

VICTOR DE PAULA SCUTARI

**INFLUÊNCIA DE DIFERENTES CONCENTRAÇÕES DO REJEITO DA
MINERAÇÃO DO LÍTIO SOBRE A EMERGÊNCIA E O DESENVOLVIMENTO DE
QUATRO ESPÉCIES DE LEGUMINOSAS FORRAGEIRAS**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ecologia, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

Orientador: Cleberson Ribeiro

**VIÇOSA
MINAS GERAIS
2023**

**Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Central da Universidade
Federal de Viçosa - Campus Viçosa**

T

S437i Scutari, Victor de Paula, 1995-

2023 Influência de diferentes concentrações do rejeito da mineração do lítio sobre a emergência e o desenvolvimento de quatro espécies de leguminosas forrageiras / Victor de Paula Scutari. – Viçosa, MG, 2023.

1 dissertação eletrônica (33 f.): il. (algumas color.).

Orientador: Cleberson Ribeiro.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Viçosa, Departamento de Biologia Geral, 2023.

Referências bibliográficas: f. 28-31.

DOI: <https://doi.org/10.47328/ufvbbt.2023.773>

Modo de acesso: World Wide Web.

1. Revegetação. 2. Reflorestamento. 3. Células de lítio.
4. Solos - Conservação. I. Ribeiro, Cleberson, 1980-.
II. Universidade Federal de Viçosa. Departamento de Biologia Geral. Programa de Pós-Graduação em Ecologia. III. Título.

CDD 22. ed. 577.3

Bibliotecário(a) responsável: Alice Regina Pinto Pires CRB-6/2523

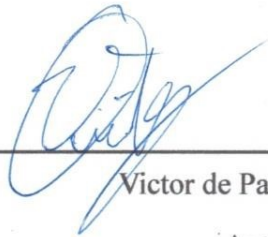
VICTOR DE PAULA SCUTARI

**INFLUÊNCIA DE DIFERENTES CONCENTRAÇÕES DO REJEITO DA
MINERAÇÃO DO LÍTIO SOBRE A EMERGÊNCIA E O DESENVOLVIMENTO DE
QUATRO ESPÉCIES DE LEGUMINOSAS FORRAGEIRAS**

Dissertação apresentada à Universidade Federal
de Viçosa, como parte das exigências do
Programa de Pós-Graduação em Ecologia, para
obtenção do título de *Magister Scientiae*.

APROVADA: 03/08/2023

Assentimento:



Victor de Paula Scutari

Autor



Cleberson Ribeiro

Orientador

AGRADECIMENTOS

A minha mãe Sandra que me deu a base para chegar até aqui!

A minha noiva, e tão breve futura esposa, Marianne Ribeiro de Almeida que foi e para sempre será o melhor presente que Viçosa me deu. Sem você meus sonhos não teriam saído do mundo das ideias, tenho que agradecer por toda sua força e vontade de viver.

Ao Professor Cleberson Ribeiro pela incrível orientação, que além de reestruturar a imagem de como um orientador deve ser, trouxe com ele uma alegria e vontade de fazer ciência.

À Universidade Federal de Viçosa, pela graduação maravilhosa e a oportunidade de realizar o Mestrado.

Ao Programa de Pós-graduação em Ecologia que me acolheu e trouxe com ela toda a estrutura para o desenvolvimento deste trabalho.

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG), pelo apoio financeiro.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES)

A todos os colegas que partilham a sala 249 diariamente, sem a constante troca de conhecimento, conversa fiada e cafezinhos essa pesquisa não teria acontecido.

RESUMO

SCUTARI, Victor de Paula, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, Agosto de 2023. **Influência de diferentes concentrações do rejeito da mineração do lítio sobre a emergência e o desenvolvimento de quatro espécies de leguminosas forrageiras.** Orientador: Cleberson Ribeiro.

A utilização do lítio em baterias cresceu juntamente com a necessidade de sua extração do ambiente, aumentando assim a preocupação com a contaminação ambiental gerada pela mineração e seus rejeitos. Neste contexto, a utilização de plantas pioneiras para a revegetação e a recolonização de áreas afetadas pela mineração vêm sendo estudada, buscando identificar espécies que apresentam altos índices de fixação de plântulas e desenvolvimento em substratos antropizados. Dentre as espécies vegetais, as leguminosas forrageiras apresentam grande destaque devido a sua importância na fixação de nitrogênio no solo e resistência a condições de solos pobres com baixa fertilidade. Assim, o objetivo deste trabalho foi entender como diferentes concentrações do rejeito da mineração do lítio influenciam na emergência e no desenvolvimento de quatro espécies de leguminosas forrageiras já utilizadas em processos de revegetação destas áreas, sendo elas: *Crotalaria juncea*, *Cajanus cajan*, *Lupinus albus* e *Canavalia ensiformis*. Para os experimentos foram utilizados quatro grupos de substratos: 1) Grupo Solo: solo natural; 2) Grupo Rejeito: rejeito da mineração do lítio; 3) Grupo Solo+Rejeito: solos natural e rejeito da mineração do lítio 1:1 (v/v); 4) Grupo Pilha: 80% rejeito da mineração do lítio (parte inferior) e 20% solo natural (parte superior). O teste de emergência teve duração de 31 dias com contagem de indivíduos emergidos diariamente. Para isso os tratamentos foram montados com 5 kg do substrato seco distribuídos em quatro bandejas e cada tratamento continha 100 sementes de cada uma das quatro espécies vegetais. Para o teste de crescimento foram montados 96 vasos, sendo 24 para cada tratamento. As quatro espécies vegetais foram organizadas em seis repetições por tratamentos e foram mantidas em casa de vegetação por 52 dias. Todos indivíduos tiveram suas raízes e partes aéreas medidas e ainda as raízes escaneadas para obtenção dos valores de número de pontas de raiz, número de bifurcações e volume da raiz (cm³). Os tratamentos Pilha e Rejeito apresentaram menores valores de porcentagem de emergência (E%) para as espécies *C. juncea*, *C. cajan* e *C. ensiformis*, enquanto *L. albus* apresentou E% superiores a 60% em todos os tratamentos. Quanto aos parâmetros morfométricos, para o tratamento rejeito as espécies *C. juncea*, *C. cajan* e *C. ensiformes* apresentaram menores valores tanto no desenvolvimento das raízes quanto da parte aérea.

Por outro lado, os tratamentos Solo+Rejeito e Pilha mitigaram os efeitos negativos na massa seca e no comprimento da parte aérea de *C. juncea* e *C. ensiformes*. A espécie *L. albus* apresentou maiores valores para todos os parâmetros analisados nos tratamentos que apresentavam rejeito da mineração do lítio. Os indivíduos de *C. cajan* acondicionados nos tratamentos com rejeito apresentaram menores valores para todos os parâmetros, indicando o desenvolvimento desfavorável neste substrato. Assim, com base nas análises deste trabalho, podemos considerar as espécies *L. albus* e *C. ensiformis* como potenciais espécies para projetos de revegetação e recolonização de áreas afetadas pela mineração do lítio.

Palavras-chave: Revegetação; Restauração; Baterias Lítio-ion; Recolonização, Germinação.

ABSTRACT

SCUTARI, Victor de Paula, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, August de 2023. **Influence of different concentrations of lithium mining waste on the emergence and development of four species of forage legumes.** Advisor: Cleberson Ribeiro.

The use of lithium (Li) in batteries has grown alongside the need for extraction of this metal from the environment, thus increasing the concern about the environmental contamination generated by mining and their wastes. In this context, the use of pioneer plants for revegetation and recolonization of areas affected by mining has been studied aiming to identify species that show high rates of seedling fixation and development in these anthropized substrates. Among these species, forage legumes stand out due to their importance in nitrogen fixation in the soil and resistance to poor soil conditions with low fertility. Thus, the objective of this study was to understand how different concentrations of lithium mining waste influence the emergence and development of four forage legume species already used in the revegetation processes of these areas: *Crotalaria juncea*, *Cajanus cajan*, *Lupinus albus*, and *Canavalia ensiformis*. Four substrate groups were used for the experiments: 1) “Solo” Group: natural soil; 2) “Rejeito” Group: lithium mining waste; 3) “Solo+Rejeito” Group: natural soil and lithium mining waste 1:1 (v/v); 4) “Pilha” Group: 80% lithium mining waste (bottom part) and 20% natural soil (top part). The emergence test lasted 31 days with daily counts of emerged individuals. For this, the treatments were set up with 5 kg of dry substrate distributed in four trays, and each treatment contained 100 seeds of each of the four plant species. For the growth test, 96 pots

were set up, with 24 for each treatment. The four plant species were arranged in six repetitions per treatment and were kept in a greenhouse for 52 days. All individuals had their roots and shoots measured, and the roots were scanned to obtain values for the number of root tips, number of bifurcations, and root volume (cm³). The “Pilha” and “Rejeito” treatments showed lower values of emergence percentage (E%) for the species *C. juncea*, *C. cajan*, and *C. ensiformis*, while *L. albus* showed E% above 60% in all treatments. Regarding morphometric parameters, for the “Rejeito” treatment, the species *C. juncea*, *C. cajan*, and *C. ensiformis* presented lower values for both roots and shoots development. On the other hand, the “Solo+Rejeito” and “Pilha” treatments mitigated the negative effects on dry mass and shoot length for *C. juncea* and *C. ensiformis*. The species *L. albus* showed higher values for all analyzed parameters in treatments containing lithium mining waste. Individuals of *C. cajan* placed in treatments with waste showed lower values for all parameters, indicating unfavorable development in this substrate. Thus, based on the analyses of this study, we can consider the species *L. albus* and *C. ensiformis* as potential species for revegetation and recolonization projects in areas affected by lithium mining.

Keywords: Revegetation; Restoration; Lithium-ion Batteries; Recolonization; Germination.

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	8
MATERIAIS E MÉTODOS	10
Material vegetal e Condições experimentais	10
Capacidade de Campo	12
Teste de Emergência	12
Teste de Crescimento	13
Delineamento Estatístico	14
RESULTADOS	14
Teste de Emergência	14
Teste de Crescimento	17
DISCUSSÃO	25
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	28
MATERIAL SUPLEMENTAR	32

INTRODUÇÃO

O lítio (Li) é um metal alcalino com ampla distribuição geográfica, sendo encontrado principalmente nos minérios espodumênio, petalita (aluminossilicatos de lítio), lepidolita (micas) e amblygonita (fosfato de lítio) (HABASHI, 1997), estando o espodumênio entre os minérios com maior viabilidade econômica para extração do Li (BRAGA; SAMPAIO, 2008; KARRECH et al., 2020). No Brasil, este metal é encontrado principalmente em pegmatitos graníticos na Província Pegmatítica Oriental definida por Paiva (1946) e localizada em sua grande maioria no estado de Minas Gerais, estendendo-se ainda pela Bahia, Espírito Santo e Rio de Janeiro (ALECRIM, 1982; PAES et al., 2016). A Província Pegmatítica Oriental abrange principalmente os municípios de Araçuaí e Itinga (MG), estando o Campo Pegmatítico de Itinga na porção sudoeste deste município (ALECRIM, 1982; PAES et al., 2016). Como relatado pelo Anuário Mineral Brasileiro de 2010, este Campo representa toda a extração bruta do país, sendo o espodumênio correspondente a 96,5% da produção mineral (BRASIL, 2010).

Com o constante avanço tecnológico e grande consumo de aparelhos eletrônicos, a necessidade de produzir-se baterias Lítio-íon vem aumentando drasticamente nas últimas décadas (ZHANG et al., 2019). No ano de 2017, houve uma produção mundial de lítio de 1.929 toneladas, enquanto em 2021 a produção alcançou 100.000 toneladas (KELLY; MATO, 2017; U.S. GEOLOGICAL SURVEY, 2022). O lítio ainda é utilizado nas indústrias de cerâmicas e vidros, ampliando a resistência física destes materiais (DE KOK et al., 2017), na produção de graxas lubrificantes (NABHAN et al., 2021) e em indústrias farmacêuticas na manipulação de remédios para tratamentos psiquiátricos de distúrbios bipolares, depressão e agressividade (YOUNG, 2009; SCHÄFER, 2012; GOLDSTEIN; MASCITELLI, 2016; SHAHZAD et al., 2017).

Assim, de forma proporcional à expansão do uso do lítio pelo mundo, cresce a preocupação com a contaminação ambiental proveniente da mineração, produção de rejeitos e do descarte inadequado de baterias (LARCHER; TARASCON, 2015; HAN et al., 2018; XIONG; JI; MA, 2020). Existem diversas técnicas para imobilizar resíduos provenientes da mineração, porém a reabilitação de áreas afetadas só é alcançada de forma realista quando comunidades vegetais são implementadas, estabilizando poluentes presentes no substrato (YE et al., 2002). No entanto, o estabelecimento de vegetação em rejeitos provenientes da mineração é muito dificultado por conta das características físico-químicas destes subprodutos (KOSSOFF et al., 2014; LUNA WOLTER; DHAR; NAETH, 2021). Além disso,

estes rejeitos podem conter concentrações tóxicas de metais e metalóides como As, Cu, Pb e Zn, assim como baixos níveis de nutrientes, estrutura física deficiente e salinidade excessiva (KOSSOFF et al., 2014).

O rejeito da mineração do lítio é considerado infértil, com baixa retenção de água para as plantas e com textura argilosa desfavorável para o desenvolvimento de raízes (ELEKTOROWICZ; KEROPIAN, 2015). Assim, a revegetação de áreas de mineração vem sendo um desafio para a recuperação de ecossistemas degradados (WALMER et al., 2020). Desta forma o uso de plantas leguminosas de fácil dispersão, rápido desenvolvimento de raízes e resistência a condições ambientais adversas vem mostrando-se como uma estratégia promissora para a revegetação de ambientes degradados, não somente pela mineração (PEREIRA, 2006; LI et al., 2019).

As plantas leguminosas são consideradas importantes fixadoras de nitrogênio no solo, devido à sua capacidade de resistir a condições ácidas e baixa fertilidade do solo (CALLES; SCHULTZE-KRAFT, 2010; CHAVES et al., 2016). No presente trabalho foram selecionadas quatro espécies de leguminosas já utilizadas em projetos de revegetação e cobertura de pilhas de rejeito de mineração de lítio (CBL, 2023). Sendo elas: *Crotalaria juncea* L., utilizada amplamente em métodos de adubação verde, devido a capacidade de implementar nutrientes ao substrato e na fixação de nitrogênio (SANTOS et al., 2010; SILVA; CORREIA, 2014); *Cajanus cajan* (L.) Huth, utilizada em sistemas agroflorestais perenes como implementador da fertilidade do solo (ABUGRE; TWUM-AMPOFO, 2012); *Lupinus albus* L., que apresenta relações simbióticas com comunidades rizosféricas, fixando N₂, e apresenta alta tolerância a solos com deficiências nutricionais (FUJIISHI; MAEJIMA; WATANABE, 2020); e *Canavalia ensiformis* (L.) DC., resistente a solos ácidos e adaptada a solos com texturas argilosas, sendo utilizada amplamente na adubação verde e no controle de erosão (SANTOS et al., 2010; LÓPEZ, 2012). As quatro espécies foram utilizadas nos testes de germinação e desenvolvimento com substratos simulando condições presentes em regiões da mineração de lítio.

Assim, considerando a utilização destas quatro espécies leguminosas na revegetação de ambientes alterados pela mineração, este trabalho foi desenvolvido com o intuito de testar a respostas destas plantas frente às condições físico-químicas dos substratos com diferentes concentrações de rejeito da mineração de lítio, permitindo mensurar de forma mais precisa a potencial efetividade das espécies em ações de revegetação. Utilizando como base a hipótese de que espécies leguminosas selecionadas apresentam uma relação inversamente

proporcional de crescimento e desenvolvimento com a concentração de rejeito da mineração de lítio, buscou-se identificar quais foram os efeitos induzidos pelas diferentes concentrações deste substrato nos valores de velocidade e porcentagem de emergência e ainda analisar o desenvolvimento morfológico das raízes e partes aéreas das quatro espécies de leguminosas forrageiras.

MATERIAIS E MÉTODOS

Material vegetal e Condições experimentais

Sementes de quatro espécies de leguminosas (Fabaceae) (Tabela 1) foram utilizadas nos experimentos. As sementes foram adquiridas através da empresa BRSEEDS SEMENTES LTDA, com porcentagens ideais de pureza e de germinação (BRASIL, 2009). Para os experimentos foram utilizados quatro grupos de substratos: 1) Grupo Solo: solo natural, obtido na região de Viçosa-Minas Gerais, este classificado como Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico típico (SANTANA; FILHO, 1978; UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA et al., 2010; SANTOS, 2018); 2) Grupo Rejeito: rejeito da mineração do lítio fornecido pela Companhia Brasileira de Lítio (CBL) e originário da região de Divisa Alegre - Minas Gerais, este classificado como aluminossilicato e apresentando característica argilo siltosa; 3) Grupo Solo + Rejeito: mistura homogeneizada solo natural e rejeito da mineração do lítio 1:1 (v/v); 4) Grupo Pilha: simulando uma pilha revegetada de rejeito, com 80% de rejeito na parte inferior e 20% de solo na parte superior.

Tabela 1: Descrições das quatro espécies de leguminosas forrageiras utilizadas nos experimentos.

Nome científico	Nome popular	Forma de Vida	Referência
<i>Crotalaria juncea</i>	Crotalária	Arbusto	Flores, A.S. <i>Crotalaria in</i> Flora e Funga do Brasil. Jardim Botânico do Rio de Janeiro. Disponível em: < https://floradobrasil.jbrj.gov.br/FB18460 >
<i>Cajanus cajan</i>	Feijão-guandú	Arbusto	Dutra, V.F. <i>Cajanus in</i> Flora e Funga do Brasil. Jardim Botânico do Rio de Janeiro. Disponível em: < https://floradobrasil.jbrj.gov.br/FB82709 >
<i>Lupinus albus</i>	Tremoço-branco	Subarbusto	Iganci, J.R.V.; Miotto, S.T.S. <i>Lupinus in</i> Flora e Funga do Brasil. Jardim Botânico do Rio de Janeiro. Disponível em: < https://floradobrasil.jbrj.gov.br/FB617422 >
<i>Canavalia ensiformis</i>	Feijão-de-porco	Liana/trepadeira	Snak, C. <i>Canavalia in</i> Flora e Funga do Brasil. Jardim Botânico do Rio de Janeiro. Disponível em: < https://floradobrasil.jbrj.gov.br/FB82744 >

Em seguida foi realizada a análise química dos substratos Solo e Rejeito (Tabela 2). Todos os experimentos foram conduzidos entre os meses de Abril e Julho de 2023, em casa de crescimento telada com condições controladas de temperatura, umidade e luminosidade. A casa de crescimento está localizada nas dependências do Instituto de Biotecnologia Aplicada à Agropecuária (BIOAGRO) localizada na Universidade Federal de Viçosa, em Viçosa, Minas Gerais.

Tabela 2: Resultado da análise química dos substratos dos grupos Solo e Rejeito.

Substrato	pH	P	K	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al ³⁺	H+Al	SB	t	T	V	m	P-Rem
	H ₂ O	mg/dm ³	mg/dm ³	-----cmol./dm ³ -----						%	%	mg/L	
Solo	4,55	1,2	29	0,67	0	1,07	6,3	0,74	1,81	7,04	10,5	59,1	11,7
Rejeito	7,01	4,0	37	98,05	0,35	0	0	98,49	98,49	98,49	100	0	35,4

SB: A soma de bases; t = Capacidade de troca catiônica efetiva; T = Capacidade de troca catiônica potencial; V% = Saturação por bases; m% = Saturação por Alumínio; P-Rem: Fósforo remanescente.

Capacidade de Campo

A capacidade de campo dos substratos foi avaliada segundo metodologia proposta por Campos et al. (2015). Para isso, foi utilizado um funil e duas provetas de 1 litro. Com o funil alocado em uma proveta, foram adicionados 300 mL de cada substrato seco ao funil. Em seguida, a água destilada foi adicionada de forma gradual até a saturação hídrica do sistema, sendo vedado por 24 horas para evitar a perda de água pela evaporação. Os valores das Capacidades de Campos foram calculados segundo a fórmula abaixo, na qual a Capacidade de Campo (CC) é igual ao Volume Total estipulado no início do teste (VT), menos a soma dos valores de água restante na proveta inicial (AI) e o de água presente na proveta ao final do gotejamento (AF).

$$CC = VT - (AI + AF)$$

No experimento foi utilizado o valor de 70% da capacidade de campo (Tabela 3) para evitar estresse hídrico por alagamento ou por seca.

Tabela 3: Cálculo da capacidade de campo para os substratos dos quatro tratamentos: Solo, Rejeito, Solo+Rejeito e Pilha.

	Volume de Substrato Seco (ml)	Capacidade de Campo -100% (ml)	Capacidade de Campo -70% (ml)
Solo (100%)	300	150,0	105,0
Rejeito (100%)	300	123,0	86,1
Solo+Rejeito (50:50%)	150:150	136,0	95,2
Pilha (20:80%)	60:240	124,4	87,1

Teste de Emergência

O teste de emergência foi conduzido conforme modelo adaptado de Xavier, Vieira e Guimarães (2015), com duração de 31 dias e contagens diárias dos indivíduos. Para isso, foram montados quatro tratamentos (Solo; Rejeito; Solo + Rejeito; Pilha), que consistiam de 5 kg do substrato seco, distribuídos em quatro bandejas de 40x50x10cm. Após este processo foram selecionadas 400 sementes de cada uma das quatro espécies vegetais, buscando identificar sementes sem danificações visíveis e sem alterações de formato e coloração. Destes conjuntos foram semeadas 100 sementes de forma homogênea em cada bandeja,

organizando de forma que cada espécie vegetal possuísse uma repetição com 100 indivíduos dentro de cada tratamento. Foram realizadas regas quando necessárias, base-se nos valores de capacidade de campo à 70% obtida para cada substrato.

Ao término deste experimento foram obtidos os valores de porcentagem de emergência (E%), baseado na relação do número de indivíduos emergidos em comparação com o número de sementes semeadas, o índice de velocidade de emergência (IVE) e o tempo médio de emergência (MTE), segundo as fórmulas abaixo, sendo: Pi = Plantas emergidas na contagem; Di = Dia da contagem (MAGUIRE, 1962):

$$\text{IVE} = \sum \text{Pi/Di}$$

$$\text{MTE} = (\sum \text{Pi*Di}) / \sum \text{Di}$$

Os indivíduos foram contabilizados diariamente, e todos que apresentaram emergência da radícula e primeiro par de folhas foram retirados do tratamento, evitando-se assim um possível dano nas demais plântulas.

Teste de Crescimento

Para o teste de crescimento, foram montados quatro tratamentos (Solo; Rejeito; Solo+Rejeito; Pilha), cada um com 24 vasos com 3 kg de seu substrato seco, totalizando 96 vasos. As quatro espécies vegetais foram organizadas em seis repetições por tratamentos e tiveram cinco sementes semeadas em cada uma delas. Após uma semana de germinação, um indivíduo foi selecionado para cada vaso com base na média das alturas de todos os indivíduos da mesma espécie. A escolha manteve o indivíduo do respectivo vaso com a altura mais próxima possível da média, os demais indivíduos foram desbastados.

O experimento foi mantido em casa de vegetação com 70% da capacidade de campo por 52 dias, tempo aproximadamente necessário para o desenvolvimento das quatro espécies em casa de vegetação (SEIFFERT; LOPES S. THIAGO, 1983). Após este período, todos os vasos foram desmontados e os indivíduos fotografados. Em seguida, as análises biométricas foram realizadas, quantificando-se o número de folhas, comprimento da parte aérea (PA), comprimento das raízes e comprimento total.

Todas as raízes foram escaneadas com o auxílio do *software* WinRHIZO para obtenção dos valores de número de pontas de raiz, número de bifurcações e volume da raiz

(cm³). Em seguida, todos os indivíduos foram separados em parte aérea (PA) — composta pela caule e folhas — e em raízes. As amostras foram levadas para estufa a 60°C por três dias e após este prazo, foram pesadas com auxílio de balança de precisão para obtenção dos valores de massa seca.

Delineamento Estatístico

Para avaliar, no teste de crescimento, a influência dos tratamentos em todos os parâmetros morfométricos - I Número de folhas; II Comprimento da parte aérea; III Comprimento da raiz; IV Comprimento total; V Número de pontas de raiz; VI Número de bifurcações de raiz; VII Volume da raiz; VIII Massa seca da parte aérea; IX Massa seca da raiz e X Massa seca Total, foram realizadas análises de variância (ANOVA) e modelos lineares generalizados (GLM) utilizando as distribuições Poisson, Quasipoisson e Gaussian ajustadas para a sobredispersão caso necessário. Para testar o pressuposto da normalidade dos dados e ajuste dos modelos utilizamos o pacote “DHARMA”, recorrendo à transformação logarítmica (função log) para ajuste na distribuição dos dados, quando necessário. No teste de emergência, foi realizado um Teste de Sobrevivência para cada tratamento, obtendo-se as variações da emergência das quatro espécies ao longo dos 31 dias. Todas as análises foram realizadas com o sistema de software R com 5% de grau de significância (R Core Team, 2022).

RESULTADOS

Teste de Emergência

Crotalaria juncea

O tempo de germinação diferiu entre os tratamentos, variando de 4 dias para Solo e 5 dias para os demais. O índice de velocidade de emergência (IVE) obtido foi de 11,9 para Solo, 6,2 para Rejeito, 7,2 para Solo+Rejeito e 3,2 para Pilha. Já a porcentagem de emergência (E%) foi de 77% para Solo, 58% para Rejeito, 57% para Solo+Rejeito e 41% para Pilha. A média de tempo de emergência (MTE) foi de 5,6 dias para Solo, 11,9 dias para Rejeito, 12,2 dias para Solo+Rejeito e 14,9 dias para Pilha (Tabela 4).

Os indivíduos de *C. juncea* mantidos em Solo apresentaram maiores valores de emergência ao longo do tempo, seguidos por Solo+Rejeito, Rejeito, obtendo os menores valores para o tratamento Pilha (Fig 1.A - $\chi^2 = 49,03$, $p < 0,01$).

Cajanus cajan

Os tratamentos iniciaram a germinação em diferentes dias, variando de 13 dias para Solo e 14 dias para os demais. O índice de velocidade de emergência (IVE) obtido foi de 3,7 para Solo, 1,1 para Rejeito, 3,6 para Solo+Rejeito e 1,6 para Pilha. Já a porcentagem de emergência (E%) foi de 73% para Solo, 25% para Rejeito, 77% para Solo+Rejeito e 31% para Pilha. A média de tempo de emergência (MTE) foi de 20,3 dias para Solo, 24 dias para Rejeito, 16,9 dias para Solo+Rejeito e 20,5 dias para Pilha (Tabela 4).

Os indivíduos de *C. cajan* mantidos em Solo+Rejeito apresentaram maiores valores de emergência ao longo do tempo, seguidos por Solo, Pilha, obtendo os menores valores para o tratamento Rejeito (Fig 1.B - $\chi^2 = 117,2$, $p < 0,01$).

Lupinus albus

Os tratamentos iniciaram a germinação em diferentes dias, variando de 8 dias para Solo, 9 para Pilha e 10 dias para os demais. O índice de velocidade de emergência (IVE) obtido foi de 8,7 para Solo, 5,6 para Rejeito, 4,2 para Solo+Rejeito e 6,1 para Pilha. Já a porcentagem de emergência (E%) foi de 83% para Solo, 73% para Rejeito, 57% para Solo+Rejeito e 70% para Pilha. A média de tempo de emergência (MTE) foi de 10,7 dias para Solo, 13,4 dias para Rejeito, 13,9 dias para Solo+Rejeito e 12,3 dias para Pilha (Tabela 4).

Os indivíduos de *L. albus* mantidos em Solo apresentaram maiores valores de emergência ao longo do tempo, seguidos por Rejeito, Pilha, obtendo os menores valores para o tratamento Solo+Rejeito (Fig 1.C - $\chi^2 = 32,17$, $p < 0,01$).

Canavalia ensiformis

Os tratamentos iniciaram a germinação em diferentes dias, variando de 13 dias para Solo, 12 tanto para Solo+Rejeito, quanto Pilha, e 15 dias para Rejeito. O índice de velocidade de emergência (IVE) obtido foi de 5,6 para Solo, 3,4 para Rejeito, 5,4 para Solo+Rejeito e 5,5 para Pilha. Já a porcentagem de emergência (E%) foi de 87% para Solo, 69% para Rejeito, 89% para Solo+Rejeito e 82% para Pilha. A média de tempo de emergência (MTE) foi de 15,8 dias para Solo, 20,6 dias para Rejeito, 16,8 dias para Solo+Rejeito e 15,4 dias para Pilha (Tabela 4).

Os indivíduos de *C. ensiformis* mantidos em Solo+Rejeito apresentaram maiores valores de emergência ao longo do tempo, seguidos por Solo, Pilha, obtendo os menores valores para o tratamento Rejeito (Fig 1.D - $\chi^2 = 45,97$, $p < 0,01$).

Tabela 4: Índice de velocidade de emergência (IVE), Porcentagem de emergência (E%) e Média do Tempo de Emergência (MTE) para os tratamentos: Solo; Rejeito; Solo+Rejeito e Pilha para as espécies *Crotalaria juncea*; *Cajanus cajan*; *Lupinus albus*; *Canavalia ensiformis*.

	Índice de Velocidade de Emergência (IVE)	Porcentagem de emergência (E%)	Média de Tempo de Emergência (Dias)
<i>Crotalaria juncea</i>			
Solo	11,9	77%	5,6
Rejeito	6,2	58%	11,9
Solo + Rejeito	7,2	57%	12,2
Pilha	3,2	41%	14,9
<i>Cajanus cajan</i>			
Solo	3,7	73%	20,3
Rejeito	1,1	25%	24,0
Solo + Rejeito	3,6	77%	16,9
Pilha	1,6	31%	20,5
<i>Lupinus albus</i>			
Solo	8,7	83%	10,7
Rejeito	5,6	73%	13,4
Solo + Rejeito	4,2	57%	13,9
Pilha	6,1	70%	12,3
<i>Canavalia ensiformis</i>			
Solo	5,6	87%	15,8
Rejeito	3,4	69%	20,6
Solo + Rejeito	5,4	89%	16,8
Pilha	5,5	82%	15,4

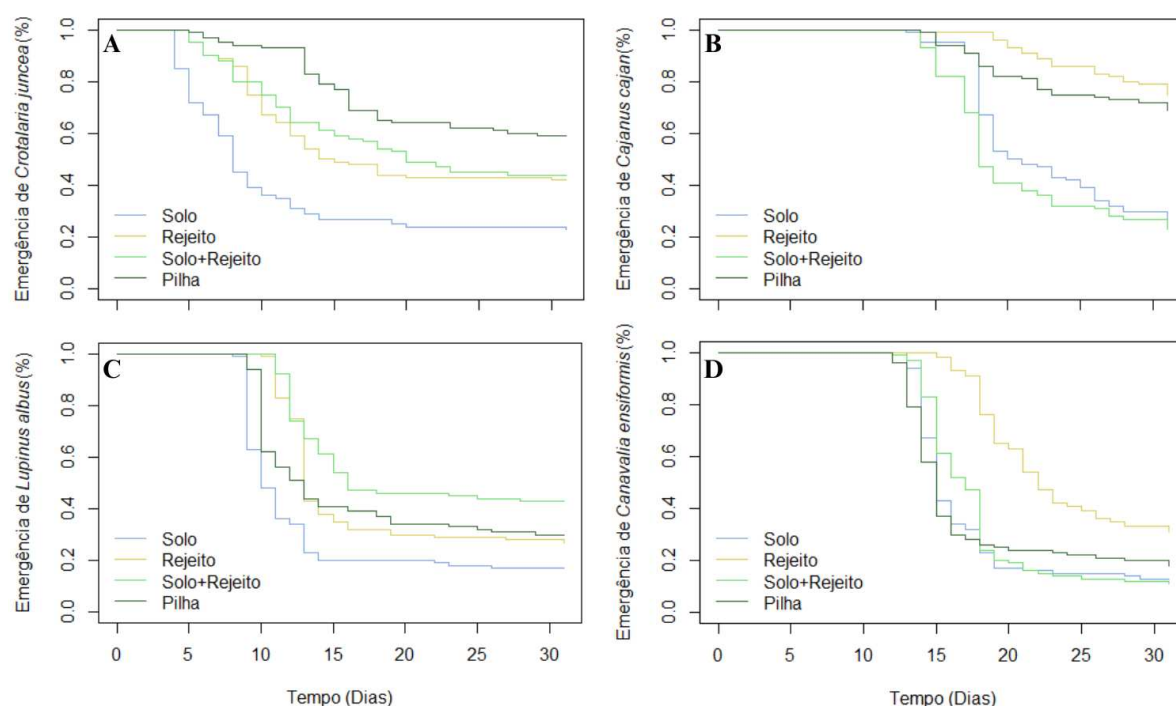


Figura 1: Teste de emergência com 100 sementes de *Crotalaria juncea* (A), *Cajanus cajan* (B), *Lupinus albus* (C) e *Canavalia ensiformis* (D), após 31 dias nos tratamentos: Solo (Azul), Rejeito (Amarelo), Solo+Rejeito (Verde Claro) e Pilha (Verde Escuro).

Teste de Crescimento

Crotalaria juncea

Os indivíduos de *Crotalaria juncea* mantidas no rejeito apresentaram menor número de folhas (Fig. 2.A - $\chi^2 = 23,99$, $p < 0,01$), comprimento da parte aérea (PA) (Fig. 2.B - $F_{20,3} = 12,02$, $p < 0,01$), comprimento total (Fig. 2.D - $F_{20,3} = 7,39$, $p < 0,01$), número de pontas de raiz (Fig. 2.E - $\chi^2 = 239,73$, $p < 0,01$), além de massa seca da parte aérea (PA) (Fig. 2.H - $F_{20,3} = 7,93$, $p < 0,01$), massa seca da raiz (Fig. 2.I - $F_{20,3} = 7,13$, $p < 0,01$) e massa seca total (Fig. 2.J - $F_{20,3} = 7,87$, $p = 0,01$) do que os indivíduos mantidos nos demais tratamentos. Os indivíduos do tratamento de Solo+Rejeito apresentaram valores similares ao controle para massa seca da raiz e massa seca total, enquanto o tratamento os de Pilha apresentaram valores similares ao controle para comprimento da parte aérea (PA), comprimento total, número de folhas e massa seca da parte aérea (PA).

Não houve diferença entre os tratamentos para comprimento da raiz (Fig. 2.C - $F_{20,3} = 71,69$, $p > 0,20$), número de bifurcações (Fig. 2.F - $F_{20,3} = 1,64$, $p > 0,20$) e volume de raiz (Fig. 2.G - $F_{20,3} = 0,32$, $p > 0,80$).

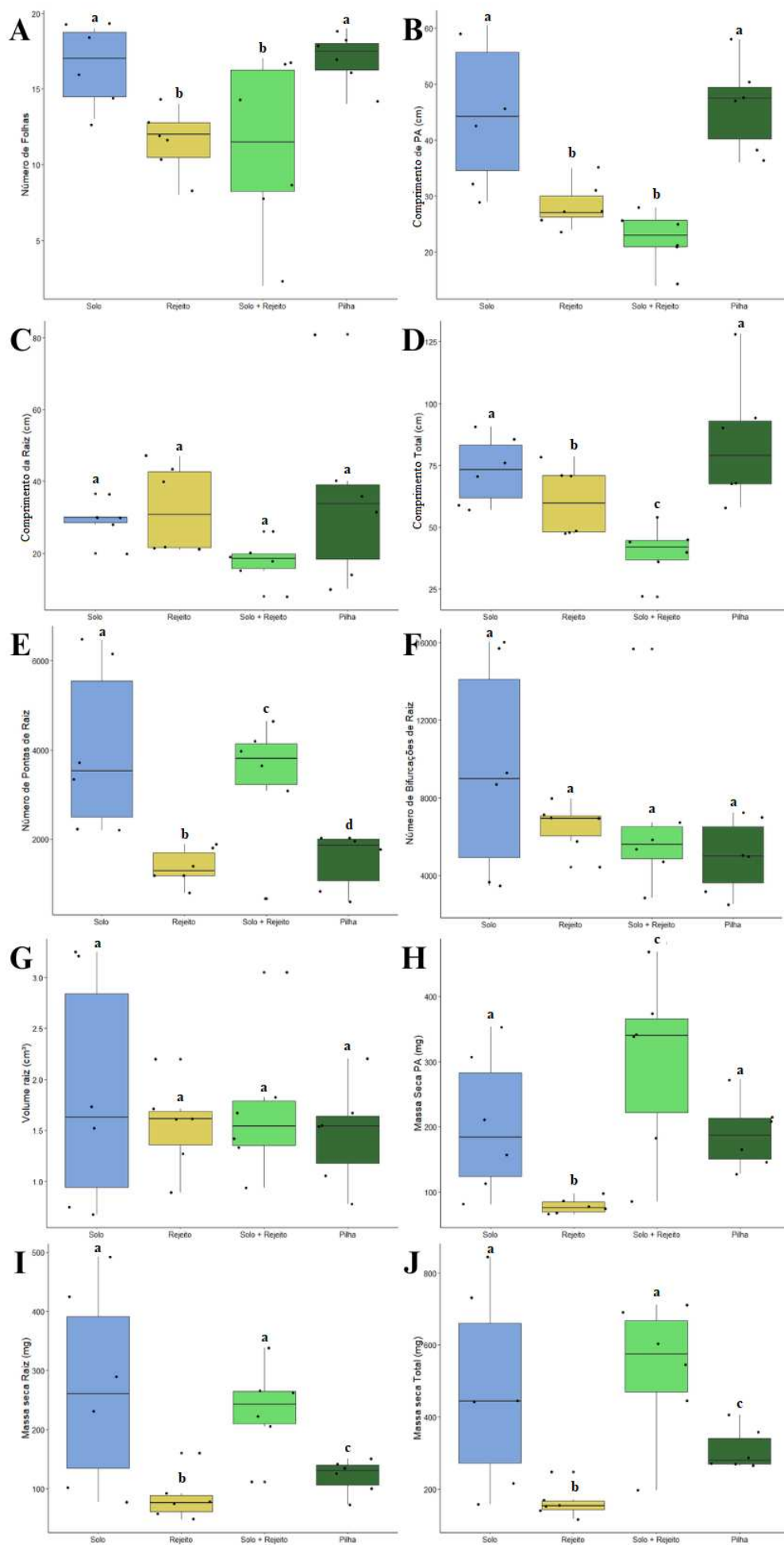


Figura 2: Parâmetros biométricos em *Crotalaria juncea* após 52 dias de tratamento com Solo, Rejeito, Solo + Rejeito e Pilha. - A) Número de folhas, B) Comprimento da parte aérea (cm), C) Comprimento da raiz (cm), D) Comprimento total (cm), E) Número de pontas de raiz, F) número de bifurcações, G) Volume da raiz (cm³), H) Massa seca da parte aérea (mg), I) Massa seca da parte raiz (mg) e J) Massa seca Total (mg). Os pontos pretos representam os indivíduos dentro do tratamento (n = 6). Valores médios seguidos pela mesma letra não se diferem estatisticamente pelo teste de GLM (p > 0,05).

Cajanus cajan

Os indivíduos de *Cajanus cajan* mantidas no rejeito apresentaram valores menores de comprimento da parte aérea (PA) (Fig. 3.B - $F_{20,3} = 6,31$, $p < 0,01$), comprimento da raiz (Fig. 3.C - $F_{20,3} = 5,52$, $p < 0,01$) comprimento total (Fig. 3.D - $F_{20,3} = 7,59$, $p = 0,01$), número de pontas de raiz (Fig. 3.E - $F_{20,3} = 11,25$, $p < 0,01$), número de bifurcações de raiz (Fig. 3.F - $F_{20,3} = 6,43$, $p < 0,01$), volume de raiz (Fig. 3.G - $F_{20,3} = 6,55$, $p < 0,01$), massa seca da parte aérea (PA) (Fig. 3.H - $F_{20,3} = 11,932$, $p < 0,01$), massa seca da raiz (Fig. 3.I - $F_{20,3} = 11,59$, $p < 0,01$) e massa seca total (Fig. 3.J - $F_{20,3} = 12,23$, $p < 0,01$) do que os indivíduos mantidos nos demais tratamentos. Os indivíduos do tratamento Pilha apresentaram valores similares ao controle para comprimento da parte aérea (PA), comprimento total, volume raiz, massa seca da parte aérea (PA) e massa seca total, enquanto para o tratamento Solo+Rejeito apresentaram valores similares ao controle para comprimento da raiz.

Não houve diferença entre os tratamentos para número de folhas (Fig. 3.A - $\chi^2 = 2,17$, $p > 0,13$).

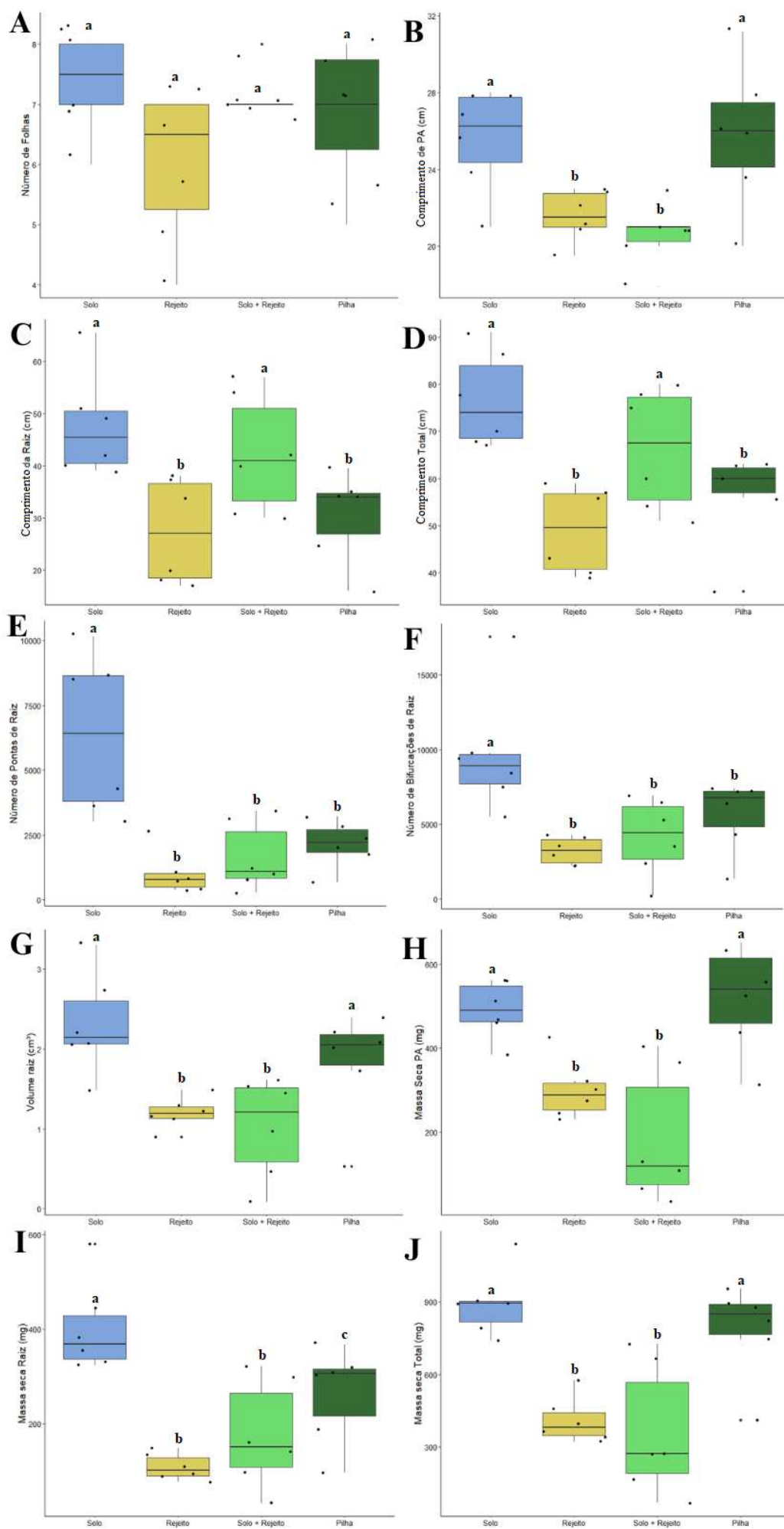


Figura 3: Parâmetros biométricos em *Cajanus cajan* após 52 dias de tratamento com Solo, Rejeito, Solo + Rejeito e Pilha. - A) Número de folhas, B) Comprimento da parte aérea (cm), C) Comprimento da raiz (cm), D) Comprimento total (cm), E) Número de pontas de raiz, F) Número de bifurcações, G) Volume da raiz (cm³), H) Massa seca da parte aérea (mg), I) Massa seca da parte raiz (mg) e J) Massa seca Total (mg). Os pontos pretos representam os indivíduos dentro do tratamento (n=6). Valores médios seguidos pela mesma letra não se diferem estatisticamente pelo teste de GLM ($p > 0,05$).

Lupinus albus

Para *Lupinus albus* os indivíduos presentes nos tratamentos que continham Solo, independentemente da concentração, apresentaram menores valores para todas as características morfométricas. Assim, as plantas dos tratamentos Solo e Solo+Rejeito apresentaram menores valores de número de folhas (Fig. 4.A - $F_{20,3} = 23,83$, $p < 0,01$), comprimento da parte aérea (PA) (Fig. 4.B - $F_{20,3} = 11,12$, $p < 0,01$), comprimento da raiz (Fig. 4.C - $F_{20,3} = 15,69$, $p < 0,01$), comprimento total (Fig. 4.D - $F_{20,3} = 17,19$, $p < 0,01$), número de pontas de raiz (Fig. 4.E - $F_{20,3} = 3,85$, $p < 0,03$), número de bifurcações de raiz (Fig. 4.F - $F_{20,3} = 4,31$, $p < 0,02$), volume de raiz (Fig. 4.G - $F_{20,3} = 14,43$, $p < 0,01$), massa seca da parte aérea (PA) (Fig. 4.H - $F_{20,3} = 13,97$, $p < 0,01$), massa seca da raiz (Fig. 4.I - $F_{20,3} = 5,02$, $p < 0,01$) e massa seca total (Fig. 4.J - $F_{20,3} = 9,02$, $p < 0,01$) do que as plantas mantidas nos tratamentos Pilha e Rejeito.

Os indivíduos do tratamento Pilha apresentaram os maiores valores em todas as análises, não apresentando diferenças entre o tratamento Rejeito para comprimento PA, comprimento de raiz, número de pontas, massa seca da PA, raiz e Total.

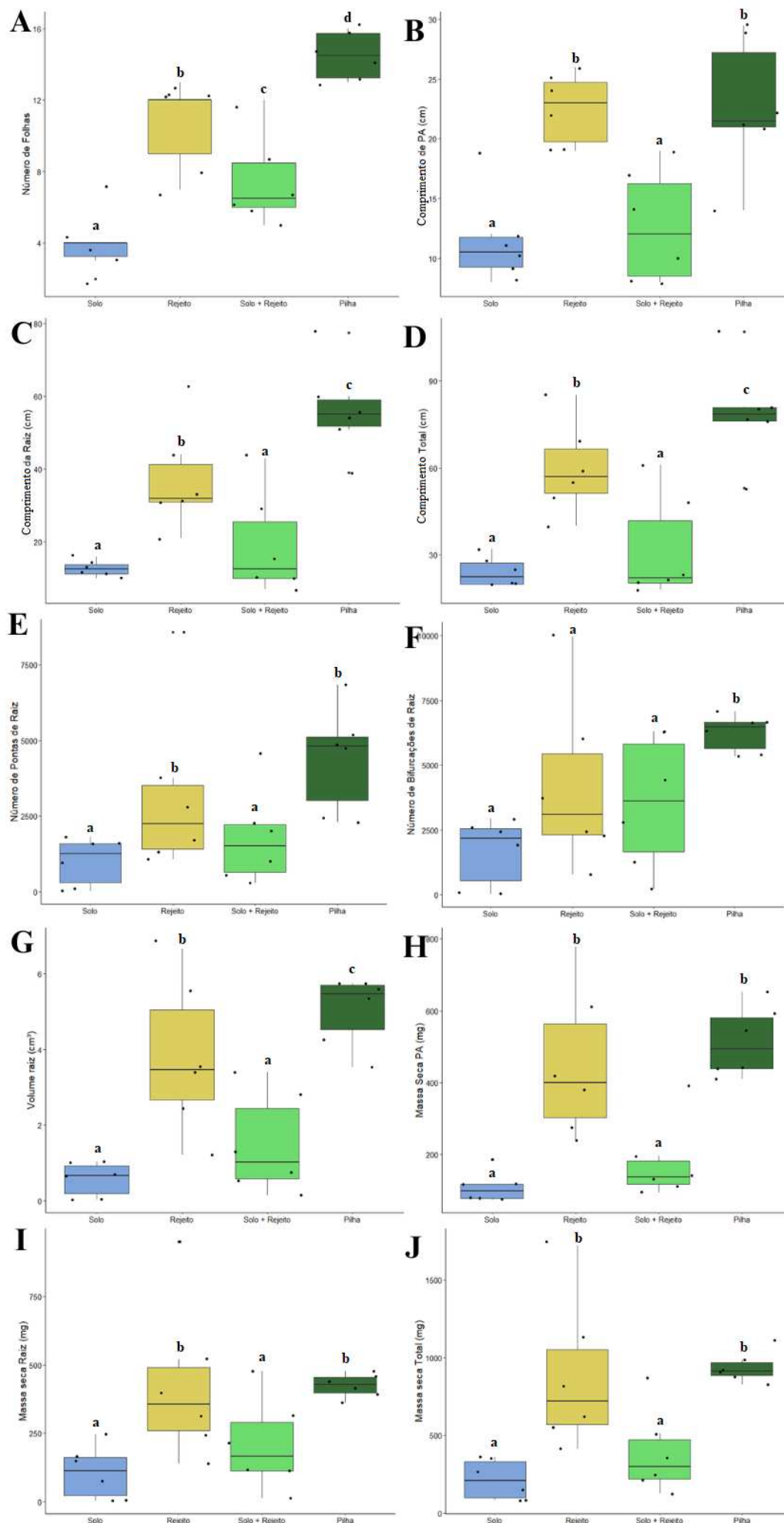


Figura 4: Parâmetros biométricos em *Lupinus albus* após 52 dias de tratamento com Solo, Rejeito, Solo + Rejeito e Pilha. - A) Número de folhas, B) Comprimento da parte aérea (cm), C) Comprimento da raiz (cm), D) Comprimento total (cm), E) Número de pontas de raiz, F) número de bifurcações, G) Volume da raiz (cm³), H) Massa seca da parte aérea (mg), I) Massa seca da parte raiz (mg) e J) Massa seca Total (mg). Os pontos pretos representam os indivíduos dentro do tratamento (n=6). Valores médios seguidos pela mesma letra não se diferem estatisticamente pelo teste de GLM ($p > 0,05$).

Canavalia ensiformis

Os indivíduos de *Canavalia ensiformis* mantidos no rejeito apresentaram menores valores para comprimento da raiz (Fig. 5.C - $F_{20,3} = 3,72$, $p < 0,03$), número de pontas de raiz (Fig. 5.E - $F_{20,3} = 5,98$, $p < 0,04$), número de bifurcações de raiz (Fig. 5.F - $F_{20,3} = 3,43$, $p < 0,04$) e massa seca da raiz (Fig. 5.I - $F_{20,3} = 7,94$, $p < 0,01$) do que os indivíduos mantidos nos demais tratamentos. No entanto, os indivíduos do tratamento Pilha apresentaram maiores valores de comprimento da parte aérea (PA) (Fig. 5.B - $F_{20,3} = 3,57$, $p < 0,04$).

Os indivíduos mantidos no tratamento Solo apresentaram maiores valores de comprimento de raiz, quando comparado com os demais tratamentos, enquanto os demais tratamentos não diferiram entre si. Contudo, não houve diferenças significativas entre os indivíduos dos demais tratamentos para número de folhas (Fig. 5.A - $\chi^2 = 3,36$, $p > 0,60$), comprimento total (Fig. 5.D - $F_{20,3} = 2,37$, $p > 0,10$), volume de raiz (Fig. 5.G - $F_{20,3} = 1,92$, $p > 0,16$), massa seca da parte aérea (PA) (Fig. 5.H - $F_{20,3} = 0,72$, $p > 0,55$) e massa seca total (Fig. 5.J - $F_{20,3} = 2,05$, $p > 0,14$).

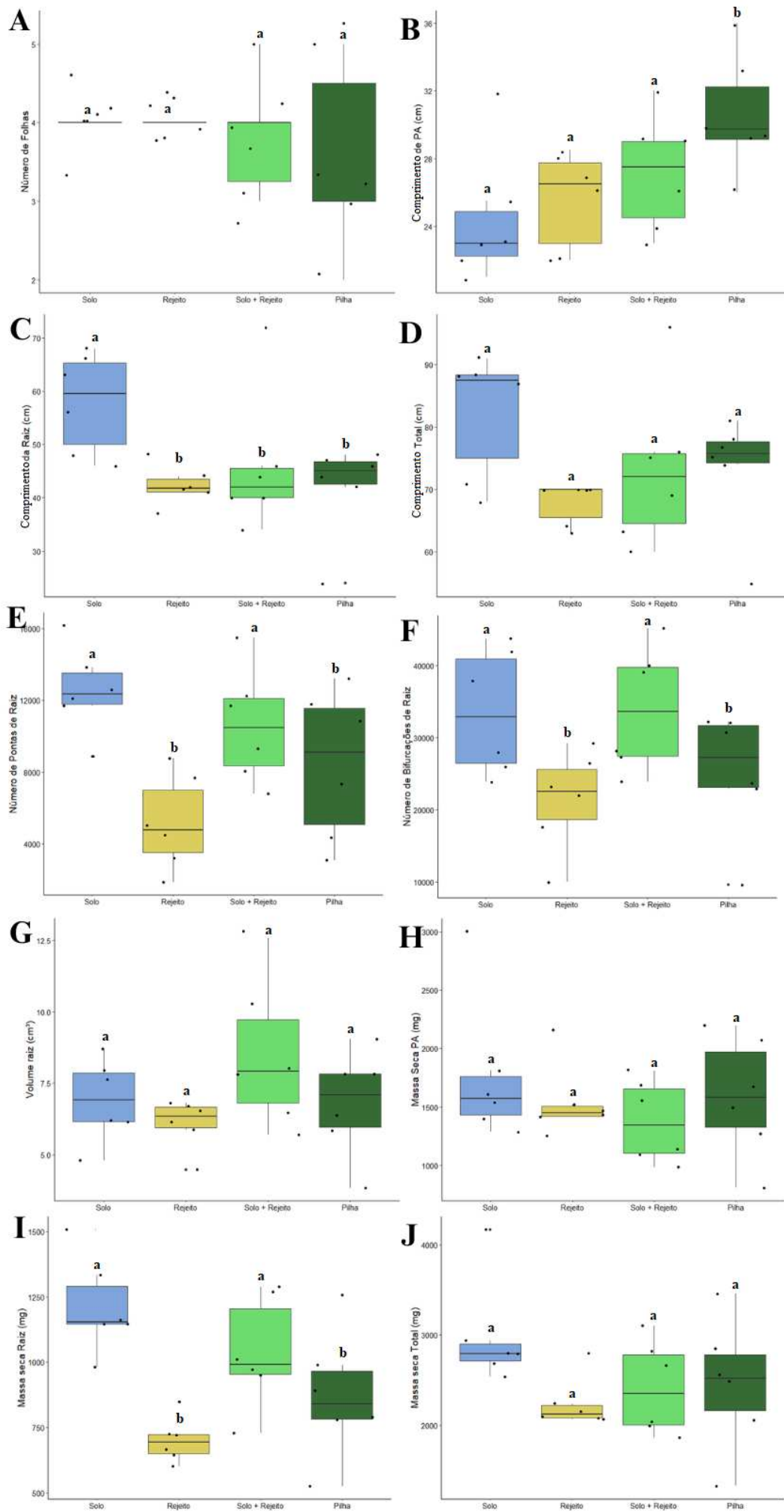


Figura 5: Parâmetros biométricos em *Canavalia ensiformis* após 52 dias de tratamento com Solo, Rejeito, Solo + Rejeito e Pilha. - A) Número de folhas, B) Comprimento da parte aérea (cm), C) Comprimento da raiz (cm), D) Comprimento total (cm), E) Número de pontas de raiz, F) número de bifurcações, G) Volume da raiz (cm³), H) Massa seca da parte aérea (mg), I) Massa seca da parte raiz (mg) e J) Massa seca Total (mg). Os círculos pretos representam os indivíduos dentro do tratamento (n=6). Valores médios seguidos pela mesma letra não se diferem estatisticamente pelo teste de GLM, ($p \leq 0,05$).

DISCUSSÃO

A influência do rejeito da mineração do lítio presente nos substratos diminuiu a emergência de todas as espécies de leguminosas deste trabalho. As plântulas apresentaram dificuldades para se fixarem nos substratos com a presença do rejeito e segundo Santos (2018), isto ocorreu principalmente pela característica do rejeito que apresenta uma textura argilo-siltosa, que em contato com a água forma uma estrutura rígida. Estes resultados indicam que o rejeito atua como uma barreira física às plantas, prejudicando o desenvolvimento das raízes devido à estrutura compactada de difícil penetração que, conseqüentemente, dificulta a absorção de água pelas leguminosas (GROHMANN; QUEIROZ NETO, 1966; LIN; HE; CHEN, 2016; HAJ SGHAIER et al., 2022). Os tratamentos com menores concentrações de rejeito (Solo e Solo+Rejeito) apresentaram maiores valores no Índices de Velocidade de Emergência, assim como maiores porcentagem de emergência e menores tempos médios de emergência, embasando as observações sobre o rejeito.

Independente da concentração do rejeito, indivíduos de *C. cajan* apresentaram menores valores quanto ao desenvolvimento das raízes. No entanto, quando semeados no tratamento que simulava as pilhas de rejeito o volume das raízes e os valores de massa seca foram similares aos do controle indicando que esta leguminosa, quando utilizada em processos de revegetação em pilhas de isolamento e retenção de resíduos, foi capazes de mitigar os efeitos negativos de desenvolvimento das raízes no rejeito. Esta relação de desenvolvimento prejudicado das raízes pode estar relacionada com as características físico-químicas do rejeito da mineração do lítio, quando interpretadas as análises químicas do rejeito é possível observar os altos valores de capacidade de troca catiônica e saturação por bases, fatores que indicam alta disponibilidade de recursos, no entanto estes acabam ocorrendo em conjunto com a baixa porosidade de substratos argilo-siltosos e níveis básicos de pH, tornando o substrato infértil (ANDRADE et al., 2018), aumentando os efeitos da lixiviação e diminuindo a retenção de nutrientes pelas plantas (AKHILA; RANGASWAMY; SANKAR, 2019). Estas características comuns em rejeitos de mineração dificultam o

desenvolvimento das raízes e conseqüentemente o desenvolvimento de massa das plantas (VALENTE et al., 2012; DE MATOS et al., 2020).

A adição de substratos complementares pode induzir a estabilização de regiões de depósitos de rejeito (ARVIZU-VALENZUELA et al., 2020). No entanto, os tratamentos que apresentaram a mistura homogênea de substratos mantiveram as características físicas do rejeito. O tratamento Solo+Rejeito representou uma influência negativa no desenvolvimento de *C. juncea*, que apresentou menores valores para número de folhas, comprimento da parte aérea e tamanho total, enquanto para *C. cajan* alocadas no mesmo tratamento sofreram influências nos parâmetros de raiz (comprimento, número de pontas, bifurcações e volume) e na capacidade de acúmulo de massa seca. Estes resultados acabam corroborando com a hipótese proposta de que o rejeito afetaria os indivíduos independente da concentração presente nos tratamentos. Porém para os indivíduos de *C. ensiformis* acondicionados no mesmo tratamento os valores foram similares ao controle na maior parte dos parâmetros morfométricos, indicando uma maior capacidade de desenvolvimento das partes aéreas e raízes destas plantas em áreas que apresentam concentrações menores de rejeito. Desta forma, *C. ensiformis* manteve o padrão observado em outros estudos, sendo uma espécie ideal para programas de revegetação que buscam a implementação de cobertura vegetal capaz de evitar a erosão de solos por meio do desenvolvimento das raízes e ainda podendo atuar como fixadora de nutriente ao substrato (CACERES; GARCÍA; DELGADO, 1995; LÓPEZ, 2012).

As análises realizadas com *Lupinus albus* apresentaram resultados distintos das demais espécies. Os indivíduos deste cultivar apresentaram influência negativa do tratamento Solo para todas as análises morfométricas. Algumas espécies do gênero *Lupinus* apresentam a formação de raízes aglomeradas em estruturas em formato de “escova”, ampliando a absorção de nutrientes e produção de exsudatos (NEUMANN; MASSONNEAU; ROMHELD, 1999). Esta característica proporciona resistência a condições de infertilidade do solo, assim como pH neutros e alcalinos (ARIEF et al., 2020), no entanto apresentando baixa resistência ao alumínio trivalente (Al^{3+}) (MOUSTAFA et al., 2019). Desta forma, os indivíduos de *L. albus* presentes nos tratamentos Solo e Solo+Rejeito apresentaram a perda das folhas e danos às raízes, indicando uma possível susceptibilidade ao Al^{3+} , amplamente presente no Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico típico (SANTANA; FILHO, 1978; SANTOS, 2018). O tratamento Pilha, apresentou os maiores valores para todos os dados morfométricos, indicando que *L. albus* representa uma espécie candidata para programas de revegetação e fitoestabilização das áreas de pilha de rejeito da mineração de lítio.

Com base nos resultados deste estudo, as áreas de mineração de lítio e as pilhas de depósito de seus rejeitos podem ser beneficiadas por projetos futuros utilizando espécies de leguminosas forrageiras. *L. albus* e *C. ensiformes* surgem como potenciais candidatas para ocupar essas áreas, devido à sua capacidade de evitar a lixiviação e proporcionar rápida cobertura verde com raízes profundas (LÓPEZ, 2012; ARIEF et al., 2020; FUJIISHI; MAEJIMA; WATANABE, 2020). Além disso, *C. juncea* também pode ser uma opção, atuando na fixação de nitrogênio e criando condições favoráveis para o desenvolvimento de outras espécies (PASTOR; BINKLEY, 1998; SILVA; CORREIA, 2014). Por outro lado, *C. cajan*, uma das espécies já utilizadas nas áreas de acúmulos de rejeito (CBL, 2023), apresentou uma alta susceptibilidade às condições desfavoráveis de substratos com a presença de rejeito da mineração, prejudicando suas raízes e partes aéreas. Essas conclusões fornecem caminhos importantes para estratégias de revegetação eficazes, visando a restauração dessas áreas.

Desta forma, este trabalho buscou avaliar os efeitos do rejeito da mineração do lítio em espécies de leguminosas forrageiras, ampliando o entendimento das influências dos substratos nos indivíduos utilizados em projetos de revegetação e recolonização de áreas de mineração de lítio e reservatórios de rejeito. Recomenda-se a realização de mais estudos com foco em ampliar o conhecimento sobre as espécies vegetais capazes de colonizar ambientes alterados pela mineração do lítio, buscando entender quais os efeitos no desenvolvimento das plantas a longo prazo e ainda avaliar a translocação e absorção de componentes tóxicos e metais pesados, assim possibilitando associar a revegetação com a fitorremediação destas áreas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABUGRE, S.; TWUM-AMPOFO, K. Using Cajanus Cajan in Biomass Transfer Technology to Increase Yield of Tomato (*Lycopersicon Esculentum* Mill.). **Journal of Science and Technology (Ghana)**, v. 31, n. 3, p. 1–10, 20 mar. 2012.

AKHILA, M.; RANGASWAMY, K.; SANKAR, N. Liquefaction Susceptibility of Silty Sands and Low Plastic Clay Soils. **International Journal of Geotechnical Earthquake Engineering**, v. 10, n. 2, p. 1–17, 2019.

ALECRIM, J. D. **Recursos Minerais do Estado de Minas Gerais**. Belo Horizonte: METAMIG, v. 1p. 159, 1982.

ANDRADE, G. F. et al. Agricultural use of Samarco's spilled mud assessed by rice cultivation: A promising residue use? **Chemosphere**, v. 193, p. 892–902, fev. 2018.

ARIEF, O. M. et al. Performance of two *Lupinus albus* L. cultivars in response to three soil pH levels. **Experimental Agriculture**, v. 56, n. 3, p. 321–330, jun. 2020.

ARVIZU-VALENZUELA, L. V. et al. Barriers for plant establishment in the abandoned tailings of Nacozari, Sonora, Mexico: the influence of compost addition on seedling performance and tailing properties. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 27, n. 31, p. 39635–39650, nov. 2020.

BRAGA, P. F. A.; SAMPAIO, J. A. **Lítio: Rochas e Minerais Industriais no Brasil: usos e especificações**. 2. ed. 2008.

BRASIL, D. N. DE P. M. ANUÁRIO MINERAL BRASILEIRO. **Anuário mineral Brasileiro**, 2010.

BRASIL, M. D. A., PECUÁRIA E ABASTECIMENTO. **Regras para análise de sementes**. 1ª ed. Brasília, DF: Mapa/ACS, 2009.

CACERES, O.; GARCÍA, E. G.; DELGADO, R. Canavalia ensiformes: Leguminosa forrajera promissora para la agricultura tropical. **Pastos y Forrajes**, v. 18, n. 2, 1995.

CALLES, T.; SCHULTZE-KRAFT, R. *Stylosanthes* (*Leguminosae*, *Dalbergieae*) of Venezuela. **Willdenowia**, v. 40, n. 2, p. 305-A8, dez. 2010.

CAMPOS, M. P. et al. **Métodos de determinação do limite superior de água disponível no solo em casa de vegetação**. 4, 2015.

CHAVES, J. et al. *Stylosanthes* spp. from Amazon savanna harbour diverse and potentially effective rhizobia. **Applied Soil Ecology**, v. 108, p. 54–61, 2016.

CBL, C. B. DE L. **RELATÓRIO DE RESPONSABILIDADE AMBIENTAL - CUIDANDO DA ÁGUA, DO AR E DA BIODIVERSIDADE**. Araçuaí: n. 1, Julho 2023.. Disponível em:

https://www.cblitio.com.br/_files/ugd/3b3afd_feb2fd5df20e4af98ca46594d85ff84b.pdf

DE KOK, P. et al. The effect of internal roughness and bonding on the fracture resistance and structural reliability of lithium disilicate ceramic. **Dental Materials**, v. 33, n. 12, p. 1416–1425, 2017.

DE MATOS, L. P. et al. Limitations to Use of *Cassia grandis* L. in the Revegetation of the Areas Impacted with Mining Tailings from Fundão Dam. **Water, Air, & Soil Pollution**, v. 231, n. 3, p. 127, mar. 2020.

ELEKTOROWICZ, M.; KEROPIAN, Z. Lithium, Vanadium and Chromium Uptake Ability of *Brassica juncea* from Lithium Mine Tailings. **International Journal of Phytoremediation**, v. 17, n. 6, p. 521–528, 2015.

FUJIISHI, M.; MAEJIMA, E.; WATANABE, T. Effect of mixed cropping with lupin (*Lupinus albus* L.) on growth and nitrogen uptake in pasture grasses grown under manure application. **Archives of Agronomy and Soil Science**, v. 66, n. 1, p. 96–109, 2 jan. 2020.

GOLDSTEIN, M. R.; MASCITELLI, L. Is violence in part a lithium deficiency state? **Medical Hypotheses**, v. 89, n. February, p. 40–42, 2016.

GROHMANN, F.; QUEIROZ NETO, J. P. D. Efeito da compactação artificial de dois solos limo-argilosos sobre a penetração das raízes de arroz. **Bragantia**, v. 25, n. 2, p. 421–431, 1966.

HABASHI, F. Handbook of extractive metallurgy. **Handbook of extractive metallurgy, Vol.2**, v. 1, n. January 1997, p. 737–752, 1997.

HAJ SGHAIER, A. et al. The Effects of Temperature and Water on the Seed Germination and Seedling Development of Rapeseed (*Brassica napus* L.). **Plants**, v. 11, n. 21, p. 2819, 23 out. 2022.

HAN, B. et al. Lithium Recovery by Precipitation from Impure Solutions – Lithium Ion Battery Waste. **Chemical Engineering and Technology**, v. 41, n. 6, p. 1205–1210, 2018.

KARRECH, A. et al. A review on methods for liberating lithium from pegmatities. **Minerals Engineering**, v. 145, p. 106085, jan. 2020.

KELLY, T.; MATO, G. **Historical Statistics for Mineral and Material Commodities in the United States**. , 2017.

KOSSOFF, D. et al. Mine tailings dams: Characteristics, failure, environmental impacts, and remediation. **Applied Geochemistry**, v. 51, p. 229–245, dez. 2014.

LARCHER, D.; TARASCON, J. M. Towards greener and more sustainable batteries for electrical energy storage. **Nature Chemistry**, v. 7, n. 1, p. 19–29, 2015.

LI, M. et al. Facilitation promotes invasions in plant-associated microbial communities. **Ecology Letters**, v. 22, n. 1, p. 149–158, 2019.

LIN, L.; HE, Y.; CHEN, J. The influence of soil drying- and tillage-induced penetration resistance on maize root growth in a clayey soil. **Journal of Integrative Agriculture**, v. 15, n. 5, p. 1112–1120, maio 2016.

LÓPEZ, R. E. D. S. *Canavalia ensiformis* (L.) DC (Fabaceae). **Revista Fitos**, v. 7, n. 03, p. 146–154, 30 set. 2012.

LUNA WOLTER, G. L.; DHAR, A.; NAETH, M. A. Response of three native grass species on dry tailings reclamation substrate amended with petroleum coke. **Journal of Environmental Quality**, v. 50, n. 2, p. 384–395, mar. 2021.

MAGUIRE, J. D. Speed of Germination—Aid In Selection And Evaluation for Seedling Emergence And Vigor¹. **Crop Science**, v. 2, n. 2, p. 176–177, mar. 1962.

MOUSTAFA, M. et al. Role of Salicylic Acid in Alleviation of Aluminum effects on Growth and Biochemical Processes in Lupin (*Lupinus termis* L.) Plant. **Egyptian Journal of Botany**, v. 0, n. 0, p. 0–0, 3 nov. 2019.

NABHAN, A. et al. Tribological Properties of Al₂O₃ Nanoparticles as Lithium Grease Additives. **Lubricants**, p. 9–9, 2021.

NEUMANN, G.; MASSONNEAU, A.; ROMHELD, V. Physiological adaptations to phosphorus deficiency during proteoid root development in white lupin. **Planta**, 1999.

PAES, V. J. DE C. et al. **Avaliação do potencial do lítio no Brasil: área do Médio Rio Jequitinhonha, Nordeste de Minas Gerais**. Belo horizonte: CPRM, p. 274 2016.

PAIVA, G. **Províncias Pegmatíticas do Brasil**. In: ROLFF, P.A.M.A. **Minerais dos pegmatitos da Borborema**. DNPM/DFPM (Boletim 78). Rio de Janeiro, p.13-21, 1046.

PASTOR, J.; BINKLEY, D. Nitrogen fixation and the mass balances of carbon and nitrogen in ecosystems. **Biogeochemistry**, v. 43, n. 1, p. 63–78, 1998.

PEREIRA, A. R. **Como Selecionar Plantas para Áreas Degradadas e Controle de Erosão**. Belo Horizonte: 2006.

R Core Team (2022). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>.

SANTANA, D.; FILHO, W. Estudos de solos do triângulo mineiro e de Viçosa. **EXPEROENTIAE**, v. 24, n. 6, p. 131–160, 1978.

SANTOS, H. G. DOS. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 5ª edição revista e ampliada ed. Brasília, DF: Embrapa, 2018.

SANTOS, P. A. et al. Adubos Verdes e Adubação Nitrogenada em Cobertura no Cultivo do Milho. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 9, n. 2, p. 123–134, 30 ago. 2010.

SCHÄFER, U. Evaluation of beneficial and adverse effects on plants and animals following lithium deficiency and supplementation, and on humans following lithium treatment of mood disorders. **Trace Elements and Electrolytes**, v. 29, n. 2, p. 91–112, 2012.

SEIFFERT, N. F.; LOPES S. THIAGO, L. R. **LEGUMINEIRA CULTURA FORRAGEIRA PARA PRODUÇÃO DE PROTEÍNA**. Campo Grande -MS: 1983.

SHAHZAD, B. et al. Is lithium biologically an important or toxic element to living organisms? An overview. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 24, n. 1, p. 103–115, 2017.

SILVA, A. A. S.; CORREIA, V. R. **Crotalaria juncea EM SUBSTITUIÇÃO A ADUBAÇÃO NITROGENADA NA CULTURA DA BETERRABA**. . Em: 5ª JORNADA DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA E EXTENSÃO - JICE-IFTO. , 2014.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA et al. **Mapa de Solos do Estado de Minas Gerais - Legenda Expandida**. , 2010.

U.S. GEOLOGICAL SURVEY. **LITHIUM**: Mineral Commodity Summaries. 2022.

VALENTE, T. et al. Natural stabilization of mine waste-dumps - Evolution of the vegetation cover in distinctive geochemical and mineralogical environments. **Journal of Geochemical Exploration**, v. 123, p. 152–161, 2012.

WALMER, B. R. M. et al. Ecological methods and indicators for recovering and monitoring ecosystems after mining: A global literature review. **Ecological Engineering**, v. 145, p. 105707, fev. 2020.

XAVIER, P. B.; VIEIRA, H. D.; GUIMARÃES, C. P. Physiological potential of stylosanthes cv. Campo Grande seeds coated with different materials. **Journal of Seed Science**, v. 37, n. 2, p. 117–124, jun. 2015.

XIONG, S.; JI, J.; MA, X. Environmental and economic evaluation of remanufacturing lithium-ion batteries from electric vehicles. **Waste Management**, v. 102, p. 579–586, 2020.

YE, Z. H. et al. Evaluation of major constraints to revegetation of lead/zinc mine tailings using bioassay techniques. v. 47, p. 1–9, 2002.

YOUNG, W. Review of lithium effects on brain and blood. **Cell Transplantation**, v. 18, n. 9, p. 951–975, 2009.

ZHANG, L. et al. Designing vertical channels with expanded interlayer for Li-ion batteries. **Chemical Communications**, v. 52, n. 1, p. 64–67, 2019.

MATERIAL SUPLEMENTAR

Tabela S1: Porcentagem de diferença entre o grupo Solo e os tratamentos: Rejeito; Solo+Rejeito e Pilha para as espécies *Crotalaria juncea*; *Cajanus cajan*; *Lupinus albus*; *Canavalia ensiformis*. Apenas análises com diferenças significativas.

	Rejeito	Solo+Rejeito	Pilha
<i>Crotalaria juncea</i>			
nº Folhas	-30,3%	-32,3%	+3,0%
Comprimento PA	-36,8%	-49,8%	+3,0%
Comprimento Total	-16,9%	-45,1%	+15,3%
nº Pontas de raiz	-65,8%	-16,2%	-61,9%
Massa Seca PA	-61,5%	+46,4%	-7,2%
Massa Seca Raiz	-68,5%	-13,2%	-55,3%
Massa Seca Total	-65,5%	+12,5%	-34,6%
<i>Cajanus cajan</i>			
Comprimento PA	-15,6%	-19,2%	+1,0%
Comprimento Raiz	-42,6%	-11,3%	-36,1%
Comprimento Total	-36,1%	-13,5%	-26,5%
nº Pontas de raiz	-84,1%	-74,5%	-66,5%
nº Bifurcações	-66,6%	-57,2%	-41,7%
Volume de raiz	-48,1%	-55,8%	-20,8%
Massa Seca PA	-38,9%	-62,3%	+5,8%
Massa Seca Raiz	-72,9%	-56,4%	-34,3%
Massa Seca Total	-54,2%	-59,7%	-12,3%
<i>Lupinus albus</i>			
nº Folhas	+166,7%	+87,5%	+262,5%
Comprimento PA	+95,6%	+10,2%	+97,8%
Comprimento Raiz	+193,4%	+51,3%	+343,9%
Comprimento Total	+146,9%	+31,7%	+226,9%

n° Pontas de raiz	+217,5%	+76,6%	+335,3%
n° Bifurcações	+153,4%	+113,5%	+275,3%
Volume de raiz	+560,4%	+156,9%	+767,2%
Massa Seca PA	+318,8%	+63,8%	+374,6%
Massa Seca Raiz	+293,7%	+92,3%	+290,9%
Massa Seca Total	+306,2%	+77,2%	+332,7%
<i>Canavalia ensiformis</i>			
Comprimento PA	+4,8%	+11,31%	+25,3%
Comprimento Raiz	-26,9%	-20,5%	-27,7%
n° Pontas de raiz	-58,7%	-15,6%	-32,7%
n° Bifurcações	-36,2%	+1,1%	-12,9%
Massa Seca Raiz	-42,2%	-14,6%	-28,1%