



RENATA ROLLA OLIVEIRA

**CRESCIMENTO DE ESPÉCIES NATIVAS EM TECNOSSOLO DA BARRAGEM
DE FUNDÃO SOB DIFERENTES REGIMES HÍDRICOS**

LAVRAS - MG

2019

RENATA ROLLA OLIVEIRA

**CRESCIMENTO DE ESPÉCIES NATIVAS EM TECNOSSOLO DA BARRAGEM
DE FUNDÃO SOB DIFERENTES REGIMES HÍDRICOS**

Trabalho de conclusão de curso
apresentado à Universidade Federal de
Lavras, como parte das exigências do
Curso de Engenharia Florestal, para a
obtenção do título de Bacharel.

Prof. Dr. Lucas Amaral de Melo

Orientador

Prof. Dr. Fábio Henrique Silva Floriano de Toledo

Coorientador

LAVRAS - MG

2019

RENATA ROLLA OLIVEIRA

**CRESCIMENTO DE ESPÉCIES NATIVAS EM TECNOSSOLO DA BARRAGEM
DE FUNDÃO SOB DIFERENTES REGIMES HÍDRICOS**

Trabalho de conclusão de curso
apresentado à Universidade Federal de
Lavras, como parte das exigências do
Curso de Engenharia Florestal, para a
obtenção do título de Bacharel.

APROVADO em 29 de novembro de 2019.

Prof. Dr. Lucas Amaral de Melo
Orientador

Prof. Dr. Fábio Henrique Silva Floriano de Toledo
Coorientador

Prof. Dra. Soraya Alvarenga Botelho
Membro

LAVRAS - MG

2019

Ao Doce povo de Minas, à Doce natureza, ao Doce meio ambiente e ao rio Doce, que foram atingidos pelo rompimento da barragem de Fundão, Mariana-MG.

Dedico.

AGRADECIMENTOS

A Deus por sempre me manter firme e determinada em busca dos meus sonhos e objetivos.

À Universidade Federal de Lavras pela qualidade, por todas as portas que se abriram para mim no decorrer dessa trajetória e pelos excelentes professores que tive ao longo dessa jornada.

Deixo, em especial, meus agradecimentos para o meu coorientador, Fábio Henrique Silva Floriano de Toledo, e ao meu amigo de curso, Willians Stacanelli Pedroso, pessoas que tiveram grande importância para a realização deste trabalho e que, juntos, fizemos acontecer. Aos demais amigos que me ajudaram, serei eternamente grata.

Agradeço ao meu orientador, Lucas Amaral de Melo, e à professora Soraya Alvarenga Botelho, por todas as orientações e incentivos.

Aos meus pais, Eugênio Teixeira de Oliveira e Izabel Cristina Rolla Oliveira, meus maiores exemplos, orgulho e admiração.

CRESCIMENTO DE ESPÉCIES NATIVAS EM TECNOSSOLO DA BARRAGEM DE FUNDÃO SOB DIFERENTES REGIMES HÍDRICOS

Renata Rolla Oliveira¹, Lucas Amaral de Melo², Fabio Henrique Silva Floriano de Toledo³, Soraya Alvarenga Botelho⁴, Willians Stacanelli Pedroso⁵

RESUMO:

O estudo teve como objetivo avaliar o crescimento de plantas de duas espécies nativas, *Solanum granulatum-leprosum* (gravitinga) e *Hymenaea courbaril* (jatobá), em diferentes substratos e duas condições hídricas, visando dar subsídio para a recuperação da bacia do rio Doce após o rompimento da barragem de Fundão em Mariana, MG. Amostras de solo e tecnossolo, formado pela deposição de rejeitos de minério de ferro, foram coletadas na região do desastre. Substratos formados pelo solo, tecnossolo e pela mistura de solo e tecnossolo (proporção 1: 1 em volume) foram utilizados como tratamentos. Um experimento para cada espécie foi conduzido por delineamento experimental inteiramente casualizado, em arranjo fatorial, sendo três substratos e duas condições hídricas (irrigação normal e pouco irrigado), com oito repetições. Características físicas dos substratos, como densidade e volume total de poros, foram avaliadas. Medições para acompanhamento periódico do crescimento das plantas foram realizadas a cada 15 dias para a gravitinga, por um período de 150 dias e, a cada 30 dias, para o jatobá, por um período de 225 dias. Os parâmetros morfológicos medidos durante a realização do experimento foram: altura das plantas (H), diâmetro do coleto (DC) e a relação entre a altura e o diâmetro do coleto (H/DC) para avaliar a qualidade das plantas. Após o término dos experimentos, foram determinadas a massa seca das folhas (MSF), a massa seca do caule (MSC), a massa seca das raízes (MSR), a massa seca da parte aérea (MSPA), a massa seca total (MST), a área foliar (AF) e o índice de qualidade Dickson (IQD). Para a espécie pioneira (gravitinga), melhor qualidade de plantas foi obtida com o substrato solo, na condição de irrigação normal (IN), enquanto menor qualidade foi obtida com substrato tecnossolo e qualidade intermediária com substrato mistura. Para a espécie secundária (jatobá), não se observou diferenças significativas no crescimento e qualidade das plantas para os diferentes substratos e condições hídricas. As plantas de gravitinga e jatobá apresentaram um crescimento contínuo ao longo do experimento para os diferentes substratos e condições hídricas. Este fato indica que o tecnossolo constituído por rejeitos de minério de ferro proveniente da barragem de Fundão tem potencial para reabilitação vegetal.

Palavras-Chave: PRAD, *Solanum granulatum-leprosum*, *Hymenaea courbaril*, condição hídrica, recuperação ambiental, rio Doce, tecnossolo.

¹Graduanda em Engenharia Florestal pela Universidade Federal de Lavras (UFLA)

²Prof. Dr. em Silvicultura, coordenador do curso de Engenharia Florestal da (UFLA)

³Prof. Dr. em Recursos Florestais, professor substituto da (UFLA)

⁴Prof. Dra. em Ciências Florestais, professora titular da (UFLA)

⁵Graduando em Engenharia Florestal pela Universidade Federal de Lavras (UFLA)

GROWTH OF NATIVE SPECIES IN TECNOSOL FROM FUNDÃO DAM UNDER DIFFERENT HYDRIC REGIMES

ABSTRACT:

The objective of the study was to evaluate the growth of seedlings of two native species, *Solanum granulosum-leprosum* (gravitinga) and *Hymenaea courbaril* (jatobá), in different substrates (soil, technosol and mixture of both) and two watering conditions, aiming to give subsidy for the recovery of the Doce river basin after the Fundão dam rupture in Mariana, MG. Samples of soil and technosol, formed by the deposition of iron ore tailings, were collected in the disaster region. Substrate formed by soil and technosol mixture (1:1 portion by volume) was also used as treatment. The experiment was conducted by completely randomized experimental design in factorial arrangement, with three substrates and two watering conditions (normal irrigation and poorly irrigated condition), with eight replications, totaling 48 individual parcels by each species and a total of 96 individual parcels. Substrate physical characteristics such as pore density and total pore volume were measured. Measurements for periodic monitoring of seedling growth were performed every 15 days for gravitinga over a period of 150 days and every 30 days for jatobá over a period of 225 days. The morphological parameters measured during the experiment were: seedling height (H), stem diameter (DC), height to stem diameter ratio (H/DC) to evaluate seedling quality. After the experiment, leaf dry mass, stem dry mass, root dry mass, aerial part dry mass, total dry mass, leaf area and Dickson quality index were determined. Better seedling quality for the pioneer species (gravitinga) was obtained with soil substrate under normal irrigation condition. Lower quality was obtained with technosol substrate and intermediate quality with substrate mixture. For the secondary species (jatobá) no significant differences were observed in seedling growth and quality for the different substrates and watering conditions. Gravitinga and jatobá seedlings showed a continuous growth throughout the experiment for the different substrates and watering conditions. This fact indicates that the technosol consisting of iron ore tailings from the Fundão dam has potential for vegetal rehabilitation.

Key words: DARP, *Solanum granulosum-leprosum*, *Hymenaea courbaril*, watering condition, environmental recovery, Doce river, technosol.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	8
2	MATERIAL E MÉTODOS	11
2.1	Caracterização da área de estudo.....	11
2.2	Área experimental.....	11
2.3	Descrição dos tratamentos e delineamento estatístico.....	12
2.4	Características avaliadas.....	13
3	RESULTADOS E DISCUSSÃO	16
3.1	Resultados analíticos das amostras	16
3.2	Características mineralógicas do tecnossolo da área de estudo.....	17
3.3	Densidade e volume total de poros dos substratos.....	18
3.4	Crescimento e qualidade das plantas de gravitinga.....	19
3.4.1	Variáveis significativas para o substrato.....	20
3.4.2	Valores significativos para condição hídrica.....	21
3.4.3	Crescimento relativo das plantas aos 150 dias.....	22
3.5	Crescimento e qualidade das plantas de jatobá	23
3.5.1	Variáveis significativas para o substrato.....	23
3.5.2	Crescimento relativo das plantas aos 225 dias.....	24
4	CONCLUSÕES	26
	REFERÊNCIAS	27

1 INTRODUÇÃO

Nos últimos quatro anos, houve dois rompimentos de barragem de minério de ferro no estado de Minas Gerais, em Mariana e Brumadinho, com consequências catastróficas, não só pela perda de vidas humanas, mas também, pelo significativo impacto ambiental, constituindo-se em um desafio para a proposição de um processo eficiente de recuperação das áreas afetadas.

Em novembro de 2015, ocorreu o rompimento da Barragem de Rejeitos de Fundão, da mina de Germano, de propriedade da Mineradora Samarco, localizada no município de Mariana, provocando a liberação de mais de 30 milhões de metros cúbicos de rejeitos de mineração. A lama devastou o distrito de Bento Rodrigues, em Mariana, seguindo pelos rios Gualaxo do Norte e do Carmo, alcançando o rio Doce, afetando, posteriormente, diversos municípios de Minas e Espírito Santo, até atingir o oceano Atlântico. De acordo com estudo realizado pelo IBAMA, o rompimento da barragem de Fundão em Mariana afetou 663 km de rios e córregos, além de 1469 hectares de terras ao longo de 77 km de cursos de água (GUIMARÃES, 2018).

O rompimento devastou significativamente a composição florestal, gerando extensa destruição e degradação das zonas ripárias. A Usina Hidrelétrica Risoleta Neves (Candonga) comportou em seu reservatório um grande volume da porção mais pesada do rejeito, o que ajudou a reduzir a velocidade com que a lama avançava rio abaixo. Após a barragem de Candonga, a parte mais fina da lama seguiu, afetando a calha do rio Doce e causando bem menos impactos às margens e planícies anterior à Candonga (FUNDAÇÃO RENOVA, 2019).

O rompimento da barragem de Fundão constituiu-se no maior acidente ambiental de mineração no Brasil. Após o rompimento, houve o soterramento concomitante do solo, do banco de sementes e de plantas mais jovens ou de menor porte, comprometendo severamente a sucessão vegetal natural (SCHAEFER et al., 2016).

Os rejeitos de minério de ferro armazenados na barragem são constituídos basicamente por sílica (SiO_2) e hematita (Fe_2O_3) (SILVA et al., 2016). Em geral, os rejeitos são extremamente finos, caracterizados por conter, basicamente, frações granulométricas com mais de 90% abaixo de 0,074 mm de diâmetro equivalente. Alguns apresentam, inclusive, características de plasticidade, com baixos valores do índice de plasticidade (PEREIRA, 2005).

Do ponto de vista ambiental, um dos grandes problemas da maioria das empresas que extraem minério de ferro é que, durante seu beneficiamento, a água constitui um componente importante do processo. O beneficiamento envolve a extração do minério, contendo características químicas e físicas adequadas à comercialização, bem como à separação do rejeito

de minério, que é lançado em barragens por vias de contenção. Em virtude da dimensão espacial destes sistemas de contenção, assim como da constituição porosa e do grau de saturação do meio e, conseqüentemente, da capacidade de armazenamento e de condução de água, todo este montante de rejeitos pode ser considerado como um aquífero artificial (ALMEIDA et al., 2008).

Com o rompimento da barragem de Fundão, grande quantidade da lama de rejeitos de minério de ferro armazenada foi liberada, formando extensas áreas de tecnossolo, principalmente até a barragem de Candonga. Para ser considerado um tecnossolo, o solo artificial formado pela deposição da lama deve conter mais de 20% de material tecnogênico nos primeiros 100 cm, sendo usualmente composto por misturas com pouca seleção e natureza mineralógica de rejeito complexo: areia, silte, argila e restos orgânicos, decorrente de resíduos de mineração e de seu tratamento (SCHAEFER et al., 2016).

No processo de recuperação florestal da bacia do rio Doce afetada pelo rompimento da barragem é importante a condição física do tecnossolo formado pelos rejeitos de minério de ferro, visto que a regeneração florestal utilizando mudas poderá ocorrer sem necessidade adicional do aporte de água ou uso intensivo de irrigação.

Os métodos de recuperação de matas ciliares por acidentes ambientais são usualmente conduzidos por recuperação artificial. O emprego de semeadura direta isoladamente para a recuperação destas áreas não é eficaz por não impedir a erosão das margens dos rios impactados pelo desastre, exigindo o emprego de mudas de espécies arbóreas para garantir a estrutura do tecnossolo (MAGALHÃES, 2018). As principais vantagens do plantio de mudas são, principalmente, a garantia da densidade de plantio, pela alta sobrevivência, e do espaçamento regular obtido, facilitando os tratamentos silviculturais.

Para obter sucesso na recuperação das áreas degradadas, principalmente em áreas de deposição de sedimentos tecnogênicos de origem minerária, é preciso pensar em um sistema que induza seu equilíbrio natural, promovendo a sucessão vegetal que identifica espécies vegetais menos exigentes para atuarem pioneiramente no solo, melhorando suas propriedades e permitindo que outras espécies mais exigentes venham a ser posteriormente introduzidas, aumentando-se a diversidade na área.

A avaliação do desenvolvimento de espécies nativas (pioneiras e clímax) no tecnossolo, formado pela deposição da lama de minério de ferro sobre as planícies e margens dos rios da bacia do rio Doce, poderá contribuir para um mais rápido processo de recuperação das áreas degradadas da região.

Diante do cenário citado, este trabalho teve como objetivo avaliar o crescimento de duas espécies nativas (*Solanum granulosum-leprosum* e *Hymenaea courbaril*), em diferentes

substratos relacionados com o tecnossolo, e diferentes condições hídricas, visando dar subsídios para a recuperação da bacia do rio Doce, após o rompimento da barragem de rejeitos em Mariana, MG.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Caracterização da área de estudo

O município de Mariana está localizado no sudeste do estado de Minas Gerais, apresentando uma temperatura média de 19 °C (PREFEITURA MARIANA, 2019). A vegetação predominante é de Mata Atlântica, sendo que o Cerrado também faz parte do bioma, bem como a transição destes biomas.

Para o desenvolvimento do estudo, amostras de solo natural e de tecnossolo (solo artificial), originado pelo rompimento da barragem de Fundão, foram coletadas no município de Mariana.

Amostras simples representativas de solo e tecnossolo foram extraídas da região e armazenadas nas dependências da Universidade Federal de Lavras (UFLA), município de Lavras, Minas Gerais, dispostas sobre o chão e cobertos por lonas plásticas. As análises químicas e físicas das amostras foram realizadas pelo Laboratório de Análise de Solos – UFLA, através da análise tradicional de solos.

Visando compor os experimentos para o desenvolvimento de espécies nativas, foram analisadas amostras de solo, de tecnossolo, e também uma mistura de solo e tecnossolo (proporção 1:1 em volume), sendo todas as amostras submetidas à análise química.

2.2 Área experimental

Foram desenvolvidos dois experimentos, em casa de vegetação no Viveiro Florestal, localizado na UFLA, entre dezembro de 2018 e julho de 2019, por um período de 226 dias.

Para a realização dos experimentos, optou-se por utilizar uma espécie nativa pioneira (*Solanum granulatum-leprosum*; nome vulgar – gravitinga) e uma espécie nativa clímax (*Hymenaea courbaril*; nome vulgar – jatobá). Para cada espécie foi instalado um experimento.

A gravitinga é recomendada para a recuperação de áreas degradadas como espécie inicial da sucessão (pioneira), por apresentar bom crescimento e boa cobertura de copa. Com o rápido recobrimento da área, a gravitinga cria um ambiente favorável ao desenvolvimento de espécies secundárias e desfavorece o desenvolvimento de espécies competidoras, como gramíneas e lianas agressivas através do sombreamento da área em processo de recuperação, além de possuir florescimento e produção precoce de sementes (ATTANASIO, 2008).

O jatobá é uma espécie arbórea que tem habilidade de se desenvolver bem em ambientes com diferentes características edafoclimáticas e vem se destacando por apresentar estratégias

adaptativas interessantes para diversas áreas. Outra peculiaridade do jatobá é possuir baixas exigências nutricionais e hídricas em ambientes naturais, sendo observada sua presença em terrenos que apresentam solos distróficos e bem drenados (NASCIMENTO et al., 2011) e utilizada como espécie secundária na recuperação de áreas degradadas.

As mudas de gravitinga e jatobá foram originadas a partir de coletas de sementes no município de Mariana, cultivadas em tubetes no Viveiro Florestal da UFLA e selecionadas de maneira uniforme, sendo transferidas para vasos individuais após seis meses de cultivo.

2.3 Descrição dos tratamentos e delineamento estatístico

Os vasos possuíam volumes de 7 L e foram preenchidos com os substratos solo, tecnossolo e mistura, tendo o fundo vedado com fita adesiva e sacos plásticos, impedindo vazamentos de água. A fertilização dos substratos seguiu as recomendações feitas por Ribeiro (1999).

Após o plantio das mudas nos vasos, as mesmas foram irrigadas regularmente, mantendo-se a capacidade de campo, por um período de 45 dias para adaptação, antes de submetê-las às diferentes condições hídricas por meio do regime de regas.

Após este período, deu-se início à diferenciação dos regimes de rega. A diferença dos regimes hídricos foi testada com base em diferentes intervalos de tempo de rega para os tratamentos irrigação normal (IN) e pouco irrigado (PI).

Plantas nos tratamentos em condição úmida (denominada irrigação normal (IN)) receberam água uma vez a cada sete dias, independente da espécie. Para as plantas em condição pouco irrigado (PI), as regas foram ajustadas de acordo com os limites de tolerância de cada espécie. A gravitinga, por ser pioneira, de crescimento acelerado, com maior demanda hídrica, recebeu água nas condições (PI) uma vez a cada 14 dias. O jatobá, por ser uma planta secundária, de crescimento moderado, recebeu água uma vez a cada 21 dias na condição pouco irrigado (PI).

O volume de água para a rega das plantas foi definido com base na determinação do Ponto de Murcha Permanente (PMP), Capacidade de Campo (CC) e densidade do substrato de cada tratamento, por meio de análise laboratorial. As plantas foram mantidas no intervalo de variação hídrica correspondente aos valores de capacidade de água disponível (CAD), apresentados na tabela 1.

Tabela 1. Valores de capacidade de campo (CC), Ponto de Murcha Permanente (PMP), determinação da capacidade de água disponível (CAD) e densidade para cada um dos substratos testados.

	SOLO	MISTURA	TECNOSSOLO
CC% (g/g)	31,17	20,03	12,57
PMP% (g/g)	21,46	11,93	3,00
CAD% (g/g)	26,32	15,98	7,79
DENSIDADE (g/cm ³)	0,964	1,196	1,362

Fonte: do autor (2019)

O valor de CAD foi definido através do valor intermediário entre os valores de CC e PMP. Para determinação do volume de água a ser utilizada em cada irrigação, utilizou-se as fórmulas apresentadas abaixo, em que foi possível encontrar os valores de massa e, posteriormente, de volume de água a serem utilizados:

$$Densidade (g/cm^3) = \frac{Massa (g)}{Volume (vaso)(ml)}$$

$$Massa (g \text{ de solo}) \times CAD (g \text{ de H}_2\text{O/g de solo}) = Volume (g \text{ de H}_2\text{O}).$$

Considerando os parâmetros apresentados na tabela 1, determinou-se o volume de água utilizado por rega para cada substrato, sendo 1,60 L para o solo, 1,20 L para mistura e 0,70 L para tecnossolo.

O delineamento experimental utilizado para cada experimento foi inteiramente casualizado, por um planejamento fatorial, com três substratos: solo (S), tecnossolo (T) e mistura (M), e duas condições de umidades: condição irrigação normal (IN), condição pouco irrigado (PI), com oito repetições, sendo cada parcela representada por um vaso. No caso da submissão às condições hídricas, esta se iniciou 45 dias após o plantio das mudas nos vasos com cada um dos substratos analisados

2.4 Características avaliadas

Para acompanhamento periódico do crescimento das plantas, a partir de 45 dias de plantio das mudas no vaso, foram realizadas medições do diâmetro do coleto (DC) com paquímetro digital ao nível do solo e da altura das plantas (H) com auxílio de uma fita métrica, utilizada

desde o nível do solo até a última gema apical. As medições foram realizadas a cada 15 dias para a gravitinga, até 150 dias, por seu rápido crescimento e rápida resposta aos fatores, e a cada 30 dias para o jatobá, até 225 dias, por apresentar uma taxa de crescimento mais lenta e demora na resposta aos fatores. Determinações da relação entre altura e o diâmetro do coleto (H/DC) das plantas, para os diferentes substratos e condições hídricas, foram realizadas.

Ao término de cada experimento foram feitas medições da área foliar. As folhas foram passadas individualmente no integrador foliar (tipo LI-COR, modelo LI-3100C) para determinação da área foliar (AF).

Para avaliação das propriedades físicas do solo, foram feitas medições de densidade e porosidade total do solo, através da coleta de cinco amostras de anéis metálicos de solo de cada tratamento aleatoriamente, apenas nas condições úmidas (irrigação normal (IN)) com volumes de 18,5 cm³.

Ao término dos três meses de experimento, as plantas foram extraídas dos vasos e separadas em folhas, caule e raiz e postas em sacos de papel após lavagem de seus respectivos componentes, para secagem em estufa por sete dias, a 70 °C, e posterior pesagem de massa seca. Foram pesadas a massa seca das folhas (MSF), a massa seca do caule (MSC) e a massa seca da raiz (MSR), sendo determinadas a massa seca da parte aérea (MSPA) e a massa seca total (MST).

Para avaliação da qualidade das plantas, foi determinado o índice de qualidade de Dickson (IQD) por ser apontado como bom indicador de qualidade de plantas, porque são utilizados para seu cálculo a robustez (relação H/DC) e o equilíbrio da distribuição da biomassa (relação MSPA/MSR), ponderando os resultados de várias características morfológicas importantes empregadas para avaliação da qualidade. A qualidade da muda é considerada melhor quanto maior o valor de IQD dos tratamentos para uma dada espécie avaliada (FONSECA et al., 2011), conforme relação:

$$IQD = \frac{MST}{\frac{H}{DC} + \frac{MSPA}{MSR}}$$

sendo, H a altura das plantas em cm, DC o diâmetro do coleto em mm e massas secas determinadas em gramas (DICKSON et al., 1960).

O crescimento relativo das plantas em relação à altura e diâmetro do coleto foi avaliado para o período do experimento, conforme a relação:

$$CR (\%) = 100 \times \frac{V_i - V_f}{V_i}$$

sendo V_i o valor inicial e V_f o valor final da altura e diâmetro do coleto das plantas.

A análise de variância (ANOVA) dos resultados foi feita utilizando o software MINITAB, versão 2014 pra as variáveis: altura (H), diâmetro do coleto (DC), relação entre a altura e o diâmetro do coleto (H/DC), massa seca das folhas (MSF), massa seca do caule (MSC), massa seca da raiz (MSR), massa seca da parte aérea (MSPA), massa seca total (MST), índice de qualidade Dickson (IQD) e área foliar (AF). Testes para normalidade de Ryan-Joiner e teste de variâncias iguais de Bartlett foram aplicados com intervalos de confiança de 95% para os desvios padrões (Bonferroni). Todos os testes foram realizados para um nível de significância de 5%.

A figura 1 apresenta o aspecto geral das plantas no final da realização do experimento.

Figura 1. Aspecto dos vasos do experimento na casa de vegetação no Viveiro Florestal da UFLA (150 dias de experimento).



Fonte: do autor (2019).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Resultados analíticos das amostras

A tabela 2 apresenta os resultados analíticos das amostras formadas pelo solo natural (S), misturas de solo natural e tecnossolo (M) e tecnossolo (T).

Tabela 2. Resultados analíticos de três amostras de solo (S), misturas de solo e tecnossolo (M) e tecnossolo (T) para realização dos experimentos.

ID Amostra	pH	K	P	Na	Ca	Mg	Al	H+Al	SB	t	T	V	m	M.O.	P-Rem	Zn	Fe	Mn	Cu	B	S
		mg/dm ³			cmol _c /dm ³							%		dag/kg	mg/L	mg/dm ³					
S1	4,9	6,92	3,35	6,86	0,22	0,10	0,17	2,71	0,34	0,51	3,05	11,07	33,33	0,63	10,18	1,20	50,29	4,43	21,73	0,03	25,83
S2	4,9	7,94	4,08	7,89	0,22	0,10	0,23	2,27	0,34	0,57	2,61	13,04	40,35	0,62	11,21	0,62	41,15	3,38	58,26	0,06	22,23
S3	4,7	5,90	0,72	6,86	0,19	0,10	0,16	1,96	0,31	0,47	2,27	13,44	34,04	0,53	9,19	0,16	40,54	3,18	0,80	0,07	54,54
M1	6,2	11,00	3,88	25,45	0,91	0,10	0,02	1,16	1,04	1,06	2,20	47,19	1,89	0,49	20,84	0,5	127,68	88,11	24,24	0,10	26,78
M2	5,9	11,00	3,74	24,42	0,97	0,10	0,02	1,16	1,10	1,12	2,26	48,59	1,79	0,48	24,82	0,51	96,06	77,80	0,84	0,10	26,88
M3	6,0	12,02	2,96	25,45	1,05	0,10	0,02	1,22	1,18	1,20	2,40	49,20	1,67	0,47	25,03	0,41	92,64	66,97	0,91	0,09	34,23
T1	8,4	15,08	8,77	27,52	1,31	0,10	0,02	0,56	1,45	1,47	2,01	72,07	1,36	0,40	43,76	3,27	131,88	110,99	70,50	0,12	7,81
T2	8,3	14,06	9,05	29,59	1,30	0,10	0,02	0,62	1,44	1,46	2,06	69,71	1,37	0,51	49,37	0,57	164,92	123,04	0,62	0,13	9,56
T3	8,2	17,12	9,21	30,62	1,29	0,10	0,02	0,60	1,43	1,45	2,03	70,64	1,38	0,31	44,97	0,65	172,41	134,59	0,47	0,17	7,03

ID Amostra	Classificação do Solo	Argila		Silte		Areia	
		dag/kg		dag/kg		%	
S1	Solo Tipo 3	56		13		31	
S2	Solo Tipo 3	58		11		31	
S3	Solo Tipo 3	54		15		31	
M1	Solo Tipo 2	32		29		39	
M2	Solo Tipo 2	35		26		39	
M3	Solo Tipo 2	32		27		41	
T1	Solo Tipo 1	9		41		50	
T2	Solo Tipo 1	9		40		51	
T3	Solo Tipo 1	7		33		60	

Em que: pH em água, KCl e Ca Cl₂ - Relação 1:2,5, Ca - Mg - Al - Extrator: KCl - 1 mol/L, SB - Soma de Bases Trocáveis, CTC (T) - Capacidade de Troca Iônica a pH 7,0, m - Índice de Saturação de Alumínio, P-Rem: Fósforo Remanescente, S - Extrator: Fosfato monocálcio em ácido acético, P - Na - K - Fe - Zn - Mn - Cu - Extrator: Mehlich, H + Al - Extrator: SMP, CTC (t) - Capacidade de Troca Iônica Efetiva, CTC (t) - Capacidade de Troca Iônica Efetiva, V - índice de Saturação de Bases, Mat. Org. (M.O.) - Oxidação: Na₂CrO₇ 4N+ H₂SO₄ 10N, B - Extrator: Água Quente, Solo Tipo 1: Textura Arenosa, Solo Tipo 2: Textura Média, Solo Tipo 3: Textura Argilosa.

Fonte: do autor (2019).

Verifica-se, na tabela 2, que o solo amostrado em Mariana apresentou elevada acidez (pH baixo, variando de 4,7 a 4,9), enquanto que o tecnossolo (rejeito de minério de ferro) apresentou-se moderadamente alcalino (pH alto, variando de 8,2 a 8,4).

De acordo com a classificação pedológica (ALMEIDA, 2005), a textura do solo foi caracterizada como argilosa, enquanto que a do tecnossolo foi caracterizada como arenosa, com teores de areia acima de 50%.

Como apresentado na tabela 2, o teor de fósforo no solo (com teor de argila médio de 56%) e no tecnossolo (com teor de argila médio de 8%) apresentaram-se muito baixos. Considerando os valores de fósforo remanescente (P-Rem) para o solo e tecnossolo, a disponibilidade de fósforo nestes substratos apresentou-se também muito baixa. Valores de potássio, sódio, cálcio, ferro e manganês foram maiores no tecnossolo do que no solo. Os valores de CTC e de matéria orgânica foram baixos, tanto para o solo, quanto para o tecnossolo. O tecnossolo apresentou um

bom valor de saturação por bases, enquanto que o solo apresentou um valor muito baixo. O tecnossolo também apresentou um valor de saturação por alumínio muito baixo, enquanto que o solo apresentou um valor entre baixo e bom (RIBEIRO, 1999).

Os valores das características da mistura, apresentadas na tabela 2, foram intermediários aos valores do solo e do tecnossolo, já que as misturas foram constituídas pela proporção de 1:1 em volume de solo e tecnossolo.

As características do tecnossolo, apresentadas na tabela 2, confirmaram fatores geoquímicos e mineralógicos, determinados em estudo recente (SONGLIN WU et al., 2019), que limitariam a reabilitação de vegetação nativa e, conseqüentemente, a recuperação das áreas degradadas pela presença do tecnossolo formado pelos rejeitos de minérios de ferro. Estes fatores incluem: ambiente moderadamente alcalino, baixo teor de matéria orgânica e pobre estrutura física do tecnossolo devido à presença de mica primária contendo ferro (principalmente minerais como biotita), com baixa área superficial específica para formação de agregado estável à água.

3.2 Características mineralógicas do tecnossolo da área de estudo

A tabela 3 apresenta a análise mineralógica de amostra de tecnossolo coletada na área de estudo (análise via QEMSCAN).

A análise mineralógica apresentada na tabela 3 confirmou dados já levantados anteriormente (SILVA et al., 2016), de que o tecnossolo é constituído basicamente por sílica (quartzo), típico de solo arenoso, e óxido (hematita)/hidróxido (goethita) de ferro de mais altas densidades, tendo muscovita e caulinita em níveis bem mais baixos.

Nas amostras de tecnossolo coletadas para o experimento, os níveis de minerais de mica contendo ferro (biotita e muscovita) foram baixos, como apresentado na tabela 3, restringindo os fatores limitantes para a reabilitação da vegetação à moderada alcalinidade e baixo teor de matéria orgânica do tecnossolo.

Verificou-se que a concentração de manganês é baixa na forma de óxidos, mas alta na forma trocável (tabela 2 e tabela 3).

Tabela 3. Mineralogia da amostra de tecnossolo obtida via QEMSCAN (Quantitative Evaluation of Materials by Scanning Electron Microscopy).

	MINERAIS	% EM MASSA
Silicatos	Quartzo	56,07
	Clorita	1,97
	Biotita	1,66
	Muscovita	3,97
	Caulinita	2,1
	Anfibólios	1,65
	Feldspatos	1,18
	Óxidos/Hidróxidos de ferro	29,09
Óxidos	Gibbsita	0,40
	Óxidos de Manganês	0,91
	Ilmenita	0,44
	Outras fases	0,57

Fonte: do autor (2019).

Com base nas características do tecnossolo apresentadas (tabela 2 e tabela 3), outros fatores potencialmente limitantes à reabilitação de vegetação nativa do tecnossolo incluem: altas concentrações de ferro e manganês nas formas trocáveis e estrutura física relacionada à alta densidade e à baixa porosidade (SILVA et al., 2016).

3.3 Densidade e volume total de poros dos substratos

A tabela 4 apresenta os valores médios de densidade e porosidade dos diferentes substratos utilizados para o plantio das mudas de gravitinga e jatobá.

Tabela 4. Valores médios da densidade (DS) e volume total de poros (VTP) dos substratos: solo, mistura e tecnossolo, na condição de irrigação normal (IN).

Substrato	Ds (g/cm ³)	VTP (cm ³ /cm ³)
Solo	1,084	0,530
Mistura	1,270	0,469
Tecnossolo	1,387	0,379
Média Geral	1,241	0,462
CV(%)	12,370	14,130

Fonte: do autor (2019).

Verifica-se, na tabela 4, que o substrato formado por tecnossolo apresentou mais alta densidade e menor porosidade, podendo impactar a qualidade (robustez) e o Índice de

Qualidade de Dickson (IQD) das plantas. Já o substrato solo apresentou menor valor de densidade e maior valor de porosidade.

3.4 Crescimento e qualidade das plantas de gravitinga

As variáveis altura (H), diâmetro do coleto (DC), massa seca das folhas (MSF), massa seca do caule (MSC), massa seca da raiz (MSR), massa seca da parte aérea (MSPA), massa seca total (MST), área foliar (AF) e índice de qualidade de Dickson (IQD) foram submetidas a análise de variância para os fatores substrato, condição hídrica e substrato*condição hídrica, conforme apresentado na tabela 5.

Tabela 5. Valores dos quadrados médios e análise de variância (ANOVA) de diferentes variáveis (parâmetros morfológicos) para a espécie gravitinga.

Fator	GL	QM									
		H (cm)	DC (mm)	H/DC (cm/mm)	MSF (g)	MSC (g)	MSR (g)	MSPA (g)	MST (g)	AF (cm ²)	IQD
Substrato	2	574,4000*	13,5056*	1,2834 ^{ns}	0,6131 ^{ns}	10,1309*	26,4600*	15,7370*	82,3190*	65,1100 ^{ns}	2,2597*
Condição Hídrica	1	90,7500 ^{ns}	0,0075 ^{ns}	1,2002 ^{ns}	2,0304*	1,0092 ^{ns}	1,7330 ^{ns}	4,9216*	12,4950 ^{ns}	344,1400*	0,0266 ^{ns}
Subst*Condição	2	20,9600 ^{ns}	0,0731 ^{ns}	0,3519 ^{ns}	0,5666 ^{ns}	0,1256 ^{ns}	4,8180 ^{ns}	0,9947 ^{ns}	9,4740 ^{ns}	39,1300 ^{ns}	0,6892 ^{ns}
Erro	42	25,1100	0,5456	0,4723	0,1933	0,2756	2,6350	0,4480	4,3820	30,6400	0,2970
Total	47										
Média		34,64	8,80	3,94	0,70	2,39	5,06	3,09	8,15	126,10	1,81

* significativo e ns - não significativo a 5% de probabilidade pelo teste F.

Fonte: do autor (2019).

Verifica-se, na tabela 5, que não houve efeito da interação entre substrato e condição hídrica para nenhuma das características avaliadas. Para o substrato, houve efeito significativo na altura (H) das plantas, no diâmetro do coleto (DC), massa seca do caule (MSC), massa seca da raiz (MSR), massa seca da parte aérea (MSPA), massa seca total (MST) e índice de qualidade Dickson (IQD)

O fator condição hídrica apresentou efeito significativo para a área foliar e, conseqüentemente, para a massa seca das folhas e massa seca da parte aérea.

As médias da relação altura para o diâmetro do coleto (H/DC), pela análise de variância (150 dias), foram consideradas iguais para as plantas de gravitinga. Os resultados da relação (H/DC) indicaram que as plantas de gravitinga apresentaram a mesma robustez para todos os tratamentos no final do experimento. A relação (H/DC) pode ser utilizada para identificar a qualidade das plantas a serem levadas ao campo, pois plantas com baixo diâmetro do coleto e altura muito elevada apresentam dificuldades de se manterem eretas após o plantio. O menor valor médio da relação (H/DC) implica plantas mais resistentes no campo (FONSECA et al., 2011).

Para as variáveis nas quais os fatores substrato e condição hídrica apresentaram efeito significativo, foram feitas análises de Tukey a 5% de probabilidade de erro.

3.4.1 Variáveis significativas para o substrato

A tabela 6 apresenta os valores das variáveis em função do substrato e análise de variância para comparação das médias.

Tabela 6. Valores médios das plantas de gravitinga para os diferentes substratos aos 150 dias após o plantio das mudas nos vasos.

Substrato	H (cm)	DC (mm)	MSC (g)	MSR (g)	MSPA (g)	MST (g)	IQD
Solo	39,54a	9,46a	3,11a	6,08a	4,01a	10,09a	2,11a
Mistura	36,42a	9,19a	2,52b	5,49a	3,21b	8,69a	1,92a
Tecnossolo	27,96b	7,75b	1,53c	3,62b	2,04c	5,66b	1,39b

Em que: H - altura, DC - diâmetro do coleto, MSC - massa seca do caule, MSR - massa seca da raiz, MSPA - massa seca da parte aérea, MST - massa seca total, IQD - índice de qualidade Dickson. Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si, pelo teste de Tukey a nível de significância de 5%.

Fonte: do autor (2019).

Verifica-se, na tabela 6 que, no final do experimento (150 dias), para todas as variáveis, o solo apresentou maiores valores de média, enquanto que a mistura permaneceu com valores de médias intermediárias e o tecnossolo apresentou médias inferiores aos demais tratamentos.

De acordo com o teste de Tukey, as médias de altura (H), diâmetro do coleto (DC), massa seca da raiz (MSR), massa seca total (MST) e o índice de qualidade Dickson (IQD) foram consideradas com diferenças significativas apenas para o substrato tecnossolo e as médias para os substratos solo e mistura foram consideradas iguais pelo teste de Tukey para tais variáveis.

As médias de massa seca caulinar (MSC) e massa seca da parte aérea (MSPA) de todos os substratos foram diferentes entre os tratamentos como verificado na tabela 6.

As variáveis apresentaram maiores valores de média no solo e menores valores com o tecnossolo por obter relação direta com a estrutura física do tecnossolo. O tecnossolo é caracterizado por possuir maior valor de densidade (predominância de minerais de ferro), o que resulta em menor volume de poros e, portanto, dos tratamentos estudados, se caracteriza como sendo o substrato de maior compactação em relação aos demais, dificultando o desenvolvimento das plantas.

Resultados similares de massa seca da parte aérea (MSPA) também foram observados em estudos para verificar a potencialidade de plantas para a revegetação de áreas de mineração de ferro sob duas frequências de irrigação (SILVA et al., 2016), nos quais as plantas apresentaram

maior produção de matéria seca da parte aérea quando o substrato foi solo ou quando o solo aparecia como componente. No estudo de Silva et al. (2016), o solo também apresentou características que beneficiam o crescimento das plantas, tais como menor densidade em relação aos demais substratos. O rejeito apresentou alta densidade do solo, que, associada à baixa porosidade, fez com que o crescimento do sistema radicular das plantas fosse prejudicado.

3.4.2 Valores significativos para condição hídrica

A tabela 7 apresenta os valores das variáveis em função das condições hídricas para comparação das médias.

Tabela 7. Valores médios das plantas de gravitinga para as diferentes condições hídricas, aos 150 dias após o plantio das mudas nos vasos.

Condição Hídrica	MSF (g)	MSPA (g)	AF (cm ²)
IN	0,87a	3,41a	158,40a
PI	0,52b	2,77b	93,76b

Em que: MSF - massa seca das folhas, MSPA - massa seca da parte aérea, AF - área foliar. Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si, pelo teste de Tukey a nível de significância

Fonte: do autor (2019).

O fator condição hídrica apresentou efeito significativo na massa seca das folhas (MSF), massa seca da parte aérea (MSPA) e área foliar (AF) (tabela 7). Os dados medidos de área foliar apresentaram uma distribuição não-normal (valor-p < 0,005). Utilizou-se a transformação de Box-Cox (com valor de $\lambda = 0,5$) dos dados para observância da normalidade e análise de variância (ANOVA).

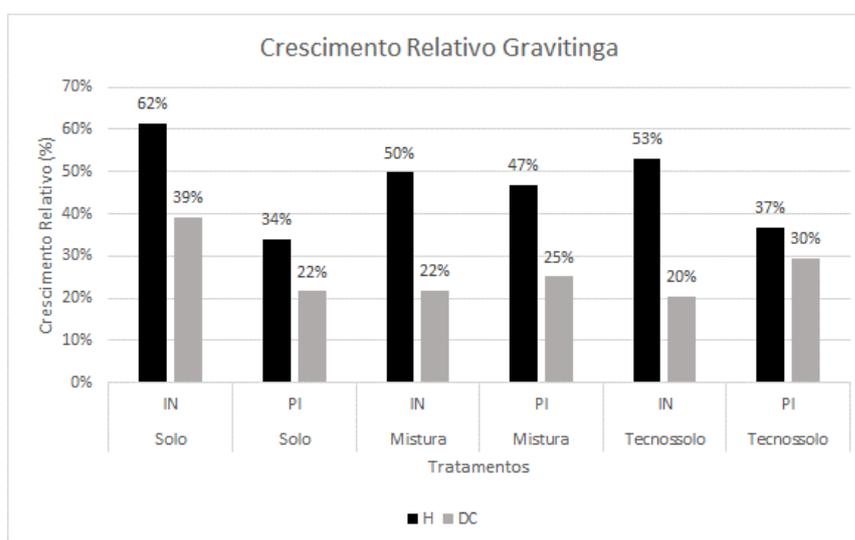
De acordo com o teste de Tukey (tabela 7), os maiores valores de média para as variáveis apresentadas na tabela 7, foram obtidos na condição de irrigação normal (IN). As plantas, ao serem submetidas ao estresse hídrico, respondem com o decréscimo de produção da área foliar, com a aceleração da senescência, com o fechamento dos estômatos e com a abscisão das folhas (SANTOS et al., 1998). Esta afirmação explica a sensibilidade das variáveis da tabela 7, por possuírem maiores valores de médias nas condições de irrigação normal (IN) do que na condição pouco irrigado (PI).

3.4.3 Crescimento relativo das plantas aos 150 dias

A figura 2 apresenta os resultados do crescimento relativo das plantas de gravitinga em relação à altura (H) e diâmetro do coleto (DC), para os diferentes tratamentos, durante o período de 45 a 150 dias após o plantio das mudas nos vasos.

Verifica-se, na figura 2, que o crescimento relativo da altura (H) das plantas de gravitinga na condição de irrigação normal (IN) foi maior do que na condição pouco irrigado (PI) para os diferentes tratamentos, no final do experimento. O crescimento das plantas na condição de irrigação normal (IN) no substrato tecnossolo foi maior do que no substrato mistura, na mesma condição de irrigação. O crescimento na condição pouco irrigado (PI) no substrato tecnossolo foi maior do que no substrato solo, na mesma condição. Portanto, o crescimento relativo das plantas de gravitinga no tecnossolo foram compatíveis com outros substratos, na mesma condição de irrigação.

Figura 2. Crescimento relativo das plantas de gravitinga em relação à altura e diâmetro do coleto para os diferentes tratamentos no período de 45 a 150 dias após plantio nos vasos.



Fonte: do autor (2019).

O crescimento relativo do diâmetro do coleto (DC) das plantas de gravitinga na condição de irrigação normal (IN) somente foi maior para o substrato solo. Para os substratos mistura e tecnossolo, o diâmetro do coleto na condição pouco irrigado (PI) foi maior do que na condição de irrigação normal (IN). O diâmetro do coleto das plantas na condição pouco irrigado (PI) no substrato tecnossolo foi o maior de todos os outros tratamentos, exceto no substrato solo, na condição de irrigação normal (IN) (figura 2), o que demonstra a capacidade de reabilitação vegetal do substrato tecnossolo, mesmo na condição pouco irrigado (PI).

3.5 Crescimento e qualidade das plantas de jatobá

As variáveis altura (H), diâmetro do coleto (DC), massa seca das folhas (MSF), massa seca do caule (MSC), massa seca da raiz (MSR), massa seca da parte aérea (MSPA), massa seca total (MST), área foliar (AF) e índice de qualidade de Dickson (IQD) das plantas de jatobá foram submetidas a análise de variância para os fatores substrato, condição hídrica e substrato*condição hídrica, conforme apresentado na tabela 8.

Tabela 8. Valores dos quadrados médios e análise de variância (ANOVA) de diferentes variáveis (parâmetros morfológicos) para espécie jatobá.

Fator	GL	QM									
		H (cm)	DC (mm)	H/DC (cm/mm)	MSF (g)	MSC (g)	MSR (g)	MSPA (g)	MST (g)	AF (cm ²)	IQD
Substrato	2	218,8500 ^{ns}	2,0215*	0,8790 ^{ns}	1,6930 ^{ns}	21,4610*	10,3840 ^{ns}	34,7280*	48,9800 ^{ns}	17382 ^{ns}	0,4399 ^{ns}
Condição Hídrica	1	3,0000 ^{ns}	0,0075 ^{ns}	0,0670 ^{ns}	1,0090 ^{ns}	0,0090 ^{ns}	0,4370 ^{ns}	0,8320 ^{ns}	0,0600 ^{ns}	888 ^{ns}	0,0005 ^{ns}
Subst*Condição	2	6,6700 ^{ns}	0,1206 ^{ns}	0,0540 ^{ns}	0,9050 ^{ns}	5,5020 ^{ns}	0,9080 ^{ns}	10,8670 ^{ns}	14,9300 ^{ns}	13411 ^{ns}	0,1667 ^{ns}
Erro	42	81,8800	0,3565	1,1350	1,9960	2,8340	4,8760	8,3210	19,8400	28336	0,2932
Média		52,15	8,92	5,86	4,30	6,71	6,42	11,01	17,43	499,90	2,27

* significativo e ns - não significativo a 5% de probabilidade pelo teste F.

Fonte: do autor (2019).

Verifica-se, na tabela 8, que não houve efeito da interação entre substrato e condição hídrica para nenhuma das características avaliadas. O fator substrato interferiu significativamente no diâmetro do coleto (DC), na massa seca do caule (MSC) e na massa seca da parte aérea (MSPA). A condição hídrica não apresentou efeito significativo para nenhuma das variáveis analisadas.

Para as variáveis nas quais o fator substrato apresentou efeito significativo, foram feitas análises de Tukey a 5% de probabilidade de erro.

3.5.1 Variáveis significativas para o substrato

A tabela 9 apresenta os valores das variáveis em função do substrato e análise de variância para comparação das médias.

Tabela 9. Valores médios das plantas de jatobá para os diferentes substratos aos 225 dias após o plantio para os vasos.

Substrato	DC (mm)	MSC (g)	MSPA (g)
Solo	9,13a	7,10a	11,61a
Mistura	9,12a	7,62a	12,89ab
Tecnossolo	8,51b	5,41b	9,33ac

Em que: DC - diâmetro do coleto, MSC - massa seca do caule, MSPA - massa seca da parte aérea. Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si, pelo teste de Tukey a nível de significância de 5%.

Fonte: do autor (2019).

Verifica-se na tabela 9 que, de acordo com o teste de Tukey, as médias de diâmetro do coleto (DC) e massa seca do caule (MSC), foram consideradas com diferenças significativas apenas para o substrato tecnossolo e a variável massa seca da parte aérea (MSPA) apresentou diferenças significativas entre os substratos mistura e tecnossolo.

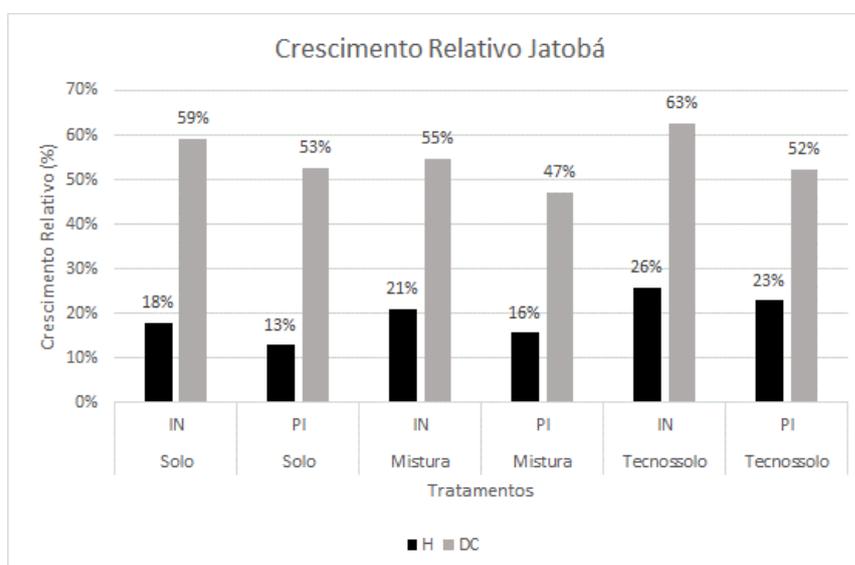
As diferenças significativas para o substrato tecnossolo também possuem relações com as características físicas do tecnossolo, devido a sua maior densidade e menor volume de porosidade dos solos.

Nenhuma variável apresentou diferenças de médias para as diferentes condições hídricas (pouco irrigado (PI) e irrigação normal (IN)). Este fato pode ser explicado devido ao jatobá ser uma espécie pouco exigente em fertilidade e umidade do solo, possuindo melhor adaptação em formações florestais secas do que às formações florestais úmidas (FARIAS & CASTRO, 2004, OLIVEIRA et al., 2007).

3.5.2 Crescimento relativo das plantas aos 225 dias

A figura 3 apresenta os resultados do crescimento relativo das plantas de jatobá em relação à altura (H) e diâmetro do coleto (DC), para os diferentes tratamentos, durante o período de 45 a 225 dias após o plantio das mudas nos vasos.

Figura 3. Crescimento relativo das plantas de jatobá em relação à altura e diâmetro do coleto para os diferentes tratamentos no período de 45 a 225 dias após plantio.



Fonte: do autor (2019).

Verifica-se, na figura 3, que o crescimento relativo da altura (H) das plantas de jatobá nas condições de irrigação normal (IN) foi maior do que na condição pouco irrigado (PI) para os

diferentes tratamentos, no final do experimento. O crescimento da altura das plantas no substrato tecnossolo, na condição de irrigação normal (IN) ou pouco irrigado (PI), foi maior do que os demais tratamentos.

O crescimento relativo do diâmetro do coleto (DC) das plantas de jatobá na condição de irrigação normal (IN) foi maior do que na condição pouco irrigado (PI), para todos os tratamentos. Entretanto, o crescimento no substrato tecnossolo, na condição de irrigação normal (IN), foi superior a todos os outros tratamentos, e na condição pouco irrigado (PI) foi superior ao substrato mistura (figura 3). O maior crescimento das plantas no substrato tecnossolo indica seu potencial para a reabilitação florestal.

4 CONCLUSÕES

O tecnossolo propiciou menor crescimento das plantas em função, principalmente, de suas características físicas, devido maior valor de densidade e menor porosidade.

Para as restrições hídricas, houve influência negativa apenas nas características foliares da gravitinga, principalmente por ser uma espécie de rápido crescimento e rápida resposta aos fatores em que é submetida.

As plantas de gravitinga e jatobá apresentaram um crescimento contínuo ao longo do experimento, para os diferentes substratos e condições hídricas. Resultados do crescimento das plantas de gravitinga e jatobá, obtidos para os diferentes tratamentos, indicaram que o tecnossolo formado pelo rejeito de minério de ferro, proveniente da barragem de Fundão, tem potencial para reabilitação da vegetação nativa.

REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, G. C. P. **Caracterização física e classificação dos solos**. UFJF, Faculdade de Engenharia, p 145, 2005.
- ALMEIDA, R. S. et al. **Crescimento e qualidade de mudas de *Croton Floribundus Spreng.* em diferentes recipientes e substratos**. Enciclopédia Biosfera, Centro Científico Conhecer, v. 10, n. 19, p 672, 2014.
- ATTANASIO, C. M. **Manual técnico: restauração e monitoramento da mata ciliar e da reserva legal para a certificação agrícola - conservação da biodiversidade na cafeicultura**. Imaflora, 2008. 60p.
- CELE, E.N.; MABOETA, M. **A greenhouse trial to investigate the ameliorative properties of biosolids and plants on physicochemical conditions of iron ore tailings: Implications for an iron ore mining site remediation**. *Journal of Environmental Management*, n. 165, p. 167 – 175, 2016.
- ELOY, E. et al. Avaliação da qualidade de mudas de *Eucalyptus grandis* utilizando parâmetros morfológicos. *Floresta*, v. 43, n. 3, p 373 – 384, 2013.
- ETIM. R. K. et al. **Stabilization of black cotton soil with lime and iron ore tailings admixture**. *Transportation Geotechnics*, n. 10, p 85 – 95, 2017.
- FELKER, R. M. et al. **Crescimento de mudas de açoita-cavalo (*Luehea divaricata Mart.*) sob influência de diferentes substratos e recipientes, em viveiro**. Enciclopédia Biosfera, Centro Científico Conhecer, v. 11, n. 22, p 809, 2015.
- FONSECA, C. A. et al. Crescimento e qualidade de mudas de Fedegoso cultivadas em latossolo vermelho-amarelo em resposta a macronutrientes. *Scientia Forestalis*, v. 39, n. 89, p. 021- 033, 2011.
- FUNDAÇÃO RENOVA – Minas Gerais. Manejo de Rejeito. Disponível em: <https://www.fundacaorenova.org/manejo-de-rejeito>. Acessado em 19/09/2019.
- GUIMARÃES, J. I. **Impacto do rompimento de uma barragem de rejeitos de minério de ferro sobre a qualidade das águas superficiais**. Estudo de caso: Bacia do Rio Doce. Tese de mestrado, Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), p. 172, 2018.
- LANGENHEIM, J. H. et al. Effect of moisture stress on composition and yield in leaf resin of *Hymenaea courbaril*. *Biochemical Systematics and Ecology*, v. 7, p. 21 to 28, 1979.
- MAGALHÃES, T. D. **Semeadura direta de espécies nativas como alternativa para a restauração florestal do rio Doce**. Trabalho de Conclusão de Curso submetido à Universidade Federal de Lavras (UFLA), p. 32, 2018.
- MAGALHÃES, W. A. e JARDINI, D. C. **Interpretação da análise de solo para condições de cerrado. Integrar Consultoria e Assessoria Agronômica**. Disponível em: <http://integraragro.com.br/documentos/PlanoDeCursoInterpretacaoSolo.pdf>. Acessado em 17/10/2019.

MARINHO, P. H. A et al. Influência de diferentes substratos na produção de mudas de *Flamboyant delonix regia* (Bojer ex Hook.). **Revista Agro@ambiente On-line**, v. 11, n. 1, p 40 – 46, UFR, 2017.

MATOS, A. C. B. et al. Avaliação do potencial hídrico foliar de mudas de gravitinga submetidas ao estresse hídrico. Reunião Regional da SPBC em Lavras, MG, 2010. Disponível em: <http://www.sbpcnet.org.br/livro/lavras/resumos/1559.pdf>. Acessado em 17/10/2019.

MATOS, R. M. et al. **Características foliares e índice de colheita de rabanete irrigado com água residuária em ambiente protegido**. Enciclopédia Biosfera, Centro Científico Conhecer, v. 11, n. 21, p 372, 2015.

MELO, L. A. et al. Qualidade e crescimento inicial de mudas de *Mimosa caesalpinifolia Benth.* produzidas em diferentes volumes de recipientes. **Ciência Florestal**, v. 28, n.1, p 45 – 55, 2018.

MELO, R. F. et al. **Efeito do armazenamento das amostras para determinação do potencial da água na folha pela câmara de pressão**. Irriga, Botucatu, v.12, n. 3p. 326 – 337, 2007.

MUNGUAMBE, J. F. **Qualidade morfológica de mudas clonais de eucalipto na fase de expedição em viveiros comerciais**. Tese Mestrado, p 73, UFLA, 2013.

NASCIMENTO, H. H. C et al. Análise do crescimento de mudas de jatobá (*Hymenaea courbaril L.*) em diferentes níveis de água no solo. **Revista Árvore**, v. 35, n. 3, p. 617 – 626, 2011.

NASCIMENTO, H. H. C. **Caracterização Ecofisiológica de Mudas de jatobá (*Hymenaea courbaril L.*) submetidas a déficit hídrico**. Tese de Mestrado UFRPE, Recife, p. 90, 2009.

PEREIRA, E. L. **Estudo do potencial de liquefação de rejeitos de minério de ferro sob carregamento estático**. Tese de mestrado, Universidade Federal de Ouro Preto (UFOP), p. 185, 2005.

PREFEITURA MARIANA – Minas Gerais. Dados Demográficos. Disponível em: <http://www.mariana.mg.gov.br/dados-demograficos>. Acessado em 19/09/2019.

PREFEITURA RIO. Manual de identificação de mudas de espécies florestais. 2ª Edição. Meio Ambiente. Prefeitura Municipal do Rio de Janeiro. Disponível em: <http://www.rio.rj.gov.br/dlstatic/10112/4975980/4130120/ManualdeMudas2internet.pdf>. Acessado em 19/09/2019.

REVISTA ÁGUAS SUBTERRÂNEAS. ALMEIDA, D. C.; LOUREIRO, C. O. Disponibilidade hídrica subterrânea nos rejeitos de beneficiamento do minério de ferro – Caso da barragem do Pontal, em Itabira, Minas Gerais. Disponível em: <https://aguassubterraneas.abas.org/asubterraneas/article/viewFile/23676/15750>. Acessado em: 15/03/2019.

SANTOS, R.F et al. **Déficit hídrico e os processos morfológico e fisiológico das plantas**. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 2, n. 3, p 287 – 294, 1998.

SCHAEFER, C. E. G. R.; SANTOS, E. E.; FERNANDES, E. I. F.; Assis, I. R. **Passagens de lama: Os tecnossolos para recuperação ambiental de áreas afetadas pelo desastre da Barragem de Fundão, em Mariana**. SPCS, Boletim Informativo, v. 42, n. 1,p. 18 – 23, 2016.

SILVA, G.P. et al. Potencialidade de plantas para revegetação de estéreis e rejeito da mineração de ferro da mina de alegria, Mariana-MG. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 36, n. 3, p. 165 – 172, 2006.

SILVA, A.C. et al. Chemical, mineralogical and physical characteristics of a material accumulated on the river margin from mud flowing from the collapse of the iron ore tailings dam in Bento Rodrigues, Minas Gerais, Brazil. **Revista Espinhaço**, v. 5, n. 2, p. 44 – 53, 2016.

WU, SONGLIN et al. Geochemical and mineralogical constraints in iron ore tailings limit soil formation for direct phytostabilization. **Science for the Total Environment**, n. 651, p. 192 – 202, 2019.