a capacidade, através das

bactérias nitrificadoras, de absorver nitrogênio da atmosfera e proporcionar atividade bacteriana em suas raízes. A presença de matéria orgânica, irrigação diária e temperatura podem ter tido influência no enriquecimento da microbiota na rizosfera, proporcionando uma maior solubilidade do metal cobre, corroborando com Mench & Martin (1991) ao afirmarem que as raízes podem liberar os chamados “fitossideróforos”, que complexam fortemente com metais como Fe, Cd, Cu e Zn e que exsudatos de raiz solúveis aumentam a solubilidade dos metais na rizosfera, dependendo das espécies de plantas.

Os maiores valores de CE apresentam-se nas raízes, indicando que o metal ficou contido, em grande quantidade, na parte radicular, demonstrando capacidade de espécie de fitoestabilização. No entanto, segundo Kumar et al. (1995), o coeficiente de extração de *Brassica juncea* (mostarda-da-Índia) em solo contaminado com cobre, foi de 7, e na presente pesquisa, para T1 e T5 os valores de CE foram de 7,89, indicando assim, uma possível fitoextração nesses dois tratamentos.

4. Conclusão

Para a produção de mudas de *Schizolobium amazonicum* o rejeito de mineração de Cu associado à matéria orgânica proporcionou bom desempenho nas medidas morfométricas, sendo possível atribuir reuso do rejeito de Cu como alternativa a produção de mudas em viveiro.

As mudas produzidas com 90% de rejeito de mineração de Cu e 10% de matéria orgânica (T5) alcançaram média de altura prevista nos padrões indicados para plantio em campo, o que comprovou que o contaminante não impediu o crescimento do *Schizolobium amazonicum*.

Para o índice de qualidade de Dickson as mudas apresentaram boa qualidade para ir ao campo.

Os maiores valores do CE apresentam-se nas raízes, indicando que o metal ficou contido, em grande quantidade, na parte radicular, demonstrando capacidade da espécie de fitoestabilização do Cu.

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.
- ANDRADE, J. C. M.; TAVARES, S. R. L.; MAHLER, C. F. **Fitorremediação: o uso de plantas na melhoria da qualidade ambiental**. São Paulo: Oficina de Textos, 2007. 176 p.
- AZEVEDO, I. M. G.; ALENCAR, R. M.; BARBOSA, A. P.; ALMEIDA, N. O. O estudo do crescimento e qualidade de mudas de marupá (*Simarouba amara* Aubl.) em viveiro. **Acta Amazônica**, v. 40, n.1, p. 157-164. 2010.
- BARBOSA, R. H.; TABALDI, L. A.; MIYAZAKI, F. R.; PILECCO, M.; KASSAB, S. O.; BIGATON, D. Foliar copper uptake by maize plants: effects on growth and yield. **Ciência Rural**, v.43, n.9, p.1561-1568. 2013.
- BRASIL**. Agência Nacional de Mineração. Classificação das Barragens de Mineração Brasileiras – Data Base Janeiro/2019. Disponível em: <<http://www.anm.gov.br/assuntos/barragens/arquivos-barragens/extracao-sigbm-para-classificacao-atualizada-em-23-01.2019>>. Acesso em: 14 jun. 2019.
- BRASIL**. Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM). Informe Mineral do Estado do Pará 2017. Belém, 2018. 12 p.
- BRASIL**. Instituto Brasileiro de Mineração (IBRAM). Gestão e Manejo de Rejeitos da Mineração. Brasília, 2016. 128 p.
- CAIONE, G.; LANGE, A.; SCHONINGER, G. L. Crescimento de mudas de *Schizolobium amazonicum* (Huber ex Ducke) em substrato fertilizado com nitrogênio, fósforo e potássio. **Scientia Forestalis**, v. 40, n. 94, p. 213-221. 2012.
- CARVALHO, P. E. R. **Paricá *Schizolobium amazonicum***. Colombo: EMBRAPA-CPATU. (Circular Técnica, 142). 2007. 8 p.
- DICKSON, A.; LEAF, A.L.; HOSNER, J.F. Quality appraisal of white spruce and white pine seedling stock in nurseries. **The Forestry Chronicle**, v. 36, p. 10-13. 1960.
- FERREIRA, D.F. Sisvar: a guide for its bootstrap procedures in multiple comparisons. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 38, n. 2, p. 109-112, 2014.

FONSECA, E. P.; VALÉRI, S. V.; MIGLIORANZA, E.; FONSECA, N. A. N.; COUTO, L. Padrão de qualidade de mudas de *Trema micrantha* (L.) Blume, produzidas sob diferentes períodos de sombreamento. **Revista Árvore**, v. 26, n.4, p.515-523. 2002.

FUNDAÇÃO AMAZÔNICA DE AMPARO A ESTUDOS E PESQUISAS (FAPESPA). Estatísticas Municipais Paraenses: Marabá. Belém, 2016. 60 f.

KUMAR, P. B. N.; DUSHENKOV, V.; MOTTO, H.; RASKIN, I. Phytoextraction: the use of plants to remove heavy metals from soils. **Environmental Science Technology**, v. 29, n. 5, p. 1232-1238, 1995.

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

MATOS, G. D.; FRIGOTTO, T.; MARTINS, A. P. M.; BRUN, E. J. Desenvolvimento de mudas de paricá (*Schizolobium amazonicum* Huber. ex Ducke.) em substrato orgânico – estudo de caso. **Synergismus scyentifica**, v. 4, n. 1. 2009.

MENCH, M.; MARTIN, E. Mobilization of cadmium and other metals from two soils by root exudates of *Zea mays* L., *Nicotiana tabacum* L. and *Nicotiana rustica* L. **Plant and Soil**, v. 132, p. 187-196, 1991.

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

SANTOS, J. F.; GRANGEIRO, J. I. T.; OLIVEIRA, M. E. C.; BEZERRA, S. A. L.; SANTOS, M. C. C. A. Adubação Orgânica na Cultura do Milho no Brejo Paraibano. **Engenharia Ambiental**, v. 6, n. 2, p. 209-216. 2009.

SILVA, A. G. G. Cadeia Produtiva do Cobre. 2011. 89 f. **Monografia** (Especialização em Engenharia de Recursos Minerais) – Curso de Especialização em Engenharia de Recursos Minerais (CEERMIN), Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte (MG), 2011.

SILVA, R. F.; SAIDELLES, F. L. F.; KEMERICH, P. D. C.; STEFFEN, R. B.; SWAROWSKY, A.; 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, p. 881-886. 2012.

VIEIRA, C. R.; WEBER, O. L. S. Compostos Orgânicos no Crescimento Inicial de Mudas de Paricá. Instituto Brasileiro de Estudos Ambientais, **CONGRESSO BRASILEIRO DE GESTÃO AMBIENTAL, 4.**, 2013, Salvador.

6. Agradecimentos

A Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará e aos professores Dr. José Pires Dantas e Dr. Lourival Ferreira Cavalcante.