

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

ANTONELLA TONIDANDEL SCHETTINI

ANÁLISE DO DESENVOLVIMENTO DAS RAÍZES DA ESPÉCIE
***Inga vera* Willd. Subsp. *affinis* (DC.) T. D. Pennington**
IMPLANTADAS SOB DIFERENTES TRATAMENTOS NO REJEITO
FORMADO PELO ROMPIMENTO DA BARRAGEM DE FUNDÃO

CURITIBA

2021

ANTONELLA TONIDANDEL SCHETTINI

**ANÁLISE DO DESENVOLVIMENTO DAS RAÍZES DA ESPÉCIE
Inga vera Willd. Subsp. *affinis* (DC.) T. D. Pennington
IMPLANTADAS SOB DIFERENTES TRATAMENTOS NO REJEITO
FORMADO PELO ROMPIMENTO DA BARRAGEM DE FUNDÃO**

Artigo apresentado como requisito parcial à conclusão do Curso de MBA em Gestão Ambiental Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná.

Orientadores: Prof. Alessandro Camargo Ângelo e Prof^a. Karen Koch Fernandes Souza

CURITIBA

2021

**ANÁLISE DO DESENVOLVIMENTO DAS RAÍZES DA ESPÉCIE *Inga vera*
Willd. Subsp. *affinis* (DC.) T. D. Pennington IMPLANTADAS SOB
DIFERENTES TRATAMENTOS NO REJEITO FORMADO PELO
ROMPIMENTO DA BARRAGEM DE FUNDÃO**

Antonella Tonidandel Schettini

RESUMO

O rompimento da Barragem de Fundão em Mariana, MG afetou 1.469,16 ha de margem de rio pertencentes a Bacia do rio Doce. A onda de rejeito trouxe uma mistura de areia, silte, argila e restos orgânicos com natureza mineralógica única formando os tecnossolos, sendo uma das suas principais características a compactação, tornando-o limitante para o desenvolvimento das raízes. Além disso, o avanço do gado nas margens atingidas é frequente e sabe-se que herbívoros de grande porte têm grandes impactos na vegetação. Nesse contexto, as novas condições edáficas impostas pela deposição do rejeito e a herbivoria podem ser impeditivas para o processo de restauração ecológica nas margens dos rios. Assim, esse estudo objetivou-se analisar a adaptação das raízes da espécie *Inga vera* no rejeito implantadas sob o procedimento de subsolagem e herbivoria, além do controle na formação das raízes e no desenvolvimento das plantas nas áreas impactadas. Cinco indivíduos de cada tratamento foram coletados na região de Barra Longa - MG e analisados VTR, ATR, DMR, BR, BPA, RPAR, CTR e R. Observou-se que os indivíduos implantados sob o processo de subsolagem tiveram maior desenvolvimento de VTR, ATR, BR e BPA e os indivíduos sob o processo de herbivoria tiveram menor desenvolvimento de DMR e R, entretanto não houve diferença significativa no CTR e RPA. Logo, pode-se concluir que mesmo com o uso da subsolagem a compactação do solo não permitiu que as plantas se desenvolvessem em profundidade e que a herbivoria mostrou ser muito prejudicial para os indivíduos analisados.

Palavras-chave: rejeito, tecnossolo, raízes, restauro florestal.

**ANALYSIS OF THE ROOT DEVELOPMENT OF THE SPECIES *Inga vera*
Willd. subsp. *affinis* (DC.) T. D. Pennington IMPLANTED UNDER
DIFFERENT TREATMENTS IN THE TAILING FORMED BY THE
BREAKDOWN OF THE FUNDÃO DAM**

Antonella Tonidandel Schettini

ABSTRACT

The rupture of the Fundão Dam in Mariana, MG affected 1,469.16 ha of riverbank belonging to the Doce River Basin. The tailings wave brought a mixture of sand, silt, clay and organic remains with a unique mineralogical nature forming the technosols, one of its main characteristics being compaction, making it limiting for the development of roots. In addition, the advance of cattle on the affected banks is frequent and it is known that large herbivores have great impacts on vegetation. In this context, the new edaphic conditions imposed by the deposition of tailings and herbivory can be impediments to the process of ecological restoration on the banks of the rivers. Thus, this study aimed to analyze the adaptation of the roots of the species *Inga vera* in the tailings implanted under the subsoiling and herbivory procedure, in addition to the control of root formation and plant development in the impacted areas. Five individuals of each treatment were collected in the region of Barra Longa - MG and analyzed VTR, ATR, DMR, BR, BPA, RPAR, CTR and R. It was observed that the individuals implanted under the subsoiling process had greater development of VTR, ATR, BR and BPA and the individuals under the herbivory process had lower development of DMR and R, however there was no significant difference in CTR and RPA. Therefore, it can be concluded that even with the use of subsoiling, soil compaction did not allow the plants to develop in depth and that herbivory proved to be very harmful to the individuals analyzed.

Keywords: tailings, technosol, roots, forest restoration.

1. INTRODUÇÃO

O rompimento da Barragem de Fundão em novembro de 2015, em Mariana, Minas Gerais, afetou diretamente 1.469,16 hectares de margem de rio, incluindo áreas de preservação permanente (APP) ao longo dos 77 km de corpos hídricos pertencentes a Bacia do rio Doce suprimindo as matas ciliares remanescentes do local que representavam apenas 10% de florestas densas, além de grande quantidade de pastagens que predominavam no restante da paisagem (BRASIL, 2015).

Segundo Schaefer et al., 2015, a onda de rejeito trouxe aproximadamente 34 milhões de m³ de uma mistura de areia, silte, argila e restos orgânicos, com natureza mineralógica única, formada de resíduos de mineração e seus tratamentos. Essa lama extravasou dos leitos dos rios e se depositou nas planícies ao longo da sua calha, chegando, em alguns pontos, a dois metros de altura. Como resultado, ocorreu o completo desaparecimento das várzeas composta por Neossolos Flúvicos, Gleissolos e Cambissolos e a criação, segundo Food and Agriculture Organization (FAO), 2015, dos tecnossolos, que são solos profundamente modificados pela ação humana, com um volume de sedimentos “tecnogênicos”, de origem minerária praticamente estéril, sem matéria orgânica, e com desestruturação química e física.

Segundo Embrapa, 2015 o tecnossolo possui alta relação silte/argila (4,62) e alta densidade (3,03 g/cm³) e segundo Reichert et al., 2003, valores de densidade superiores a 1,80 g/cm³ são críticos para o crescimento radicular das plantas. Estudos realizados por Silva, 2017 demonstraram limitações significativas no desenvolvimento vegetal nos primeiros 20 cm de profundidade do tecnossolo formado pelo rejeito, chegando a valores de 22,4 MPa de resistência a penetração, sendo que valores acima de 15 MPa já são considerados extremamente altos segundo Canarache, 1990. Além disso, o tecnossolo apresentava, na ocasião, pH muito alto (8,02), soma de bases baixa (1,14 cmolc kg⁻¹), teor de matéria orgânica baixo (0,94 g kg⁻¹ de C-orgânico), teor de P disponível muito baixo (7,72 mg kg⁻¹) e capacidade de troca catiônica (CTC) muito baixa, inserindo o tecnossolo em questão na classificação de solos extremamente pobres em nutrientes (Embrapa, 2015).

A compactação de solo normalmente altera a estrutura e a hidrologia do solo, aumentando a densidade, a decomposição de agregados, a resistência, o escoamento superficial e a erosão do solo e conseqüentemente diminui a porosidade, a aeração e a capacidade de infiltração (Kozłowski, 1999). Sob essas condições, o solo torna-se limitante para o estabelecimento e crescimento de cobertura vegetal (Olszewski et al., 2004) e compromete significativamente o desenvolvimento das raízes devido à resistência do substrato a ser penetrado (Bassett et al., 2005). Logo, as novas condições edáficas impostas pela deposição do rejeito podem ser impeditivas para o desenvolvimento radicular das espécies que serão implantadas nas áreas de preservação permanente (APP) ao longo da calha do rio.

Além da compactação do rejeito, o avanço do gado as plantas implantadas nas APP atingidas é frequente e sabe-se que herbívoros de grande porte têm impactos significativos na vegetação podendo provocar, segundo Ekwugha et al., 2021 o corte das folhas e do caule, o pisoteio das mudas e a destruição da gema apical, afetando a forma do crescimento das plantas e a relação parte aérea – raiz.

Nesse contexto, mesmo que a flora nativa da região seja adaptada a solos distróficos, as novas condições edáficas impostas pela deposição do rejeito e a herbivoria podem ser impeditivas para o processo de restauração ecológica nas margens dos rios atingidos e mostram a necessidade de metodologias que possam colaborar para melhorar as condições do tecnossolo e contribuir para o desenvolvimento das espécies que serão implantadas nas áreas de APP atingidas pela pluma de rejeito.

Logo, esse estudo tem como objetivo analisar a adaptação das raízes da espécie *Inga vera* Willd. subsp. *affinis* (DC.) T. D. Penningtonem em solos de rejeito de barragem implantadas sob o procedimento de subsolagem que, segundo Srivastava et al., 1993 é um método que proporciona o rompimento das camadas de solo impermeáveis ou compactadas, promovendo uma melhor aeração e infiltração da água podendo colaborar para o desenvolvimento das raízes das espécies nativas em áreas de APP atingidas pela pluma de rejeito e também analisar os impactos do avanço do gado na formação das raízes e no desenvolvimento das plantas nas áreas impactadas. O conhecimento do comportamento do sistema radicular nos dois processos selecionados faz-se

importante, com o intuito de enriquecer as estratégias de reabilitação de áreas degradadas pelo rejeito de barragem.

2. METODOLOGIA

2.1. Caracterização da área de estudo

Este estudo foi conduzido em propriedades rurais localizadas no município de Barra Longa – MG (-20.281933° ; -43.043638°) (FIGURA 1). O local foi atingido pelo rejeito advindo do rompimento da Barragem de Fundão que depositou nas margens dos rios Gualaxo do Norte e do Carmo em áreas compostas principalmente por pastagens.

FIGURA 1: ÁREA DE ESTUDO DEMONSTRANDO OS PONTOS DE COLETA



O solo do local é classificado como Latossolo vermelho-amarelo distrófico de acordo com a Fundação Estadual do Meio Ambiente (FEAM), 2010 e hoje está coberto pelo tecnossolo.

O regime pluvial da região apresenta estação chuvosa no verão, de novembro a abril, e nítida estação seca no inverno, de maio a outubro com

pluviosidade média de 1160 mm. A temperatura média é de 22,1°C sendo a região classificada, segundo Koppen, 1931 como clima tropical (Aw).

2.2. Experimento

No local de estudo foi selecionado três pontos nas áreas de preservação permanente situada às margens do rio Gualaxo do norte e Rio do Carmo e (-20.264464°, -43.108741°; -20.266710°, -43.096994°; -20.260436°, -42.987641°; FIGURA 1). O plantio das espécies nativas no local foi conduzido em março de 2021, sendo o ponto 1 (controle) realizado o plantio convencional em covas de 40 cm x 40 cm x 40 cm dispostas em espaçamento de espaçamento de 3 m x 3 m (1112 plantas/hectare) e as covas adubadas com 80g de calcário dolomítico, 300 g supersimples e 200 g de NPK (04-14-08); o ponto 2 (subsolagem) realizado utilizando um subsolador de 90 cm de profundidade em linhas e em seguida feito o plantio convencional e o ponto 3 (herbivoria) realizado com o plantio convencional e, após implantação, foi totalmente atacado pelo gado que retirou os ápices dos indivíduos selecionados.

Para o presente estudo foi escolhido a espécie *Inga vera* Willd. Subsp. *affinis* (DC.) T. D. Pennington, planta popularmente conhecida como Ingá banana que, segundo Rodrigues, 1905, é uma espécie pioneira adaptada a solos úmidos e arenosos e que apresentou uma alta sobrevivência nos plantios realizados sob o rejeito.

Em cada ponto selecionado, cinco indivíduos de *Inga vera* implantada foram selecionados aleatoriamente e coletados preservando toda a estrutura da planta. O material foi conduzido para o laboratório onde as raízes foram separadas do substrato usando o método de lavagem úmida das mãos (De Baets et al. 2006) e posteriormente medido o comprimento das raízes usando uma fita métrica e contagem das ramificações.

As raízes foram seccionadas, escaneadas e analisados o volume (cm³), a área superficial (cm²) e a densidade ponderada (cm) através do programa SAFIRA®. Em seguida as raízes e a parte aérea foram colocadas em sacos de papel e secas em estufa por 4 dias a 60 ° C para determinar o peso seco em balança de precisão.

2.3. Análise de dados

As análises dos dados obtidos foram feitas por análises de variância e comparação das médias pelo teste de Tukey 5%. Todos os testes estatísticos foram realizados usando o programa Minitab®.

Para avaliar se o investimento foi maior na raiz ou na parte aérea nos tratamentos realizados, realizou-se o cálculo da razão raiz/parte aérea através da fórmula 1: massa seca parte aérea (g) / massa seca raiz (g)

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

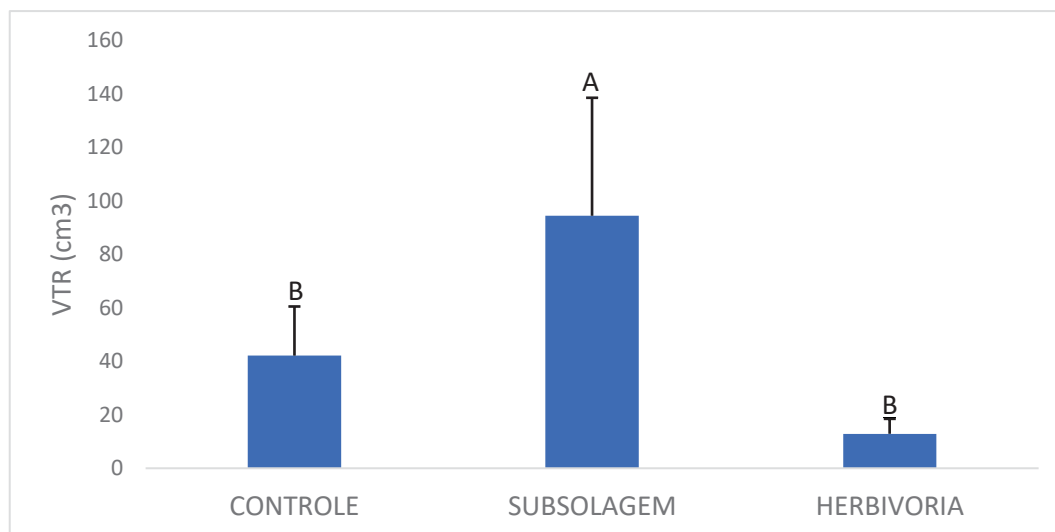
Os resultados e desvios padrões das análises de volume total de raiz (VTR) (cm³), área de superfície total (ATR) (cm²), diâmetro médio de raiz (DMR) (cm), biomassa de raiz (BR) (g), biomassa de parte aérea (BPA), razão parte aérea/raiz (RPAR), comprimento total de raiz (CTR) e número de ramificações (R) nos tratamentos de subsolagem, herbivoria e controle estão relacionadas na TABELA 1.

TABELA 1 - VALORES MÉDIOS E DESVIOS PADRÕES DAS VARIÁVEIS ANALISADAS NOS TRATAMENTOS DE SUBSOLAGEM, HERBIVORIA E CONTROLE.

Análises	Controle	Subsolagem	Herbivoria
Volume total de raiz (VTR) (cm ³)	42,12 ± 18,38	94,43 ± 44,11	12,89 ± 5,60
Área de superfície total (ATR) (cm ²)	421,2 ± 183,80	1026,4 ± 538,70	155,3 ± 81,90
Diâmetro médio de raiz (DMR) (cm)	85,04 ± 35,94	80,5 ± 33,16	28,44 ± 11,64
Biomassa de raiz (BR) (g)	20,23 ± 8,86	68,86 ± 39,33	6,91 ± 4,42
Biomassa de parte aérea (BPA) (g)	34,23 ± 20,94	83,33 ± 37,89	8,62 ± 0,96
Razão parte aérea/raiz (RPAR) (g)	1,69 ± 0,76	1,51 ± 0,76	1,57 ± 0,67
Comprimento total de raiz (CTR) (cm)	0,634 ± 0,31	0,628 ± 0,18	0,378 ± 0,27
Número de ramificações (R) (unid)	12,8 ± 3,90	12 ± 2,35	5 ± 1,87

Em relação ao volume total de raiz (VTR), pode-se observar uma diferença significativa no processo de subsolagem (FIGURA 2).

FIGURA 2: VOLUME TOTAL DE RAÍZES (VTR) DA ESPÉCIE INGA VERA SOB PROCEDIMENTO DE SUBSOLAGEM, HERBIVORIA E CONTROLE. LETRAS DIFERENTES INDICAM DIFERENÇAS SIGNIFICATIVAS PELO TESTE DE TUKEY ($P < 0,05$).



Sabe-se que a compactação impõe ao solo uma redução em seu índice de vazios, que é a relação entre o volume de vazios e o volume de sólidos (CAMARGO, 1983). Estudos realizados por Carvalho et al., 2004 em mamoeiros cultivados sobre o processo de subsolagem demonstraram aumento da porosidade, da percentagem de agregação, da taxa de infiltração da água no solo provocando melhor enraizamento; e estudos realizados por Souza et al., 2016 demonstraram um baixo volume de raízes em profundidades coesas não subsoladas. Assim, o fato do volume total de raízes ter sido superior nas plantas submetidas ao processo de subsolagem demonstra que o processo pode aumentar os espaços vazios no solo, provocando o aumento do calibre das raízes e consequentemente seu volume como visto na FIGURA 3.

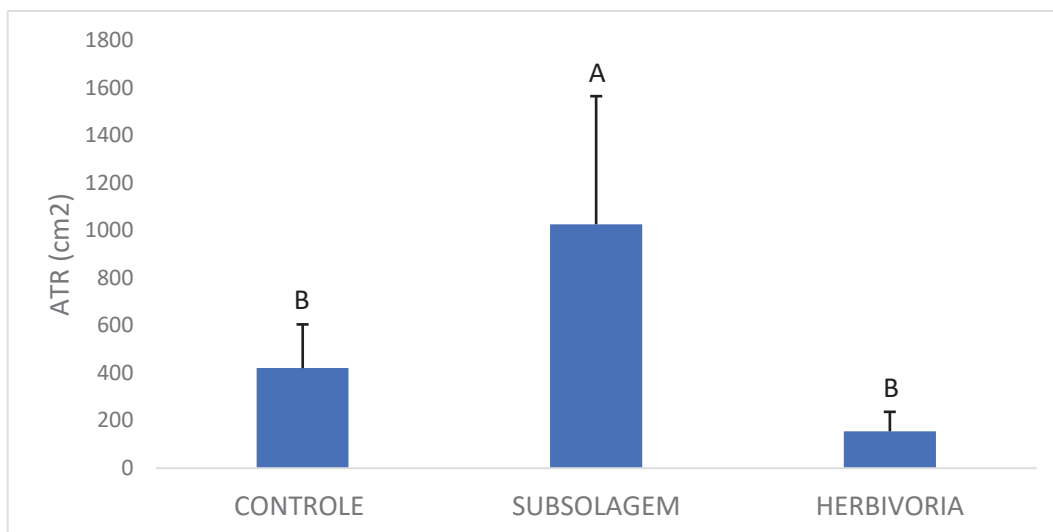
FIGURA 3: RAÍZES DE 5 INDIVÍDUOS DE INGA VERA COLETADOS EM AGOSTO DE 2021 EM ÁREA PREPARADA COM O PROCESSO DE SUBSOLAGEM.



Segundo RUSSEL (1961), plantas com um grande volume de raízes geralmente possuem a habilidade de produzir em solos pobres e alguns autores verificaram uma correlação positiva entre taxa fotossintética da planta e o volume do sistema radicular (TSCHAPLINSKI & BLAKE, 1985; ARP, 1991)

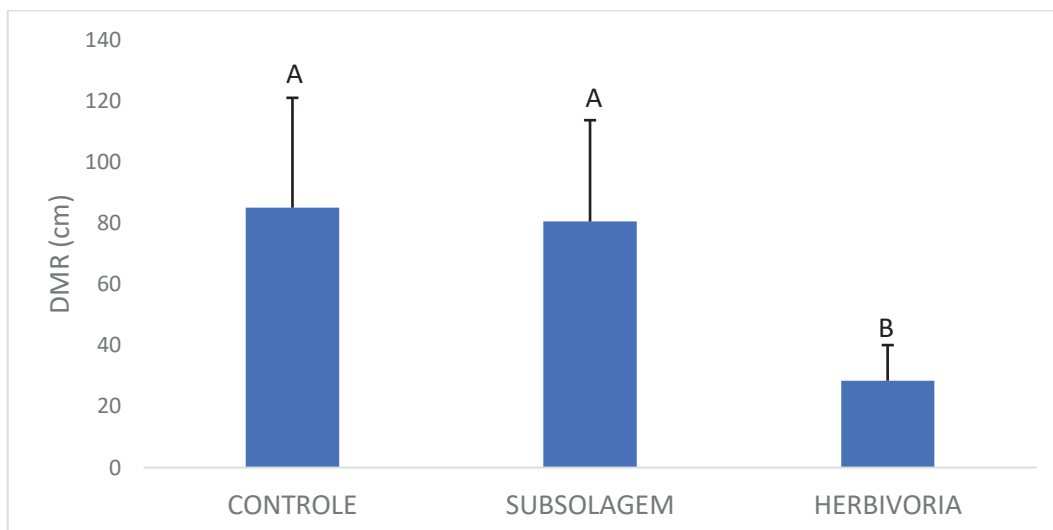
Em relação à área de superfície total (ATR) observou-se uma diferença significativa no processo de subsolagem, semelhante aos dados de volume (FIGURA 4). Segundo Dedordi, 2015 matematicamente, há uma relação direta entre volume e área superficial, sendo que à medida que o volume aumenta ocorre maior área superficial de raiz, justificando essa relação. É plausível supor que um aumento de área de raiz está relacionado a um maior número de raízes e, conseqüentemente, a uma maior captação de água (Kozlowski & Pallardy, 1997).

FIGURA 4: ÁREA SUPERFICIAL TOTAL (ATR) DA ESPÉCIE INGA VERA SOB PROCEDIMENTO DE SUBSOLAGEM, HERBIVORIA E CONTROLE. LETRAS DIFERENTES INDICAM DIFERENÇAS SIGNIFICATIVAS PELO TESTE DE TUKEY ($P < 0,05$).



Quanto ao diâmetro médio ponderado de raiz (DMR), pode-se observar uma diferença significativa nos tratamentos controle e subsolagem em relação as plantas submetidas à herbivoria, sendo essa menor que os demais tratamentos (FIGURA 5). De fato, a herbivoria é um estressor biótico que induz respostas que eventualmente alteram o desempenho e estrutura da planta (Cornelissen & Fernandes, 2001). As respostas das plantas à herbivoria incluem redução no crescimento, reprodução e biomassa (Hernández-Barrios et al., 2012).

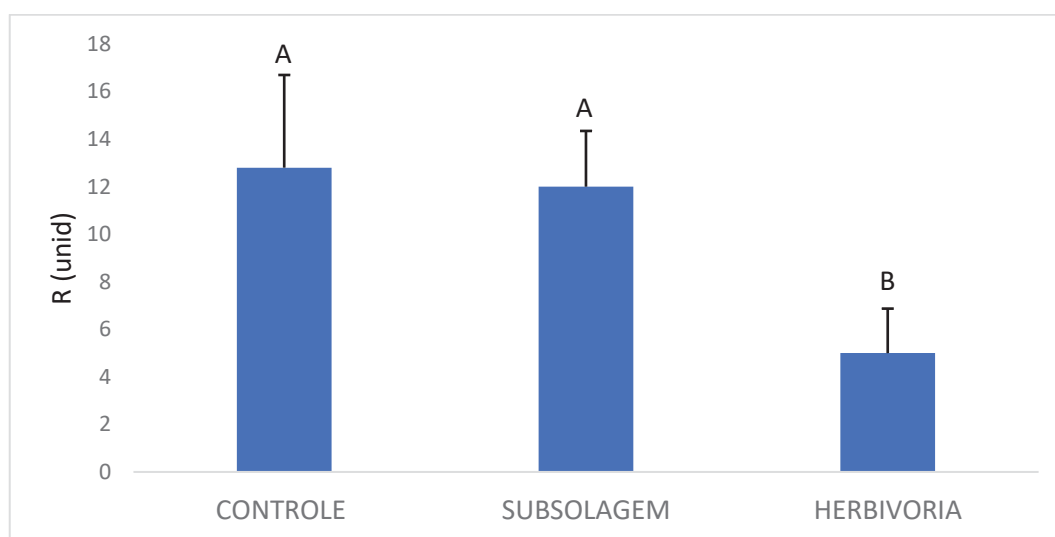
FIGURA 5: DIÂMETRO MÉDIO DE RAIZ (DMR) DA ESPÉCIE INGA VERA SOB PROCEDIMENTO DE SUBSOLAGEM, HERBIVORIA E CONTROLE. LETRAS DIFERENTES INDICAM DIFERENÇAS SIGNIFICATIVAS PELO TESTE DE TUKEY ($P < 0,05$).



Sabe-se que plantas, mesmo em fase de muda, enfrentam uma escolha de alocação entre o investimento de recursos na defesa anti-herbívoro, ou crescimento da planta (Boege e Marquis, 2005 ; Kelly e Hanley, 2005), e essa alocação de recursos pode ter provocado a redução no diâmetro das raízes dos indivíduos da *Inga vera* atacadas por gado.

Os indivíduos atacados pelo gado, além de obterem diâmetros ponderados reduzidos também tiveram um número inferior de ramificações (FIGURA 6).

FIGURA 6: NÚMERO DE RAMIFICAÇÕES DA RAIZ DOS INDIVÍDUOS DA ESPÉCIE INGA VERA SOB PROCEDIMENTO DE SUBSOLAGEM, HERBIVORIA E CONTROLE. LETRAS DIFERENTES INDICAM DIFERENÇAS SIGNIFICATIVAS PELO TESTE DE TUKEY ($P < 0,05$).



A diminuição das ramificações de raízes afeta diretamente o crescimento das plantas devido a redução na área foliar (Zanon et al.; 2018), assim como observado na FIGURA 7. Isso ocorre devido a uma diminuição da captação de água e de nutrientes (Stirzaker et al. 1996), além do comprometimento das funções vegetais como fotossíntese e transpiração podendo ser letal para a planta nas fases jovens de seu desenvolvimento (Ferree e Streeter 2004; Boege & Marquis 2005).

FIGURA 7: RAÍZES DE 5 INDIVÍDUOS DE INGA VERA ATACADAS POR GADO COLETADOS EM AGOSTO DE 2021



Embora os valores dos comprimentos das raízes não sejam significativos, observa-se que 3 indivíduos coletados no tratamento de herbivoria apresentavam apenas 1 ramificação em profundidade (FIGURA 7). Talvez uma forma de sobrevivência ao estresse submetido.

Quanto ao comprimento das raízes (CTR), não houve diferença significativa entre os tratamentos, principalmente quando se compara o processo de subsolagem com o controle (FIGURA 8) (FIGURA 3 e 9).

FIGURA 8: COMPRIMENTO TOTAL DA RAIZ DOS INDIVÍDUOS DA ESPÉCIE INGA VERA SOB PROCEDIMENTO DE SUBSOLAGEM, HERBIVORIA E CONTROLE. LETRAS DIFERENTES INDICAM DIFERENÇAS SIGNIFICATIVAS PELO TESTE DE TUKEY ($P < 0,05$).

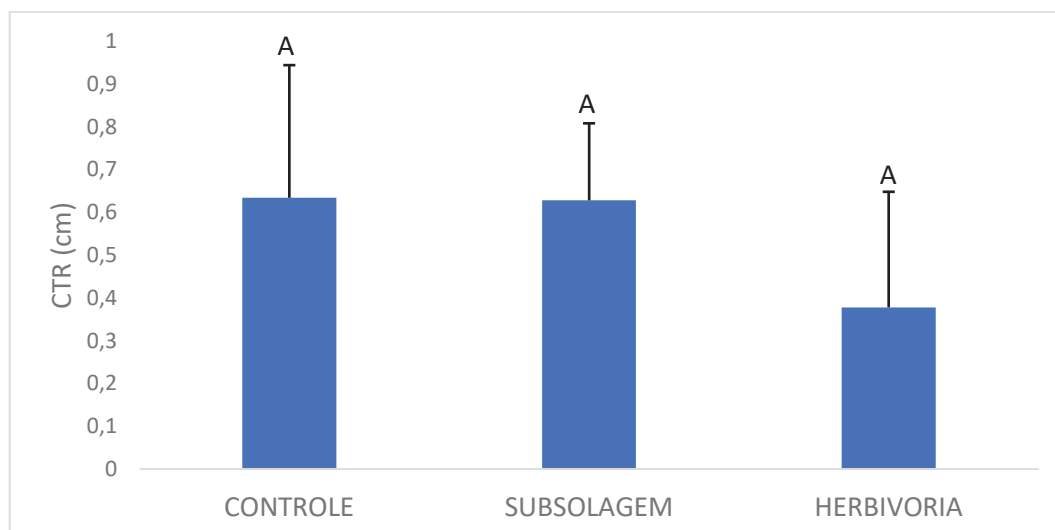
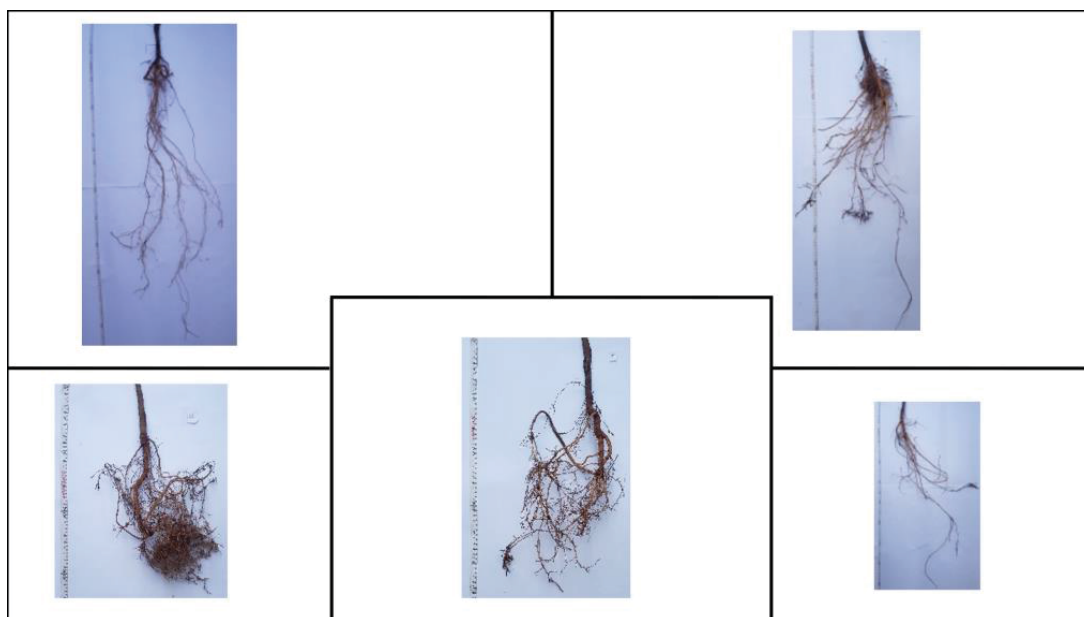


FIGURA 9: RAÍZES DE 5 INDIVÍDUOS DE INGA VERA IMPLANTADAS NA ÁREA DE REJEITO (CONTROLE) COLETADOS EM AGOSTO DE 2021.

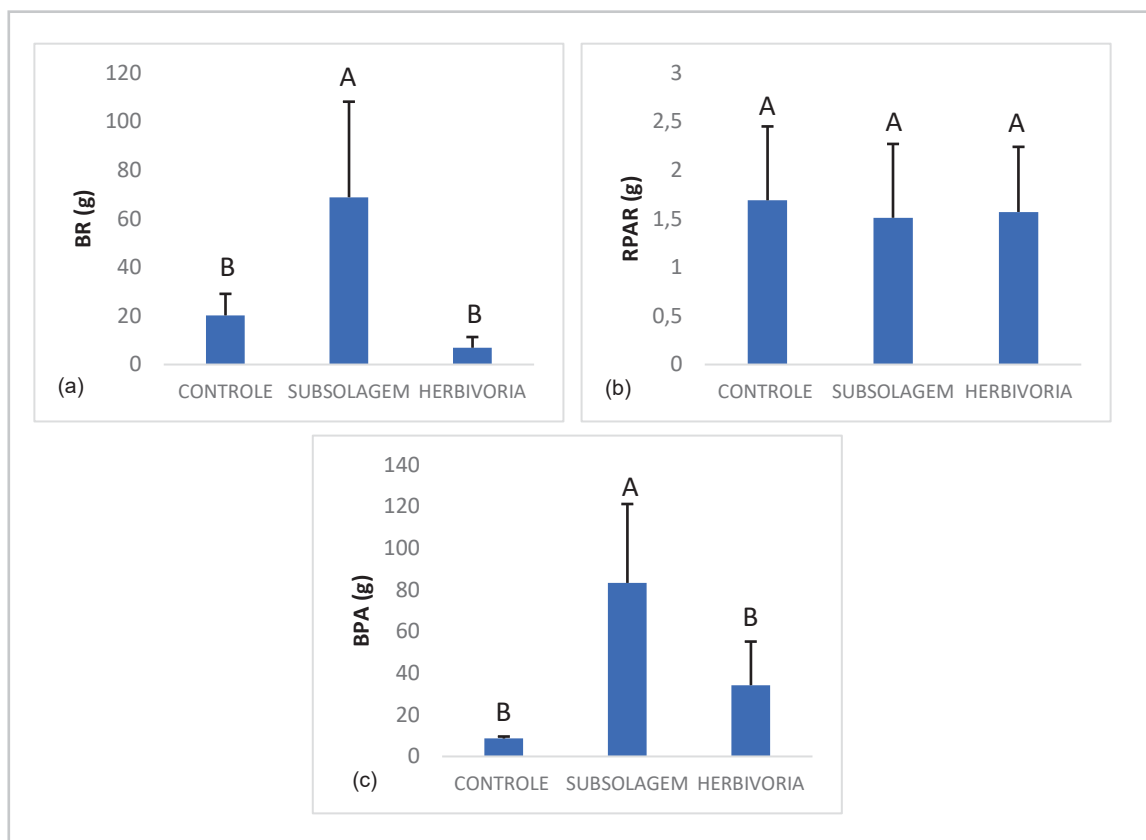


Isso pode ter ocorrido devido à compactação do rejeito que pode ter impedido o crescimento em profundidade das raízes em todos os tratamentos, visto o enovelamento apresentado nas raízes dos indivíduos coletados (FIGURA 7).

Estudos realizados por Dias (2020) encontraram valores de resistência à penetração na ordem de 2,7 a 3Mpa, na faixa de 0-30 cm de profundidade e o nível crítico de compactação para prejudicar o enraizamento de plantas, segundo Greacen e Sands (1980) é de 2,5 MPa.

O processo de subsolagem também demonstrou uma quantidade significativamente maior de biomassa de raiz e de parte aérea do que as plantas com herbivoria e controle, embora a razão raiz/parte aérea não tenha sido significativa entre os tratamentos (FIGURA 10).

FIGURA 10: (A) BIOMASSA DAS RAÍZES (BR), (B) BIOMASSA DAS PARTES ÁREAS (BPA) E (C) RAZÃO PARTE AÉREA/RAIZ (RPAR) DA ESPÉCIE *INGA VERA* SOB PROCEDIMENTO DE SUBSOLAGEM, HERBIVORIA E CONTROLE. LETRAS DIFERENTES INDICAM DIFERENÇAS SIGNIFICATIVAS PELO TESTE DE TUKEY ($P < 0,05$).



O maior investimento em biomassa de raiz no processo de subsolagem demonstra que a descompactação do solo promove o aumento da biomassa, resultado este visto também no estudo feito por Finger et al. (1996) que observaram um efeito positivo da subsolagem no crescimento do *E. grandis* em solo com ocorrência de camada de impedimento.

Além do aumento da biomassa de raiz, o aumento da biomassa da parte aérea foi verificado como nos estudos realizados por Stape et al. (2002), onde o preparo com subsolagem apresentou maiores valores para altura das plantas de eucalipto, demonstrando que o maior revolvimento do solo aumenta o crescimento inicial das plantas devido as melhores condições para o crescimento radicular que explora um volume maior do solo.

Entretanto, não houve diferença significativa na razão parte aérea/raiz (FIGURA 11) demonstrando uma uniformidade no crescimento da espécie nos três tratamentos propostos, atestando um maior investimento na parte aérea das plantas do que na raiz. Em estudos realizados por Dias, 2020 observou-se

uma razão parte aérea/raiz de 8,78 e comprimento de raiz de 0,47 em plantas de *Inga vera* com 2 anos de plantio em solos de rejeito com compactação do fundo de 4,13 MPa, e de 3 MPa na superfície.

FIGURA 11: INDIVÍDUOS DE *INGA VERA* RETIRADOS DE ÁREAS IMPLANTADAS POR RESTAURIO FLORESTAL, SENDO (A) INDIVÍDUOS CONTROLE, (B) INDIVÍDUOS QUE SOFRERAM HERBIVORIA POR GADO E (C) INDIVÍDUOS INSTALADOS APÓS PROCESSO DE SUBSOLAGEM.



Logo, o aumento da biomassa da raiz em solos subsolados, mas sem aumento significativo no comprimento das raízes mostra que mesmo obtendo

raízes de maior calibre, essas se enovelam na área superficial do solo como visto na FIGURA 3. Isso pode ser uma estratégia de sustentação dessas plantas, aumentando a biomassa das raízes superficiais para fixar-se ao solo compactado e evitar seu tombamento, como também observado no estudo realizado por Dias, 2020 e Nadian et al., 1996 que verificaram um aumento do diâmetro de raízes principais e laterais com o aumento da compactação do solo.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O processo de subsolagem demonstrou ser eficiente para um maior desenvolvimento das raízes dos indivíduos de *Inga vera* em solo de rejeito. Porém, mesmo com o uso da subsolagem a compactação do solo não permitiu que as plantas se desenvolvessem em profundidade, necessitando de mais estudos em processos que permitam melhorar a física do solo do rejeito.

A herbivoria, como esperado, mostrou ser muito prejudicial para os indivíduos de *Inga vera* e o engajamento do produtor para evitar o acesso do gado as áreas reflorestadas se torna fundamental para a restauração florestal das APP's atingidas pelo rejeito.

REFERÊNCIAS

ARP, W.J. Effects of source-sink relations on photosynthetic acclimation to elevated CO₂. **Plant, Cell and Environment**, Logan, v. 14(8), p. 869-875, 1991.

BASSETT, I.E., SIMCOCK, R.C., MITCHELL, N.D. Consequences of soil compaction for seedling establishment: implications for natural regeneration and restoration. **Austral. Ecol.**, n. 30, p. 827–833, 2005.

BRASIL. **Laudo Técnico Preliminar**: Impactos ambientais decorrentes do desastre envolvendo o rompimento da barragem de Fundão, em Mariana, Minas Gerais. Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis – IBAMA. Minas Gerais, 2015.

BOEGE, K.; MARQUIS, R.J. Facing herbivory as you grow up: The ontogeny of resistance in plants. **Trends Ecol. Evol.**, v. 20, p. 441–448, 2005.

CAMARGO, O.A. Compactação do solo e desenvolvimento de plantas. Campinas, Fundação Cargill, 44p., 1983.

CANARACHE, A. P. A generalized semi-empirical model estimating soil resistance to penetration. **Soil Till. Res.**, Amsterdam, n.16, p. 51-70, 1990.

CORNELISSEN, T. G., FERNANDES, G. W. Defence, growth and nutrient allocation in the tropical shrub *Bauhinia brevipes* (Leguminosae). **Australian Ecology**, v. 26, p. 246–253, 2001.

DE BAETS, S.; POESEN, J.; GYSSELS, G.; & KNAPEN, A. Effects of grass roots on the erodibility of topsoils during concentrated flow. **Geomorphology**, n.76, p. 54-67, 2006.

CARVALHO, J.E.B.; LOPES, L.C.; ARAÚJO, A.M. A.; SOUZA, L. S.; CALDAS, R.C.; DALTRO JÚNIOR, C.A.; CARVALHO, L.L.; OLIVEIRA, A.A.R.; SANTOS, R.C. Leguminosas e seus efeitos sobre propriedades físicas do solo e produtividade do mamoeiro 'Tainung 1'. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v.26, p.335-338, 2004.

DEDORDI, G. F. Crescimento radicular da cultura da soja sob níveis de compactação do solo e mecanismos sulcadores. 2015. 70 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2015.

EKWUGHA, U.E.; MOSES, O.; EDET, D.E. Evaluation of Cattle Menace on Forest Plantations in South-East Nigeria: A Case Study of Ohaji/Egbema Local Government Area of Imo State, II **International Journal of Multidisciplinary Research and Publications (IJMRAP)**, v. 3, p. 24-29, 2021.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Relatório Técnico - Avaliação dos impactos causados ao solo pelo rompimento da barragem de rejeito de mineração em Mariana, MG**: apoio ao Plano de Recuperação Agropecuária Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 20 p., 2015.

FUNDAÇÃO ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE. Mapa de Solos de Minas Gerais: legenda expandida. UFV/CETEC/UFLA/FEAM. Belo Horizonte: Fundação Estadual do Meio Ambiente, 2010.

FERREE, D. C.; STREETER, J. G.; YUNCONG, Y. Response of containergrown apple trees to soil compactation. **HortScience**, Alexandria, v. 39(1), p. 40-48, 2004.

FINGER, C. A. G.; SCHUMACHER, P.; SCHNEIDER, R.; HOPPE, M. Influência da camada de impedimento no solo sobre o crescimento de *Eucalyptus grandis* (Hill) ex Maiden. **Ciência Florestal**, v.6, n.1, p.137-145, 1996.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS - FAO. World reference base for soil resources 2014. **World soil resources reports**, Roma, n.106, 203 p., 2015.

GREACEN, E.L., SANDS, R. Compaction of forest soils: a review. **Aust. J. Soil**

Res. v. 18, p. 163– 189, 1980.

HERNÁNDEZ-BARRIOS, J. C., ANTEN, N. P. R., ACKERLY, D. D., MARTÍNEZ-RAMOS, M. Defoliation and gender effects on fitness components in three congeneric and sympatric understorey palms. **Journal Ecology**, v. 100, p. 1544–1556, 2012.

KELLY, C.K.; HANLEY, M.E. Juvenile growth and palatability in co-occurring, congeneric British herbs. **American Journal of Botany**, v. 92, p. 1586 – 1589, 2005.

KOPPEN. W. Grundriss der Klimakunde. Berlin: Walter de Gruyter, 390p., 1931.

KOZLOWSKI, T.T. Soil Compaction and Growth of Woody Plants. **Scand. J. For. Res**, v.14, p. 596–619, 1999.

KOZLOWSKI, T.T. & S.G. PALLARDY. The physiology of woody plants. **Academic Press**, San Diego, 1997.

NADIAN, H.; SMITH, S.E.; ALSTON, A.M.; MURRAY, R.S. The effect of soil compaction on growth and P uptake by *Trifolium subterraneum*: interactions with mycorrhizal colonization. **Plant Soil**, v. 49. p. 182:39, 1996.

OLSZEWSKI N. COSTA L. M., FERNANDES FILHO E. I., RUIZ H. A., ALVARENGA R. C., CRUZ J. C. 2004. Morfologia de agregados do solo avaliada por meio de análise de imagens. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 28, v. 5, p. 901 - 909, 2004.

REICHERT, J.M.; REINERT, D.J.; BRAIDA, J.A. Qualidade dos solos e sustentabilidade de sistemas agrícolas. **Ciência e Ambiente**, v. 27, p. 29 – 48, 2003.

RODRIGUES, J.B. A Botânica: nomenclatura indígena e seringueiras. Edição fac-similar das obras Mbaé Kaá – Tapyiyetá Enoyndava e as Heveas. Rio de Janeiro: Jardim Botânico do Rio de Janeiro, 86p., 1905.

RUSSEL, E.W. Soil conditions and plant growth. 9.ed. Norwich, Longmans, 688p., 1961.

SCHAEFER, C. E. G. R.; SANTOS, E.E.; SOUZA, C.M.; NETO, J.D.; FILHO, E. I. F.; DELPUPO, C. Cenário histórico, quadro fisiográfico e estratégias para recuperação ambiental de Tecnossolos nas áreas afetadas pelo rompimento da barragem do Fundão, Mariana, MG. **Arquivos do Museu de História Natural e Jardim Botânico**, v. 24, (1/2), p. 105-135, 2015.

SILVA, L. Rompimento da barragem de fundão em mariana-mg: caracterização e qualidade física de tecnossolo formado pela deposição dos rejeitos. 2017. 27f. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Agronomia) Graduação em Agronomia, Universidade Federal de Viçosa, 2017.

SRIVASTAVA, A. K.; GOERING, C. E.; ROHRBACH, R. P. Engineering

principles of agricultural machines. Lansing: American Society of Agricultural Engineers, ASAE, 602 p., 1993.

STAPE, J. L. ANDRADE, S.C.; GOMES, A.N.; KREJCI, L.C. RIBEIRO, J.A.C.L. Definições de métodos de preparo de solo para silvicultura em solos coesos do litoral norte da Bahia. In: GONÇALVES, J. L. M.; STAPE, J. L. (Eds.). **Conservação e cultivo de solos para plantações florestais**. Piracicaba: IPEF, 2002. p.259-296, 2002.

STIRZAKER, R. J.; PASSIOURA, J. B.; WILMS, Y. Soil structure and plant growth: impact of bulk density and biopores. **Plant and Soil**, v. 185, p. 151-162, 1996.

SOUZA, L. D.; SOUZA, L. S.; LEDO, C. A. S.; CARDOSO, C. E. L. Distribuição de raízes e manejo do solo em cultivo de mamão nos Tabuleiros Costeiros. Pesquisa Agropecuária Brasileira, v. 51, n. 12, p. 1937-1947, 2016.

TSCHAPLINSKI, T.J., BLAKE, T.J. (1985) Effects of root restriction on growth correlations, water relations and senescence of alder seedlings. **Physiologia Plantarum**, Lund, v. 64(2), p.167-176, 1985.

ZANON, A. J.; Silva, M.R.; Tagliapietra, E.L.; Cera, J.C. Ecofisiologia da Soja Visando Altas Produtividades. Santa Maria: Santa Maria: Palloti/SM, 2018.