



Crescimento de mudas de eucalipto em solo com aplicação do lodo de curtume

Growth of eucalyptus seedlings in soil with application of tannery sludge

G. A. Bitencourt^{1*}; L. B. Deknes²; V. A. Laura³

¹Instituto Federal de São Paulo – IFSP, campus de Tupã, 17607-220, Tupã-SP, Brasil

²Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul, Unidade Universitária de Aquidauana, 79200-000, Aquidauana-SP, Brasil

³Laboratório de Fisiologia Vegetal, Embrapa Gado de Corte, 79106-550, Campo Grande-MS, Brasil

*gislaynebitencourt@gmail.com

(Recebido em 30 de maio de 2021; aceito em 31 de março de 2022)

O lodo de curtume é o resíduo proveniente do beneficiamento do couro bovino, apresenta potencial para ser utilizado como fertilizante no setor florestal, pois apresenta nutrientes essenciais para as plantas. Para tanto, alguns padrões químicos para a aplicação desse resíduo precisam ser definidos, devido à presença de elementos tóxicos, como o cromo. Neste contexto, o presente estudo avaliou os efeitos de diferentes concentrações de lodo de curtume em mudas de eucalipto. As proporções de lodo de curtume utilizadas foram quatro concentrações e uma testemunha (sem aplicação de lodo), sendo elas de 0,1; 1; 10 e 50%. As mudas de híbridos de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla*, clone I144 com 30 dias, foram transplantadas para os vasos, onde permaneceram por 45 dias. Após este período, foram avaliadas: altura da planta, diâmetro do coleto, número de folhas, comprimento da raiz, massa seca da parte aérea e das raízes, pH, condutividade e análise foliar de Nitrogênio. O aumento crescente das concentrações de lodo de curtume no solo elevou o pH, a condutividade elétrica, e as mudas de eucalipto apresentaram baixo crescimento e desenvolvimento nas aplicações de 10 e 50% de lodo. O uso do lodo de curtume no solo aumentou a disponibilidade do nitrogênio para as plantas e em baixas concentrações, o crescimento de raiz e de altura das mudas nas concentrações de 0,1 e 1,0% foram semelhantes a testemunha, sem adição do resíduo. É recomendada a aplicação de lodo até 10% para evitar efeitos adversos oriundos da salinização do solo nas plantas.

Palavras-chave: fitotoxicidade, substrato, reaproveitamento.

Tannery sludge is the residue from bovine leather processing, contains essential nutrients for plants and has the potential to be used as fertilizer in the forestry sector. However, despite its potential, due to the presence of toxic elements, such as chromium, chemical concentrations for its standard application needs to be defined. In this context, the present study evaluated the effects of different tannery sludge concentrations on eucalyptus seedlings. We used four different concentrations of tannery sludge (0.1; 1; 10 and 50%) and one control (without sludge application). The seedlings of *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* hybrids, clone I144 with 30 days, were transplanted to the recipients, where they remained for 45 days. After this period, we evaluated the following response variables: plant height, stem diameter, number of leaves, root length, shoot and root dry mass, pH, conductivity and foliar analysis of Nitrogen. The increasing tannery sludge concentration in the soil caused an increase in pH and electrical conductivity, whilst eucalyptus seedlings showed lower growth and development in 10 and 50% of sludge concentrations. The use of tannery sludge in the soil increased nitrogen availability to the plants, though at low concentrations (0.1 and 1.0%), root growth and seedlings height were similar to the observed in the control. An application of 10% sludge is recommended to avoid adverse effects from soil salinization on plants.

Keywords: phytotoxicity, substrate, reuse.

1. INTRODUÇÃO

Nos últimos vinte e cinco anos houve um aumento anual de 4,73 milhões de hectares de florestas plantadas no mundo [1]. O Brasil ocupa a nona posição em termos de áreas plantadas, menos de 3% dos plantios florestais mundiais [2]. Entretanto, com os altos investimentos internos das indústrias de papel e celulose e a recuperação dos mercados de serrados e painéis

para exportação, estima-se o aumento de áreas plantadas para os próximos anos capazes de sustentar estes investimentos [3].

Com o objetivo de melhorar a produtividade e o estabelecimento de povoamentos florestais faz-se necessário produzir mudas de boa qualidade. Um bom substrato tem a função de proporcionar planta de alta qualidade, em menor tempo, a baixo custo, uma vez que os componentes utilizados na sua produção influenciam o ciclo vegetativo, a qualidade e os custos de produção. Um substrato ideal é aquele que possibilite a produção de mudas vigorosas, com bom desenvolvimento radicular e de parte aérea, além dos aspectos fisiológicos ou nutricionais, que resistam as condições adversas no campo [4].

A aquisição de substratos comerciais está diretamente ligada ao aumento dos custos de produção, e muitas vezes, não atende todos aos requisitos necessários para plena produção das mudas, apresentando deficiências físicas, químicas e/ou biológicas. Isso torna necessária a busca por alternativas de baixo custo e de grande disponibilidade, dentre elas, o lodo de curtume tem se tornado uma opção, por se tratar de um resíduo do processo de curtimento do couro bovino, por conter alto teor de nutrientes para as plantas, além de dar um destino para este resíduo amplamente disponível, tornando-o uma alternativa de baixo custo para o setor florestal.

Em virtude da expansão da pecuária de corte, as indústrias de curtume processam uma grande quantidade de pele e couro, produzindo volumosas quantias de resíduos em forma de lodo. Estes lodos possuem altos teores de matéria orgânica, de sais inorgânicos, nitrogênio, fósforo, cálcio e, também metais pesados contaminantes ao meio ambiente, como o cromo [5, 6]. Em função do armazenamento e disposição final desses resíduos no solo, de forma não controlada e em locais inadequados, vários estudos têm sido realizados para as possíveis formas de reaproveitamento e disposição do lodo. Um dos usos explorados se relaciona a agricultura como biofertilizante, na cultura de soja [7], milho [5, 8, 9], feijão [10], em mudas de paricá [11] e em plantas de açaizeiros [12].

Há um fator limitante para a exploração do lodo curtume devido ao seu principal elemento contaminante, o cromo. Este se encontra na forma trivalente (Cr^{+3}), sendo o estado de oxidação mais estável no solo. O elemento é absorvido pelas plantas e acumulado nas raízes, formando barreiras que diminuem sua translocação para parte aérea pois, inibe absorção de água. Todavia, dentro da grande diversidade de espécies vegetais disponíveis, algumas diferem na sua habilidade de acumular, retirar e tolerar metais pesados. Nesse contexto, o eucalipto é considerado uma planta tolerante a aplicação de lodo de curtume, o que torna viável seu uso na composição de um substrato [13, 14].

Para tal, segundo o decreto nº 4954, de 14 de janeiro de 2004 do Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento (MAPA), que caracteriza o resíduo de curtume como fertilizante orgânico ou corretivo e, a Instrução Normativa nº 27, de janeiro de 2006 do (MAPA), que estabelece os limite de concentrações de elementos fitotóxicos, a utilização do lodo de curtume pode ser aplicada em plantios florestais com base nos limites e risco de não contaminação dos solos, das matas ciliares ou aquífero subterrâneos [15, 16]. Assim, os altos teores de nutrientes e seu potencial de neutralização da acidez do solo, tornou-se uma alternativa de reaproveitamento em áreas agrícolas.

Portanto, o uso de lodo de curtume de forma criteriosa, pode ser uma alternativa como substrato para produção de mudas florestais, fornecendo nutrientes essenciais, a baixo custo e uma aplicação ambientalmente segura para o resíduo. Partindo dessa premissa, objetivou-se com este estudo avaliar os efeitos de diferentes concentrações de lodo de curtume no crescimento das mudas de híbridos de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla*, clone I144.

2. MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em casa de vegetação na EMBRAPA do Centro Nacional de Pesquisa de Gado de Corte, Campo Grande, MS, no período de agosto a outubro de 2018. O lodo de curtume foi obtido no curtume BRASPELCO, da cidade de Paranaíba, MS.

O lodo coletado foi mantido em um tambor de plástico polietileno de 40 L, e em seguida, seco ao ar, destorroado e passado em peneira com malha de dois milímetros de diâmetro. As amostras do resíduo foram enviadas para caracterização da sua composição química no Ribersolo Laboratório de Análise Agrícola, conforme metodologia descrita em Tedesco et al. (1995) [17] e apresentada na Tabela 1.

Tabela 1: Atributos químicos do lodo de curtume.

pH	P	K	Ca	Mg	N-Total	S	Na
CaCl ₂	mg dm ⁻³		μmolc dm ⁻³		%		g dm ⁻³
7,32	24,1	0,8	21,3	6,1	1,29	14,1	4,8
Relação C/N	MO	Fe	Mn	B	Cu	Zn	Cr
	g dm ⁻³			mg dm ⁻³			mg kg ⁻¹
4,3	9,66	2,9	16	<0,1	<0,1	0,1	8400

pH= potencial hidrogeniônico; P = fósforo; K = potássio; Ca= cálcio; Mg= magnésio; N-Total= nitrogênio total; S = enxofre; Na = sódio; MO = matéria orgânica; Relação C/N = carbono/nitrogênio; Fe = ferro; Mn = manganês; B = boro; Cu= cobre; Zn = zinco; Cr = cromo.

Esses dados foram utilizados para comparação com o limite máximo de 1000 mg kg⁻¹, base seca de cromo em resíduo de lodo para uso agrícola, respeitando os limites recomendados no artigo 11 da Resolução do CONAMA nº 375 de 2006 [16].

O solo utilizado foi do tipo Latossolo Vermelho Eutrófico eutrício, coletado na Embrapa na camada de 0-20 cm de profundidade, seco ao ar, peneirado e particionada uma amostra para análises químicas e físicas seguindo protocolo da EMBRAPA (1997) [18], representado na tabela 2. A interpretação dos resultados da análise química do solo evidencia um solo ácido, com textura predominante argilosa, de caráter eutrício, com níveis médios a adequado de Fósforo (P), Matéria orgânica (M.O), Cálcio (Ca²⁺), Magnésio (Mg²⁺), Potássio (K⁺), Capacidade de troca catiônica (CTC), Saturação de base (V%) para solo, de 0 a 20 cm de profundidade, o que favorece a disponibilidade de nutrientes para as plantas [19].

Tabela 2: Atributos químicos e granulométricos do solo utilizado para composição dos substratos.

pH	P	K	Ca	Mg	SB	AL	H⁺Al	CTC	MO
H ₂ O	mg dm ⁻³				μmolc dm ⁻³				g dm ⁻³
5,74	6,11	0,4	4,7	2,6	7,7		4,82	12,5	50,95
V	Fe	Mn	B	Cu	Zn	Areia	Silte	Argila	
%			mg dm ⁻³					g kg ⁻¹	
61,5	16,96	55,36	0,11	4,33	1,17	220	310	470	

pH= potencial hidrogeniônico; P = fósforo; K = potássio; Ca= cálcio; Mg= magnésio; SB = soma de base; Al = alumínio; H⁺Al = acidez trocável; CTC = capacidade de troca catiônica; MO = matéria orgânica; V% = saturação de base; Fe = ferro; Mn = manganês; B = boro; Cu= cobre; Zn = zinco.

Para verificar o efeito do tratamento do lodo na produção das mudas dos híbridos de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla*, foram testados cinco tratamentos, utilizando quatro concentrações de lodo adicionados ao solo e um tratamento controle, sem adição do lodo de curtume, sendo a testemunha contendo apenas solo. Foram utilizadas cinco repetições de cada tratamento, totalizando 25 unidades experimentais, distribuídas em delineamento inteiramente casualizado (DIC). Cada tratamento foi composto por 5 kg de mistura de solo +LC, nas proporções: T1 (testemunha) 100% de solo; T2 – 0,1% LC + 99,99% de solo; T3 – 1% LC + 99% de solo; T4 – 10% + 90% de solo e T5 – 50% LC + 50% de solo, sem adição de adubação comercial. O mix (solo + LC) foi distribuído em vasos de 700 cm³, revestidos internamente por sacos plásticos transparentes para evitar lixiviação dos nutrientes e posterior descarte dos resíduos.

As mudas dos híbridos de eucalipto foram adquiridas em viveiro comercial em Campo Grande, MS, com 30 dias. Essas mudas foram mantidas em casa de vegetação e irrigadas diariamente com 100 ml de água por vaso, durante 45 dias. Ao final do experimento, foram avaliadas as variáveis: altura da planta (H), diâmetro do coleto (DC), número de folhas (NF), comprimento da raiz (CR), massa seca da parte aérea (MSPA), massa seca da raiz (MSR), relação altura com diâmetro do coleto (H/DC), relação massa seca da parte aérea com massa seca da raiz (MSPA/MSR), índice de qualidade Dickson (IQD) segundo Dickson et al. (1960)

[20], nitrogênio amoniacal da raiz e foliar utilizando o método de Kjeldahl conforme metodologia descrita por Miyazama et al. (2009) [21].

A altura das mudas foi mensurada com o auxílio de uma régua graduada com precisão de 1 mm medindo desde a base do coleto até a parte aérea e o diâmetro do coleto foi medido com paquímetro digital com precisão de 0,05 mm, sendo realizadas duas medições, no plantio e ao final do experimento. Para medição do comprimento da raiz, foi mensurando o comprimento da inserção da raiz principal do coleto até sua extremidade, com uma régua graduada.

As plantas foram separadas em parte aérea e raiz, para medição do número de folhas e comprimento do sistema radicular. As raízes foram posteriormente lavadas, para remoção dos resíduos de solo e lodo. Posteriormente, as raízes e parte aérea foram embalados em sacos de papéis, separadamente, e secos em estufa com temperatura de 65 °C durante 72 horas. A matéria seca da parte aérea e raiz foram obtidas separadamente, utilizando uma balança semianalítica, com precisão de 0,001 g. A produção de biomassa total (MST), foi determinada pela soma da matéria seca da parte aérea e das raízes.

Para determinação do pH e da condutividade elétrica, foram retiradas amostras da mistura solo e lodo de cada tratamento, no início e ao final do experimento, as quais foram submetidas a análise no Laboratório de Solos da EMBRAPA, para medir o potencial hidrogênio iônico (pH), condutividade elétrica (CE), segundo metodologia proposta por de Abreu et al. (2009) [22].

Para comparação entre os diferentes tratamentos e o controle, foi realizada a análise de variância (ANOVA), mediante a diferença significativa, as médias foram comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade utilizando o programa SISVAR [23].

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A aplicação das concentrações de 10 e 50% (T4 e T5) de lodo de curtume nas mudas de eucalipto, apresentou respostas significativas ($p < 0,05$) para altura de plantas (H), diâmetro do coleto (DC), número de folhas (NF), massa seca da parte aérea (MSPA), comprimento de raiz (CR) e massa seca da raiz (MSR), relação da altura com diâmetro do coleto (H/DC), relação da massa seca da parte aérea com a massa seca da raiz (MSPA/MSR) e o índice de qualidade de Dickson (IQD). Na Tabela 3, encontram-se as médias obtidas para cada característica morfológica, os índices de qualidades das mudas e os coeficientes de variação.

Tabela 3: Resultado da análise variância e coeficiente de variação para as variáveis: altura final (H), diâmetro do coleto (DC), número de folhas (NF), comprimento da (CR), massa seca da raiz (MSR) e massa seca da parte aérea (MSPA) de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla*, clone I144 cultivadas em solo com aplicação de lodo de curtume (LC)

Tratamentos	Variáveis analisadas							
	H (cm)	DC (mm)	CR (cm)	MSPA(g)	MSR (g)	H/DC	MSPA/MSR	IQD
T1	61,10 a	5,72 a	38,2 a	12,40 a	16,98 a	10,72 a	0,76 a	2,61 a
T2	56,30 a	6,10 a	40,9 a	10,82 a	17,12 a	9,24 ab	0,66 a	2,83 a
T3	58,74 a	6,11 a	43,6 a	11,16 a	14,96 a	9,62 ab	0,77 a	2,51 a
T4	42,84 b	2,89 b	15,3 b	3,18 c	7,0 b	5,58 b	0,28 b	1,05 b
T5	43,42 b	5,65 a	38,2 a	6,28 b	11,16 ab	7,78 ab	0,56 ab	2,11 a
CV%	6,72	23,9	23,13	17,98	29,22	28,72	28,92	24,64

* Letras diferentes referem-se a diferença significativa pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. CV%= coeficiente de variação.

A proporção de 10% de lodo de curtume e 90% de solo (T4), apresentou estatisticamente, as menores médias para todas as características avaliadas. E os tratamentos (T2, T3 e T5) foram similares a testemunha (T1) que não utilizou o resíduo, somente solo.

As características morfológicas, altura, diâmetro do coleto, massa seca da parte aérea e massa seca da raiz, fornecem uma excelente estimativa da predição do crescimento inicial e sobrevivência dessas mudas no campo após plantio. O quociente de robustez, razão entre altura e diâmetro do coleto, exprime o equilíbrio de crescimento inicial no campo, ou seja, mudas com

maior altura e maior diâmetro tem maior potencial de sobrevivência. Sendo o tratamento T1, estatisticamente superior no índice de robustez e, os tratamentos T2, T3 e T5 foram estatisticamente similares, e o tratamento T4 inferior aos demais.

A variável massa seca da parte aérea e massa seca da raiz, reduziu quando comparada ao controle, ou seja, o tratamento sem aplicação do lodo. Essa resposta ocorreu diante da aplicação de 10% de lodo (T4 – 10% + 90% de solo) que promoveu uma situação de estresse, em virtude da composição do lodo que sabemos que apresenta elevadas concentrações de Cromo, que interferiu no crescimento das raízes e a absorção de nutrientes.

No que se refere ao IQD, os tratamentos T1, T2, T3 e T5 foram estatisticamente similares e superior ao tratamento T4, apontando como mudas de qualidade. Segundo Gomes e Paiva (2006) [24], quanto maior o IQD, melhor é a qualidade da muda produzida. No entanto, o tratamento T4 apresentou os menores índice de qualidade, tais efeitos podem ser inerentes ao efeito do lodo na disponibilidade de nutrientes, faixa de pH ou pela ação de elementos fitotóxicos. Pois, mesmo que o substrato (solo + LC) esteja bem provido de nutrientes, para cada cultura existe um limite adequado de macro e micronutrientes para o bom desenvolvimento e qualidade das plantas. Mesmo que o processo de absorção dos nutrientes seja específico e seletivo, pode ocorrer competição entre eles, podendo interferir na absorção de um íon pela presença do outro. Com base nas análises de lodo de curtume, observa-se em maior concentração os nutrientes, como o cálcio (Ca^{2+}), cromo (Cr), fósforo (P) e sódio (Na^+), logo quanto maior a concentração de lodo no substrato, maiores as concentrações desses nutrientes nos tratamentos.

Elevados teores de cálcio na solução do solo, podem diminuir a absorção de Magnésio (Mg^{2+}), induzindo a deficiência de Cu (cobre) e Zn (zinco), provocando o antagonismo com relação a absorção de K^+ (potássio) [10]. A presença de sódio, eleva o pH, dificulta a absorção de Mg^{2+} e a disponibilidade Fe, Mn, Cu e Zn. Os teores excessivos de cromo, podem ocasionar nas plantas sintomas de toxicidade, como a diminuição de crescimento, atrofia no desenvolvimento radicular, enrolamento e descoloração das folhas [25]. Vários estudos relatam a influência negativa do sódio e do cromo como fatores limitantes para o bom desenvolvimento das plantas [26, 27].

Os tratamentos T4 e T5 apresentaram menores valores com relação à altura, crescimento da raiz e massa seca, porém, estes possuíam as maiores concentrações desses nutrientes citados acima no substrato. Tal efeito demonstra que o excesso de um nutriente pode reduzir a eficácia dos outros e impedir o bom desenvolvimento e qualidade das plantas.

Com base nas análises do potencial hidrogeniônico (pH) e da condutividade elétrica (CE) evidenciou excessiva alcalinização e salinização pelo substrato, o que ajuda a explicar os efeitos observados nas mudas nas doses mais altas, conforme os resultados apresentados na Tabela 4.

Tabela 4: Valores de pH e condutividade elétrica dos substratos com doses crescente de lodo de curtume, no início e no final após 30 dias de cultivo de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla*, clone I144.

Tratamentos	pH em solo		Condutividade	
	H ₂ O		$\mu\text{S cm}^{-1}$	
	Inicial	Final	Inicial	Final
T1	5,3	5,83	49	111,2
T2	5,6	6,7	66	319
T3	5,7	7,5	107	442
T4	6,8	7,5	1745	3774
T5	7,7	7,8	5541	1129

A partir do primeiro tratamento com lodo de curtume, as proporções T2- 0,1% de lodo, o pH alterou de 5,6 para 6,7, aumentando constantemente o seu intervalo com inserção de maiores proporções de lodo, chegando a 7,8, evidenciando a alcalinização no solo. O lodo de curtume, por ser um material neutralizante, consegue elevar o pH do solo e manter níveis semelhantes aos que sofreram correções com calcário [28]. Entretanto, em um experimento com açazeiros foram testadas diferentes doses (50, 70, 75, 80 e 100%) de lodo de curtume em fase inicial de

compostagem, associado ao Neossolo Flúvico, o aumento do pH com lodo, a partir de 50% manteve-se a 7,0 a 7,1 constante até o tratamento de maior proporção [12]. Vários trabalhos têm exposto o aumento do pH com adição do lodo de curtume, associados ou não ao uso de calcário, o que depende da composição do lodo e da proporção adicionada [11, 14].

As diferenças de pH influenciam na disponibilidade de nutrientes e absorção destes pelas plantas, tanto que, para espécies florestais em solos do Cerrado, o intervalo adequado de pH é de 5,5 a 6,5. Quando a cultura não dispõe dessas condições, pode ocorrer um comprometimento da absorção dos nutrientes pelas raízes, ocasionando problemas como deficiência ou excesso de nutrientes, crescimento lento, baixo rendimento e até mesmo a morte das plantas [14].

A alcalinização no solo promove a insolubilização de Al^{3+} (alumínio) e Mn, aumenta a disponibilidade de P e Mo (molibdênio) e diminui a disponibilidade de micronutrientes, como o Zn, Mn (manganês), Cu e Fe [29]. Em virtude disso, uma das possíveis explicações da alcalinização pode ser em função da alta concentração de cálcio, que substitui os íons (H^+) da superfície das partículas do solo reduzindo a acidez e, a presença do sódio no lodo (Tabela 2), fato esse devido aos produtos utilizados nos banhos químicos durante processo de curtimento da pele e couro que tem como resíduo final o lodo.

A reação das mudas em função do pH e disponibilidade de nutrientes é perceptível nos tratamentos T1 e T2 que apresentaram melhor desenvolvimento das mudas pois, iniciaram e encerram o experimento com a faixa do pH 5,3 a 6,7, que dispõe das maiores concentrações de nutrientes para plantas. Contudo, nos tratamentos T4 e T5 que continham as maiores concentrações de nutrientes no substrato a faixa do pH elevou acima de 7,8. Essa elevação do pH, influenciou na diminuição de nutrientes disponíveis para as plantas como também, a alta concentração de matéria orgânica e cromo, induzindo a maior adsorção de Cr no solo e prejudicando o desenvolvimento e absorção dos nutrientes pelas raízes [30].

Observou-se o aumento nos valores da condutividade elétrica (CE) com o aumento da concentração de lodo de curtume aplicada ao solo, contudo, observou-se uma maior variação no tratamento de T4 (50% de lodo) em comparação com os demais tratamentos. Ou seja, nesse tratamento, pode-se sugerir uma maior concentração de sais, o que está intimamente relacionado a CE.

A CE é considerada um parâmetro de concentração de sais ionizados na solução, e quando está elevada, pode ser utilizada para inferir a respeito da salinidade do substrato. Os valores toleráveis da condutividade elétrica variam entre espécies, cultivares e clones. No geral, para as espécies florestais, a faixa é de 1500 a 3000 $\mu S\ cm^{-1}$ [30 e 31]. A elevada CE na solução do solo, pode ocasionar injúrias nas plantas, danificando as raízes e os pelos radiculares, impedindo a absorção de água e nutrientes pelas plantas [32].

Os tratamentos (T4 e T5), com maiores proporções de lodo de curtume, apresentaram maiores valores de CE, possivelmente devido ao aumento de Na^+ no resíduo, o que proporcionou aumento nos teores de sódio no solo, ocasionando uma situação de estresse salino. Uma alta condutividade elétrica está associada a altas concentrações de sódio, o que ratifica o comportamento das mudas nos tratamentos que receberam maiores proporções de lodo, ou seja (T4 - 10% de lodo e T5 - 50% de lodo) que elevaram condutividade elétrica acima de 3500 $\mu S\ cm^{-1}$ (Tabela 4) que ocasionou um menor crescimento em altura, comprimento da raiz e menor peso de massa seca da raiz e até a morte de algumas mudas, ou seja, uma situação de estresse salino compromete o crescimento das mudas [32]. Da mesma forma que a salinidade afeta o solo, ocorre um reflexo dos seus efeitos nas plantas e alterações como o aumento do potencial osmótico do solo, requerendo um maior gasto de energia pelo vegetal para absorver água e nutrientes [33].

Em um trabalho de produção de mudas de Paricá (*Schizolobium amazonicum*) com lodo de curtume, Tavares et al. (2013) [11] relataram a influência das elevadas concentrações de Na^+ que limitou o crescimento e a disponibilidade de água para as plantas. Vieira et al. (2014) [34] conferiram ao efeito da salinidade no baixo crescimento, e massa seca total das mudas de Teca (*Tectona grandis*). Isto ocorre quando a concentração de sais no solo é superior ao suportado pela planta, comprometendo seu crescimento e desenvolvimento em virtude do estresse salino [6].

Em um experimento semelhante, Possato et al. (2014) [14] observou que houve um aumento de Na^+ no solo com aplicação de lodo de curtume, porém não ocorreram danos as plantas de

eucalipto, provavelmente pelo fato das baixas doses aplicadas, sendo a maior concentração de 12 mg ha^{-1} .

Os resultados do efeito da salinidade podem ser observados na Tabela 4, com base na correlação entre a alta CE, o comprimento e a produção de massa seca de raiz obtido no T4. Existe uma variação de sensibilidade a salinidade entre as espécies e a idade da planta, uma vez que, em geral, quanto mais jovem a planta tem maior sensibilidade [31], o que justifica o observado neste experimento que utilizou mudas clonais de eucalipto de 90 dias, conforme apresentado na Figura 1.

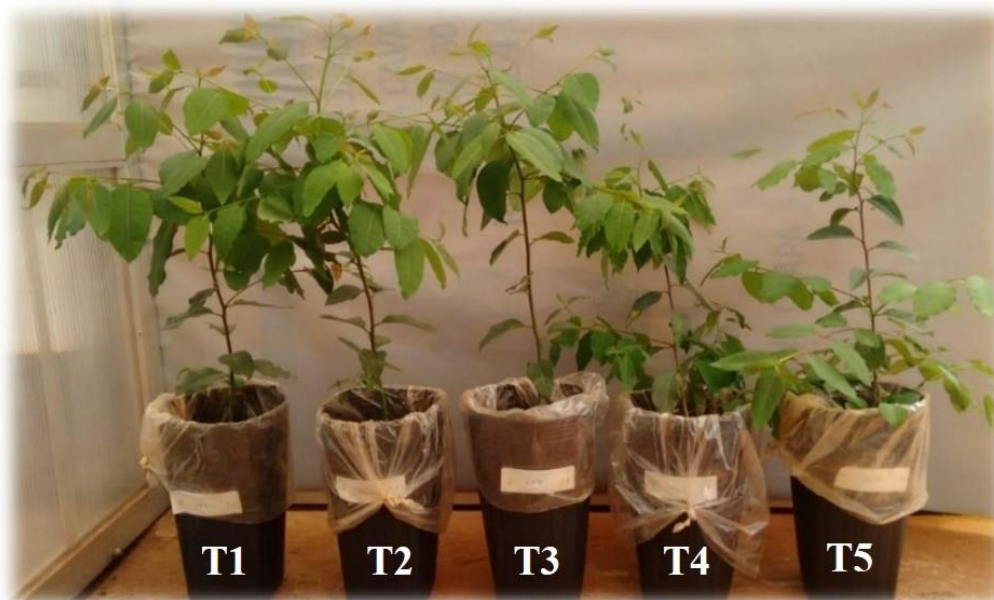


Figura 1: Mudas de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla*, clone I144 após cultivo com aplicação de diferentes doses de lodo de curtume por 45 dias (T1 - 0; T2 - 0,1%; T3 - 1%; T4 - 10% e T5 - 50%).

As raízes também apresentaram comportamentos variados em relação as doses do lodo de curtume. Em doses mais elevadas as raízes estavam mais curtas e deformadas (Figura 2), diante dessa situação, a planta não se desenvolve, pois, seu sistema radicular está comprometido, podendo ocorrer morte das mudas nos primeiros anos de vida após seu plantio em campo.



Figura 2: Raízes das mudas de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla*, clone I144 após cultivo com aplicação de diferentes doses de lodo de curtume por 45 dias (T1 - 0; T2 - 0,1%; T3 - 1%; T4 - 10% e T5 - 50%).

Para avaliação do estado nutricional das mudas, foi realizada a diagnose foliar de Nitrogênio (N), a fim de verificar a capacidade de absorção e utilização dos nutrientes pelas plantas (Tabela

5). Para plantas jovens, a absorção dos nutrientes é muito importante e sua utilização impacta em todo seu ciclo de crescimento, influenciando na produção final de biomassa [8, 14].

Tabela 5: Teores de nitrogênio (N) obtidos nas folhas e nas raízes de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla*, clone I144 em função das doses crescente de lodo de curtume após 45 dias de cultivo.

Tratamentos	Variáveis	
	Folhas	Raízes
T1	14,528	7,53
T2	18,133	7,54
T3	38,602	7,00
T4	19,490	8,51
T5	21,686	9,80

*Valores dos teores de nitrogênio (N) não foram avaliados estatisticamente.

A premissa da diagnose foliar considera a relação entre os níveis de nutrientes na solução do solo que estariam relacionados com crescimento ou produção da cultura. Os resultados baseiam-se nos níveis críticos e estes correspondem ao teor de elemento na planta ou no solo. Se os níveis estiverem baixo, a taxa de crescimento ou produção vegetal diminuirá significativamente, demonstrando a necessidade de adubação complementar. Contudo, constatou-se com a análise que as concentrações foliares de nitrogênio estão dentro da faixa considerada adequada que varia de 12 a 35 g kg⁻¹ [14, 26].

A análise foliar do nitrogênio no tratamento T3 (38,60 g kg⁻¹), indicou uma maior quantidade de nitrogênio nas folhas, diminuindo em seguida com o aumento da dosagem de lodo, sendo esse valor maior do que foi encontrado na testemunha (T1). O N, ao ser absorvido da solução do solo ou fixado do ar, incorpora-se na planta na forma de aminoácido e, por ser um nutriente móvel, caminha para extremidade das plantas. O aumento no teor de N, eleva o crescimento das folhas aumentando a superfície fotossintética [14, 26].

Nas raízes, a concentração de N foi crescente e linear nos tratamentos com lodo de curtume, relacionado a maior oferta desse nutriente no solo e ao efeito favorável à mineralização da matéria orgânica. Entretanto, o comportamento da massa seca da raiz das plantas pode influenciar na concentração dos nutrientes, uma vez que em raízes de maior massa, os nutrientes encontram-se menos concentrados devido a maior área, por isso, podem ocorrer menores teores de nutrientes em raízes maiores [8, 13]. Isso pode justificar a relação dos teores de N nas folhas e raízes do T3, em que houve um maior acúmulo de N no tecido foliar, do que nas raízes, resultando uma melhor dose de lodo de curtume entre os tratamentos. Contudo, o tratamento testemunha que apresentou as maiores médias de dados morfológicos comparado aos que receberam adição de lodo de curtume, obteve o menor nível de N em suas folhas, demonstrando que a inserção do lodo de curtume no solo propiciou o aumento do nitrogênio na solução do solo para absorção das mudas.

O uso do lodo de curtume na produção de mudas florestais pode ser uma alternativa para disposição e reutilização desse resíduo. Entretanto, a dose deve ser definida de maneira criteriosa, com base na composição química, para evitar efeitos indesejados sobre o solo e consequentemente no desenvolvimento das plantas. A proporção de 10% ocasionou efeitos de toxicidade nas mudas de eucalipto, as doses inferiores ao tratamento T4 apresentaram resultados similares ao tratamento controle, ou seja, podem ser utilizadas sem afetar o desenvolvimento natural das mudas.

4. CONCLUSÃO

As doses iguais ou inferiores a 1% de lodo de curtume (T1, T2 e T3), apresentaram resultados similares a testemunha (T1), ou seja, sem aplicação de lodo. A aplicação do lodo em baixas concentrações não promoveu diferenças significativas nas plantas. No entanto, as mudas com aplicação de 10 e 50% de lodo de curtume (T4 e T5) apresentaram redução no crescimento de raiz e altura da parte aérea de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla*, clone I144. Com

base nos resultados, a aplicação do lodo de curtume é de até 10% para evitar a salinização do solo e efeitos adversos nas plantas.

Com base nos parâmetros morfológicos associados aos atributos químicos, como o pH, CE, N e P, na concentração de 50% (T5), sugere-se que as mudas passaram por uma condição de estresse salino, devido à presença de cromo e sódio em elevada concentração no lodo, influenciando a disponibilidade e absorção dos nutrientes pelas mudas, ocasionando a redução no tamanho da raiz e da parte aérea das plantas.

É recomendada a aplicação de lodo até 10% para evitar efeitos adversos oriundos da salinização do solo nas plantas. O uso do lodo de curtume incorporado ao solo é uma alternativa de reuso para o resíduo, atribuindo valor econômico e minimizando a quantidade de resíduo que é enviada para os aterros sanitários.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Food and Agriculture Organization (FAO). Forest Resource Assessment Working Paper 180 – FRA 2015: terms and definitions [Internet]. Rome (IT): FAO; 2015 [acesso em 21 jul 2020]. Disponível em: <http://www.fao.org/3/ap862e/ap862e00.pdf>
2. Moreira JMMAP, Simioni F, Oliveira EB. Importância e desempenho das florestas plantadas no contexto do agronegócio brasileiro. Rev Floresta. 2017;47(1):85-94. doi: 10.5380/rf.v47i1.47687
3. Após superar ameaças, setor florestal brasileiro olha para o futuro. B. Forest Revista Eletrônica do Setor Florestal. 40. ed. 2018. p. 14-20. Disponível em: <https://revistabforest.com.br/2018/01/b-forest-a-revista-eletronica-do-setor-florestal-edicao-40-ano-05-n-01-2018/>
4. Simoes D, Silva RBG, Silva MR. Composição do substrato sobre o desenvolvimento, qualidade e custo de produção de mudas de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden × *Eucalyptus urophylla* S. T. Blake. Ciênc Florestal. 2012;22(1):91-100. doi: 10.5902/198050985082
5. Araújo FF. Disponibilização de fósforo, correção do solo, teores foliares e rendimento de milho após a incorporação de fosfatos e lodo de curtume natural e compostado. Acta Scient. Agronomy. 2011;33(2):355-60. doi: 10.4025/actasciagron.v33i2.1021
6. Santos KCF, Silva MSL, Silva LE, Miranda MA, Freire MBGS. Atividade biológica em solo salino sódico saturado por água sob cultivo de *Atriplex nummularia*. Rev Ciênc Agrônômica. 2011;42(3):619- 27. doi: 10.1590/S1806-66902011000300007
7. De Araujo FF, de Gentil GM. Ação do lodo de curtume no controle de *Meloidogyne* spp. e na nodulação em soja. Rev Ceres. 2010;57(5):629-32. doi: 10.1590/S0034-737X2010000500010
8. Guimaraes WP, de Araujo ASF, Oliveira MLJ, de Araújo FF, de Melo WJ. Efeito residual de lodo de curtume compostado sobre os teores de cromo e produtividade do milho verde. Científica. 2015;43(1):37-42. doi: 10.15361/1984-5529.2015v43n1p37-42
9. Malafaia G, de Araujo FG, Leandro WM, Rodrigues ASL. Teor de nutrientes em folhas de milho fertilizado com vermicomposto de lodo de curtume e irrigado com água residuária doméstica. Rev Ambiente & Água. 2016;11(4):779-809. doi: 10.4136/ambi-agua.1680
10. Prado AK, Cunha MET. Efeito da aplicação de lodo de esgoto e curtume nas características físico-químicas do solo e na absorção de nitrogênio por feijoeiro. UNOPAR Científica Exatas Tecnol. 2011; 10(1):37-41.
11. Tavares LS, Scaramuzza WLMP, Weber OLS, Valadão FCA, Maas KDB. Lodo do curtume e sua influência na produção de mudas de paricá (*Schizolobium amazonicum*) e nas propriedades químicas do solo. Ciênc Florestal. 2013;23(3):357-68. doi: 10.5902/1980509810547
12. da Silva GRS, Amaral IG, Galvão JR, Pinheiro DP, Silva Júnior ML, Melo NC. Uso do lodo de curtume na produção de plantas de açaizeiro em fase inicial de desenvolvimento. Rev Agrária. 2015;10(4):506-11. doi: 10.5039/agraria.v10i4a5015
13. Gonçalves ICR, Araújo ASF, Nunes LAPL, Bezerra AAC, de Melo WJ. Heavy metals and yield of cowpea cultivated under composted tannery sludge amendment. Acta Scient. Agronomy 2014;36(4):443-8. doi: 10.4025/actasciagron.v36i4.18094
14. Possato EL, Scaramuzza WLMP, Weber OLS, Nascentes R, Bressiani AL, Calegario N. Atributos químicos de um cambissolo e crescimento de mudas de eucalipto após adição de lodo de curtume contendo cromo. Rev Árvore. 2018;38(5):847-56. doi:10.1590/S0100-67622014000500009
15. Brasil. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Decreto nº 4.954, de 14 de janeiro de 2004. Dispõe sobre a inspeção e fiscalização da produção e do comércio de fertilizantes, corretivos, inoculantes ou biofertilizantes destinados à agricultura, e dá outras providências. Diário Oficial da União. 15 jan 2004;10(Seção 1):2-11. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2004-2006/2004/decreto/d4954.htm
16. Brasil. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Instrução Normativa nº 27, de 05 de junho de 2006. Aprova os limites máximos de agentes fito tóxicos, patogênicos ao homem, animais e

- plantas, metais pesados tóxicos, pragas e ervas daninhas admitidas nos fertilizantes, corretivos, inoculantes e biofertilizantes destinados à agricultura. Diário Oficial da União. 09 jun 2006;110(Seção 1):15-16. Disponível em: <https://www.diariodasleis.com.br/busca/exibelinck.php?numlink=211215>
17. Tedesco MJ, Gianello C, Bissani CA, Bohnen H, Volkweiss SJ. Análises de solo, plantas e outros materiais. 2. ed. Porto Alegre (RS): Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS; 1995. 215 p.
 18. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa). Manual de métodos de análise de solo. 2. ed. Rio de Janeiro: Embrapa - Centro Nacional de Pesquisa de Solos; 1997. 212 p.
 19. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SiBCS). Rio de Janeiro (RJ): EMBRAPA Solos; 2013. 355 p.
 20. Dickson A, Leaf AL, Hosner JF. Quality appraisal of white spruce and White pine seedling stock in nurseries. *Forestry Chronicle*. 1960;36:11-13. doi:10.5558/tfc36010-1
 21. Miyazawa M, Pavan MA, Muraoka T, Carmo CAFS, Melo WJ. Análise química de tecido vegetal. In: da Silva FC, editora. Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes do solo. 2. ed. Brasília (DF): Embrapa Informação Tecnológica; 2009. p. 198-204.
 22. De Abreu MF, Abreu Junior CH, da Silva FC, Santos GCG, Andrade JC, Gomes TF, et al. Análises químicas de fertilizantes orgânicos (urbanos). In: da Silva FC, editora. Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes do solo. 2. ed. Brasília (DF): Embrapa Informação Tecnológica; 2009. p. 401-5.
 23. Ferreira DF. SISVAR: a computer analysis system to fixed effects split plot type designs. *Rev Bras Biometria*. 2019;37(4):529-35. doi: 10.28951/rbb.v37i4.450
 24. Gomes JM, Paiva HN. Viveiros florestais: propagação sexuada. 3. ed. Viçosa (MG): UFV; 2006. 116 p.
 25. Almeida RN, Ferraz DR, Silva AS, Cunha EG, Vieira JC, Souza TS, et al. Utilização de lodo de curtume em complementação ao substrato comercial na produção de mudas de pimenta biquinho. *Rev Sci Agraria*. 2017;18(1):20-33. doi: 10.5380/rsa.v18i1.49914
 26. Berilli SS, Berilli APCG, Carvalho AJC, Freitas SJ, Fontes PSF. Níveis de cromo em mudas de café conilon desenvolvidas em substrato com lodo de curtume como adubação alternativa. *Coffee Science*. 2015;10(3):320-8.
 27. De Carvalho TC, da Silva SS, da Silva RC, Panobianco M. Germinação e desenvolvimento inicial de plântulas de soja convencional e sua derivada transgênica RR em condições de estresse salino. *Ciênc Rural*. 2012;42(8):1366-71. doi: 10.1590/S0103-84782012000800006
 28. Gianello C, Domaszak SC, Bortolon L, Kray CH, Martins V. Viabilidade do uso de resíduos da agroindústria coureiro calçadista no solo. *Ciênc Rural*. 2011;41(2):242-5. doi: 10.1590/S0103-84782011005000007
 29. Novais RF, Alvarez VH, Barros NF, Fontes RLF, Cantarutti RB, Neves JCL. Fertilidade do solo. Viçosa (MG): SBCS; 2007. 1017 p.
 30. Kiehl, RJ. Manual de compostagem: maturação e qualidade do composto. 6. ed. Piracicaba (SP): o autor; 2012. 171 p.
 31. Kämpf A. Evolução e perspectivas do crescimento do uso de substratos no Brasil. Nutrição e adubação de plantas cultivadas em substrato. Viçosa (MG): UFV; 2004. 10 p.
 32. Rabbani ARC, Mann RS, Ferreira RA, Carvalho SVÁ, Nunes FBS, Brito AS. Efeito do estresse salino sobre atributos da germinação de sementes de girassol. *Sci Plena*. 2013;9(5):1-6.
 33. Pedrotti A, Chagas RM, Ramos VC, Prata APN, Lucas AATL, Santos PB. Causas e consequências do processo de salinização dos solos. *REGET*. 2015;19(2):1308-24. doi: 105902/2236117016544
 34. Vieira CR, Silva AP, Weber OLS, Scaramuzza JF. Característica do solo e das mudas de teca em função da adição de lodo do caleiro. *ENFLO*. 2014;2(2):32-45. doi: 10.1590/1807-1929/agriambi.v18n09p971-979