revista principia
30 anos
Revelando e explicando o futuro
ISSN 2447-9187

https://doi.org/10.18265/2447-9187a2026id9132
ARTIGO ORIGINAL

SUBMETIDO 15/07/2025
APROVADO 12/11/2026
PUBLICADO ON-LINE 12/02/2026
VERSÃO FINAL DIAGRAMADA 18/08/2026
EDITORA ASSOCIADA
Prof. Dra. Juliana Garlet

Desempenho de substratos comerciais sobre a qualidade de mudas de *Pinus taeda* L.

Elis Borcioni [1] *
Andressa Vasconcelos Flores [2]
Igor Marcelo Tacheviski [3]
Rita Carolina de Melo [4]

[1] elis.borcioni@ufsc.br
[2] andressa.flores@ufsc.br
Departamento de Agricultura, Biodiversidade e Florestas, Universidade Federal de Santa Catarina – Campus de Curitibanos (UFSC), Curitibanos, Santa Catarina, Brasil

[3] igortacheviski.ifc@gmail.com
Universidade do Contestado (UNC), Curitibanos, Santa Catarina, Brasil

[4] rita.melo@ufsc.br
Departamento de Ciências Naturais e Sociais, Universidade Federal de Santa Catarina – Campus de Curitibanos (UFSC), Curitibanos, Santa Catarina, Brasil

* *Autor para correspondência.*

RESUMO: O cultivo do *Pinus* no Brasil vem conquistando espaço cada vez maior. Dado o potencial da espécie e consequente expansão da área plantada com *P. taeda*, surge maior demanda por mudas, e para atender essa necessidade do mercado, os viveiristas precisam maximizar a produção, aumentando a qualidade e reduzindo custos. No que se refere à produção de mudas de alta qualidade, destaca-se a escolha do substrato, entretanto, a espécie apresenta carência de informações robustas sobre a influência deste na qualidade das mudas. Diante desse cenário, o objetivo do presente estudo foi avaliar a influência de diferentes tipos de substratos comerciais sobre a qualidade das mudas. No experimento foram testados os seguintes substratos comerciais: T1 - 100% Carolina Soil; T2 - 100% Mecplant; T3 - 100% Rohrbacher; T4 - 100% Pilar; T5 - 50% Amafibra + 50% Mecplant. Foram mensurados os seguintes parâmetros: altura da parte aérea (H), diâmetro do coleto (DC), massa seca de parte aérea (MSPA), massa seca radicular (MSR), massa seca total (MST), quociente de robustez (H/DC) e Índice de Qualidade de Dickson (IQD). Os dados foram submetidos a análise de variância e modelos de regressão linear. Os substratos comerciais que resultaram em mudas de alta qualidade foram T1 - Carolina Soil, T2 - Mecplant e T3 - Rohrbacher, com IQD de 0,19; 0,17 e 0,20, respectivamente. Ressalta-se que os resultados e recomendações obtidos retratam um conjunto de técnicas adotadas em um determinado viveiro, com suas particularidades, sendo válidos apenas para essas condições de manejo. Conclui-se que os substratos comerciais T1 - Carolina Soil, T2 - Mecplant e T3 - Rohrbacher apresentaram desempenho superior, produzindo mudas de alta qualidade.

Palavras-chave: crescimento de mudas; espécie florestal; insumo; parâmetros morfológicos; *Pinus*.

Performance of commercial substrates on the quality of Pinus taeda L. seedlings

ABSTRACT: *Pine cultivation in Brazil has been gaining increasing ground. Given the species' potential and the consequent expansion of the area planted with P. taeda, there is a greater demand for seedlings. To meet this market*

CC BY
OPEN ACCESS

need, nurserymen must maximize production, increasing quality and reducing costs. When it comes to producing high-quality seedlings, substrate selection is crucial; however, there is a lack of robust information on the influence of substrates on seedling quality. Given this scenario, the objective of this study was to evaluate the influence of different types of commercial substrates on seedling quality. The following commercial substrates were tested in the experiment: T1 - 100% Carolina Soil; T2 - 100% Mecplant; T3 - 100% Rohrbacher; T4 - 100% Pilar; T5 - 50% Amafibra + 50% Mecplant. The following parameters were measured: shoot height (H), stem diameter (SC), shoot dry mass (SDM), root dry mass (RDM), total dry mass (TDM), robustness quotient (H/SC), and Dickson Quality Index (DQI). Data were subjected to analysis of variance and linear regression models. The commercial substrates that resulted in high-quality seedlings were T1 - Carolina Soil, T2 - Mecplant, and T3 - Rohrbacher, with DQI of 0.19, 0.17, and 0.20, respectively. It should be noted that the results and recommendations obtained reflect a set of techniques adopted in a given nursery, with their particularities, and are only valid for these management conditions. It is concluded that the commercial substrates T1 - Carolina Soil, T2 - Mecplant, and T3 - Rohrbacher showed superior performance, producing high-quality seedlings.

Keywords: *forest species; input; morphological parameters; pine; seedling growth.*

1 Introdução

Em 2023, no Brasil, a área total de florestas plantadas ultrapassou 10 milhões de hectares; destes, 1,92 milhão de hectares correspondem a áreas com espécies do gênero *Pinus*, o equivalente a 19% da área plantada (IBÁ, 2024), demonstrando a grande importância econômica desse gênero para a silvicultura brasileira. No contexto atual, segundo a Indústria Brasileira de Árvores (IBÁ, 2024), a Região Sul do Brasil permanece como a principal fornecedora de madeira de *Pinus*, representando 89% do total, e os estados de Santa Catarina e Paraná possuem uma área plantada de 719 mil e 710 mil hectares, respectivamente.

A produtividade média nacional do *Pinus* foi estimada em 30,9 $m^3.ha^{-1}.ano^{-1}$, com ciclo de rotação médio de 14,7 anos (IBÁ, 2024); entretanto, no estado de Santa Catarina, a produtividade pode alcançar 42,5 $m^3.ha^{-1}.ano^{-1}$ (ACR, 2022).

O gênero *Pinus* possui mais de 100 espécies e, no Brasil, é amplamente cultivado há décadas, especialmente nas Regiões Sul e Sudeste, destacando-se o *Pinus taeda* L., nativo dos Estados Unidos, devido a sua versatilidade de usos (Aguiar; Sousa; Shimizu, 2014) e rusticidade, que garante resultados favoráveis de crescimento rápido mesmo em condições edafoclimáticas adversas, quando comparado a outras espécies (Gomes *et al*., 2016; Shimizu *et al*., 2018).

O cultivo do pínus no Brasil vem conquistando espaço cada vez maior. Dado o potencial da espécie e consequente expansão da área plantada com *P. taeda*, surge maior demanda por mudas, e, para atender essa necessidade do mercado, os viveiristas precisam maximizar a produção, aumentando a qualidade e reduzindo custos.

Na área florestal, um dos fatores de grande influência no estabelecimento dos povoamentos é a qualidade da muda, tendo em vista que esta afeta diretamente a produtividade e o padrão de tais povoamentos (Silva *et al*., 2014; Wilsen Neto;

CC BY OPEN ACCESS

Botrel, 2009). Para classificar uma muda como de alta qualidade, considera-se alguns atributos como sanidade, diâmetro do coleto, altura de parte aérea da muda, desenvolvimento do sistema radicular e lignificação do caule (Pezzutti; Caldato, 2011). Entretanto, tais variáveis podem ser afetadas por diversos fatores silviculturais, com destaque para a escolha do substrato, que pode influenciar desde a germinação da semente até o crescimento das mudas, constituindo um dos fatores mais relevantes na fase inicial em viveiro (Dutra *et al*., 2012).

A principal função do substrato é sustentar e fornecer nutrientes e condições adequadas para o crescimento e desenvolvimento das mudas. É desejável que seja isento de sementes de plantas invasoras, pragas e fungos patogênicos, evitando-se a necessidade de desinfestação (Wendling; Dutra; Grossi, 2006); além disso, um substrato adequado deve apresentar características físicas – como porosidade e capacidade de retenção de água – adequadas e características químicas – como pH, condutividade elétrica, capacidade de troca catiônica, matéria orgânica e relação C/N – que atendam a demanda da espécie a ser produzida (Delarmelina *et al*., 2013; Valenzuela *et al*., 2014). Ainda, o substrato utilizado no viveiro influencia diretamente os custos de produção da muda (González-Orozco *et al*., 2018).

Comercialmente há várias formulações de substratos disponíveis no mercado que atendem as especificações técnicas exigidas, como qualidade, homogeneidade e estabilidade do produto, conforme as necessidades dos viveiristas, trazendo garantias de adquirir um insumo confiável e que proporcionará a produção de mudas de elevado padrão (Embrapa, 2020).

Considerando a disponibilidade de diversos substratos comerciais e a falta de detalhamento com relação a sua composição, é necessário estabelecer qual o substrato mais adequado para cada manejo e local de produção. Soma-se a isso o fato de que a maioria das pesquisas realizadas na produção de mudas florestais testam substratos alternativos (Boene *et al*., 2013; González-Orozco *et al*., 2018; Madrid-Aispuro *et al*., 2020; Maeda *et al*., 2007; Silva *et al*., 2017; Velázquez *et al*., 2016), levando a uma carência de estudos referentes aos diferentes tipos de substratos comerciais.

A produção de mudas de *P. taeda* é uma atividade econômica de grande importância, entretanto, carente de informações robustas sobre o efeito dos substratos comerciais na qualidade das mudas. Diante desse cenário, o objetivo do presente estudo foi avaliar a influência de diferentes tipos de substratos comerciais sobre a qualidade das mudas.

Na seção 2 é evidenciado o método da pesquisa, que descreve detalhadamente local e condições ambientais de condução do experimento, material de propagação utilizado, substratos comerciais testados, delineamento experimental, parâmetros mensurados, coleta e análise de dados. Subsequentemente, na seção 3, são apresentados os resultados e as discussões cientificamente fundamentadas nas análises estatísticas e, por último, na seção 4, as conclusões da pesquisa.

2 Método da pesquisa

O experimento foi desenvolvido no viveiro da empresa FRP Florestal, localizado na rodovia BR 116, Km 161, no município de Ponte Alta do Norte, na região do planalto catarinense, estado de Santa Catarina (latitude 27º 07’ 24’’ Sul, longitude 50º 27’ 13’’Oeste, e altitude de 990 metros). O clima é caracterizado

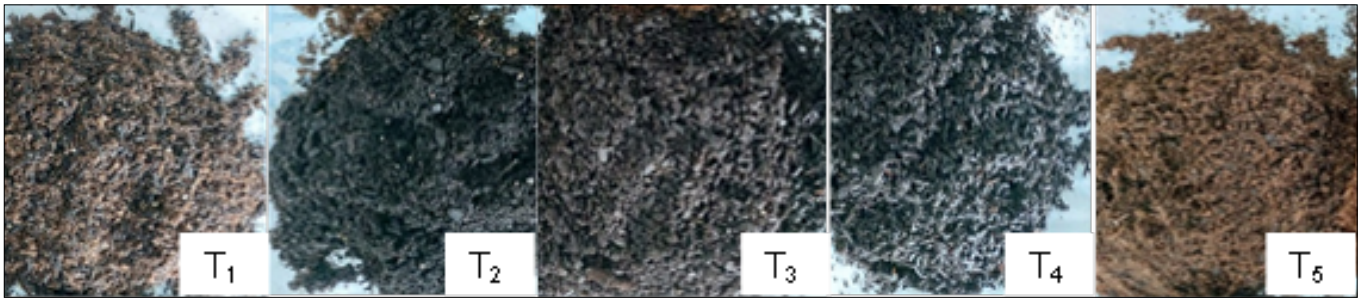
CC BY
OPEN ACCESS

como Cfb (subtropical úmido com verões amenos), a precipitação média anual é de aproximadamente 1.480 mm, e as médias de temperaturas máximas e mínimas registradas são de 22 ºC e 12,4 ºC, respectivamente (Embrapa, 2012).

As sementes de *P. taeda* foram adquiridas do Pomar Clonal de Sementes (PCS), pertencente à empresa Mobasa, da 2ª Geração da safra 2023. Elas foram submetidas à superação de dormência, com imersão em água por 48 horas, e, posteriormente, embaladas em sacos plásticos e dispostas em câmara fria (3 ºC a 5 °C) por 60 dias. O experimento foi instalado em 6 de dezembro de 2023, distribuindo-se uma semente por tubete (55 cm^3), contendo os diferentes substratos. A adubação utilizada em todos os tratamentos foi composta de Basacote® 16-08-12 (+2) (6M) – 6 kg por m^3 de substrato –, acrescido de 1,0 kg de Yoorin® Master 1Si.

Figura 1 ▼
Substratos utilizados para composição dos diferentes tratamentos utilizados para a produção de mudas de *Pinus taeda* L.
Fonte: elaborada pelos autores

O delineamento experimental utilizado foi inteiramente casualizado, sendo composto de cinco tratamentos, em que cada tratamento continha 20 repetições, com três mudas cada. Os substratos comerciais testados foram: T1 - 100% Carolina Soil (casca de arroz carbonizada, turfa e vermiculita); T2 - 100% Mecplant (casca de pínus); T3 - 100% Rohrbacher (casca de pínus); T4 - 100% Pilar (casca de pínus, casca de arroz e vermiculita); T5 - 50% Amafibra (fibra de coco) + 50% Mecplant (casca de pínus), conforme Figura 1.



T1: Carolina Soil (casca de arroz carbonizada, turfa e vermiculita); T2: Mecplant (casca de pínus); T3: Rohrbacher (casca de pínus); T4: Pilar (casca de pínus, casca de arroz e vermiculita); T5: 50% Amafibra (fibra de coco) + 50% Mecplant (casca de pínus).

Após a semeadura, as bandejas contendo os tubetes foram acondicionadas em casa de vegetação semiautomática, modelo arco, por 45 dias, e as irrigações foram realizadas através de microaspersão, conforme a necessidade da cultura. Durante esse período, foi realizada a alternagem dos tubetes nas bandejas, reduzindo a densidade de mudas em 64% da inicial. Esse procedimento foi realizado quando as mudas atingiram altura média de 8 cm a 10 cm. Posteriormente à fase de cultivo em casa de vegetação, as mudas foram alocadas em pleno sol com cobertura de tela antigranizo.

Durante o período experimental, os dados de temperatura média do ar (°C), umidade relativa do ar (%) e precipitação diária (mm) foram coletados por meio de estação meteorológica pertencente ao viveiro da Empresa FRP Florestal. Foram observadas, durante o período em pleno sol, temperatura média do ar de 18,3 °C, umidade relativa do ar de 92% e precipitação média mensal de 146 mm.

As mensurações foram realizadas a cada 30 dias após a semeadura (DAS) até as mudas atingirem 210 DAS, sendo medidos altura da parte aérea (H) e diâmetro do coleto (DC) das mudas. A altura da parte aérea foi determinada a partir do nível do substrato até a inserção da última folha, com auxílio de régua graduada em milímetros, e o diâmetro do coleto foi medido na altura do coleto da planta, com auxílio de um paquímetro digital. Aos 210 DAS foram coletadas 20 mudas de cada tratamento para mensuração de massa seca (g). Inicialmente as plantas foram separadas em parte aérea e parte radicular,

CC BY
OPEN ACCESS

identificadas, acondicionadas em sacos de papel e secas em estufa com circulação forçada de ar a 60 °C até alcançar massa constante, obtendo-se a massa seca de parte aérea (MSPA), a massa seca radicular (MSR) e a massa seca total (MST = MSPA+MSR), com auxílio de balança analítica com quatro casas decimais.

A partir dessas medidas, foram determinadas relações de qualidade de mudas: relação entre altura da planta e diâmetro do coleto ou quociente de robustez (H/DC) e Índice de Qualidade de Dickson (IQD), obtido pela Equação 1 (Dickson; Leaf; Hosner, 1960).

$$IQD = \frac{MST}{\left(\frac{H}{DC}\right) + \left(\frac{MSPA}{MSR}\right)} \quad (1)$$

em que: MST = massa seca total (g); H = altura de parte aérea (cm); DC = diâmetro de coleto (mm); MSPA = massa seca de parte aérea (g); MSR = massa seca radicular (g).

Os dados foram submetidos aos pressupostos do modelo e a análise de variância para experimento fatorial 5x7 (substrato x tempo). Em caso de significância para a variação do efeito substrato x tempo, os efeitos simples foram obtidos para uma descrição qualitativa da interação. Quando necessário, regressões lineares foram executadas para uma análise do crescimento das mudas de *P. taeda* em cada substrato ao longo do tempo. A partir das equações, informações foram preditas segundo os índices de qualidade para mudas em viveiros florestais. Nos casos em que o modelo ajustado foi um polinômio de segundo grau da forma $y = ax^2 + bx + c$, os pontos de máxima (ou mínima, a depender do sinal de a) foram determinados com base na derivada da função, resultando nas equações do vértice da parábola (Equações 2 e 3):

$$x = -\frac{b}{2a} \quad (2)$$

$$y = -\frac{b^2}{4a} + c \quad (3)$$

Adicionalmente, as médias dos tratamentos aos 210 DAS (tempo final de avaliação) foram comparadas pelo teste de Duncan ($\alpha = 0,05$), para todas as variáveis mensuradas. As análises e gráficos foram executados no software R (R Core Team, 2025).

3 Resultados e discussão

Embora este aspecto não tenha sido objeto de avaliação, observou-se que as sementes germinaram entre 8 e 20 DAS (dias após a semeadura) e que, após esse período, não houve mudanças com relação ao parâmetro germinação. A porcentagem de germinação registrada foi acima de 80% para todos os tratamentos. Entretanto, foi observada desuniformidade na germinação das sementes e maior crescimento de plantas espontâneas nos substratos T3 - Rohrbacher e T4 - Pilar, quando comparados aos demais.

CC BY OPEN ACCESS

Tabela 1 ▼
Análise de variância parcial para experimento fatorial (5x7), substratos e tempos de avaliação, para os parâmetros altura de parte aérea (H), diâmetro do coleto (DC) e quociente de robustez (H/DC). Exibidos os desdobramentos em efeitos simples de substratos dentro de cada tempo.
Fonte: dados da pesquisa

Os resultados da análise da variância (substrato x tempo) demonstraram interação significativa para as variáveis H, DC e H/DC, sendo necessário interpretar a interação de forma qualitativa, por meio dos efeitos simples, conforme Tabela 1. Para as variáveis H e DC, não houve diferença entre os substratos até 60 dias, indicando que, nesta fase, os substratos apresentam o mesmo comportamento ou influência sobre o crescimento de mudas de *P. taeda*. A partir de 90 dias, inicia-se um processo de diferenciação entre os tratamentos considerando o crescimento em H e DC. Entretanto, a variável H/DC apresentou diferença significativa aos 60 dias entre os substratos analisados.

F.V.	H (cm)				DC (mm)				H/DC			
	GL	SQ	F		GL	SQ	F		GL	SQ	F	
Substrato (S)	4	6040,28	205,20	**	4	44,81	136,93	**	4	107,77	18,03	**
Tempo (T)	6	141025,49	3193,99	**	6	1655,48	3371,78	**	6	2613,29	291,51	**
S x T	24	3345,16	18,94	**	24	21,47	10,93	**	24	184,81	5,15	**
S | 30 dias	4	2,70	0,09	ns	4	0,09	0,28	ns	4	3,29	0,55	ns
S | 60 dias	4	25,25	0,86	ns	4	0,26	0,80	ns	4	34,26	5,73	**
S | 90 dias	4	838,27	28,48	**	4	7,22	22,06	**	4	23,75	3,97	**
S | 120 dias	4	1973,51	67,05	**	4	15,63	47,77	**	4	58,51	9,79	**
S | 150 dias	4	2465,31	83,75	**	4	15,90	48,58	**	4	49,96	8,36	**
S | 180 dias	4	2228,78	75,72	**	4	10,73	32,79	**	4	90,65	15,17	**
S | 210 dias	4	1824,28	61,98	**	4	16,20	49,52	**	4	31,70	5,30	**

Legenda: F.V.: fator de variação; GL: graus de liberdade; SQ: soma de quadrados; F: teste F.
*, ** e ns: significativo a 5%, significativo a 1% e não significativo pelo teste F.

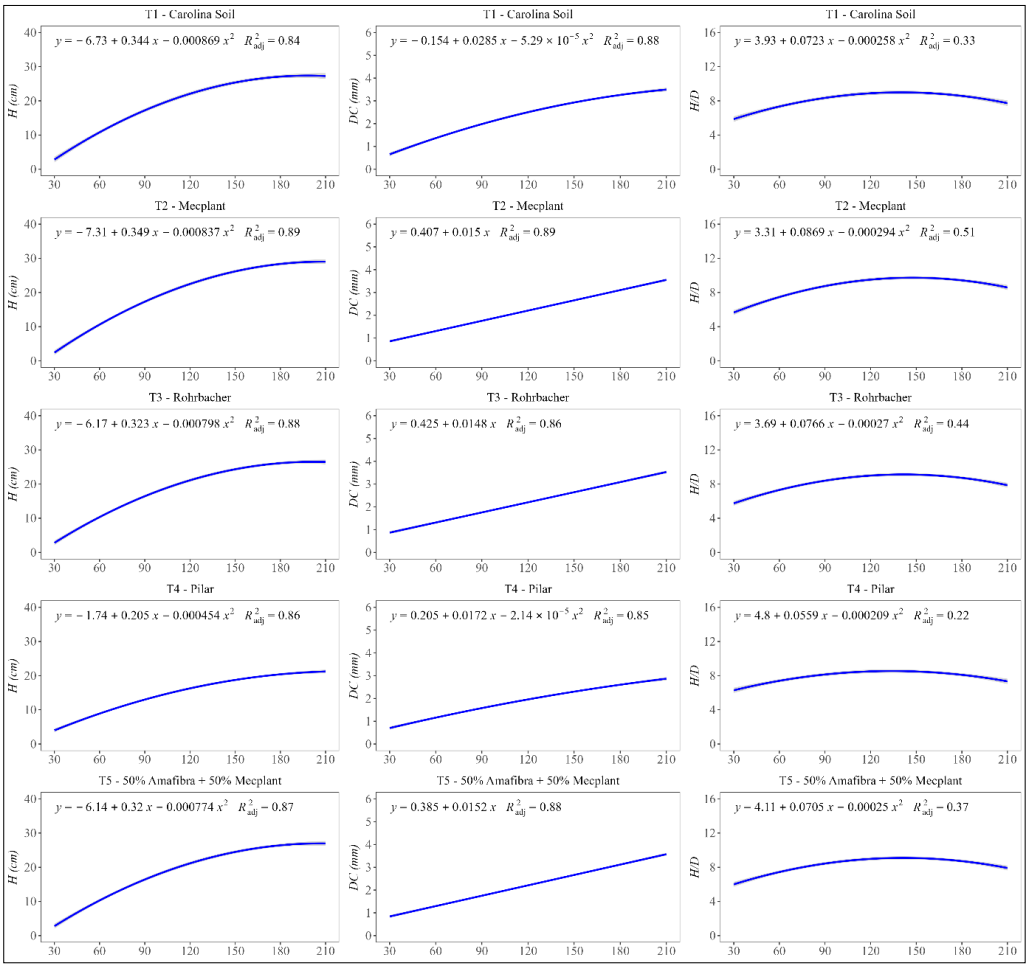
Observou-se efeito significativo para a interação substrato x tempo, o que denota comportamentos ou relações diferentes entre os substratos comerciais ao longo do tempo sobre o crescimento das mudas. As propriedades físicas, químicas e biológicas de cada substrato podem ter provocado diferenças na velocidade de crescimento, com impacto direto no estabelecimento das mudas de *P. taeda*. Diante disso, para cada substrato avaliado espera-se uma modelagem particular que permita predizer, em cada caso, as variáveis silviculturais em um determinado tempo no viveiro. Portanto, foram testados modelos de regressão para cada substrato, considerando os três parâmetros (H, DC e H/DC).

Em relação a H e a H/DC, foi determinado o modelo quadrático para todos os substratos analisados. Para o parâmetro DC, apenas os substratos T1 - Carolina Soil e T4 - Pilar ajustaram-se ao modelo quadrático, enquanto os demais ajustaram-se ao modelo linear (Figura 2).

CC BY
OPEN ACCESS

ISSN 2447-9187

Figura 2 ▶
Regressões lineares para os parâmetros altura de parte aérea (H), diâmetro do coleto (DC) e quociente de robustez (H/DC) ao longo do tempo (30 a 210 dias), para os diferentes substratos comerciais utilizados para a produção de mudas de *Pinus taeda* L.
Fonte: dados da pesquisa



Nos modelos quadráticos, foi possível determinar o ponto de máxima da equação, ou seja, o tempo exato em que as mudas obtiveram maior crescimento em H, DC e H/DC (Tabela 2). Ao determinar esse ponto, pode-se inferir o momento ideal para que as mudas sejam rustificadas ou expedidas, pois não haverá crescimento, e sua permanência no viveiro acarretará aumento nos custos de produção.

Tabela 2 ▶
Pontos de máxima (x,y) estimados para o crescimento de mudas de *Pinus taeda* L. considerando os parâmetros de altura de parte aérea (H), diâmetro do coleto (DC) e quociente de robustez (H/DC) para os diferentes substratos comerciais avaliados.
Fonte: dados da pesquisa

Tratamento	H		DC		H/DC	
	x (dias)	y (cm)	x (dias)	y (mm)	x (dias)	y
T1 - Carolina Soil	198	27	NA	NA	140	8,99
T2 - MecPlant	208	29	*	*	148	9,72
T3 - Rohrbacher	202	26	*	*	142	9,12
T4 - Pilar	NA	NA	NA	NA	134	8,54
T5 - 50% Amafibra + 50% Mecplant	207	27	*	*	141	9,09

* Funções lineares. NA valor fora do intervalo da regressão determinado.
Fonte: dados da pesquisa

A determinação do tempo de retirada das mudas do viveiro é fundamental para maximizar os recursos utilizados, reduzir custos e produzir mudas de qualidade, com padrões adequados com relação a H, DC e H/DC, tendo em vista que esses parâmetros

CC BY OPEN ACCESS

possuem correlação direta com a sobrevivência e com o crescimento inicial das mudas no campo (Gomes *et al*., 2002). Embora os padrões de qualidade de mudas variem de acordo com a espécie e o país, de modo geral, as empresas no Brasil consideram que mudas do gênero *Pinus* estão aptas para serem plantadas quando apresentam H de 15 cm a 30 cm, DC de 2 mm a 3 mm (Araújo *et al*., 2018) e H/DC entre 5,4 e 8,1 (Carneiro, 1995).

A partir dos resultados apresentados na Tabela 3, verifica-se que, para atingir H padrão (25 cm) e DC padrão (2 mm), foram necessários 139 a 156 dias e 90 a 123 dias, respectivamente, dependendo do substrato utilizado. Com relação ao H/DC (8), o tempo variou de 71 a 83 dias. O substrato T4 - Pilar apresentou menor crescimento das mudas durante o período experimental, não sendo possível determinar o tempo necessário para atingir os padrões mínimos de H. Enquanto isso, T2 - Mecplant destacou-se em relação aos parâmetros de crescimento em H e H/DC; já em relação a DC, o destaque ficou com o substrato T1 - Carolina Soil.

Tabela 3 ▶
Determinação do tempo em dias para retirada das mudas de *Pinus taeda* L. do viveiro, de acordo com os índices de qualidade comerciais para os parâmetros de altura de parte aérea (H), diâmetro do coleto (DC) e quociente de robustez (H/DC).
Fonte: dados da pesquisa

Tratamento	H (=25 cm)	DC (=2 mm)	H/DC (=8)
T1 - Carolina Soil	146	90	78
T2 - Mecplant	139	106*	71
T3 - Rohrbacher	158	106*	77
T4 - Pilar	NA	123	83
T5 - 50% Amafibra + 50% Mecplant	156	106*	75

* Funções lineares. NA valor fora do intervalo da regressão determinado.
Fonte: dados da pesquisa

Para avaliar a qualidade das mudas nos diferentes substratos ao final do tempo de viveiro, foram comparadas, aos 210 dias, as médias dos parâmetros H, DC, H/DC, MSPA, MSR, MST e IQD (Tabela 4).

Tabela 4 ▶
Valores médios de altura de parte aérea (H), diâmetro do coleto (DC), índice de robustez (H/DC), massa seca da parte aérea (MSPA), massa seca da raiz (MSR), massa seca total (MST) e índice de qualidade de Dickson (IQD) para mudas de *Pinus taeda* L. aos 210 dias cultivadas em diferentes substratos comerciais (T1 - Carolina Soil, T2 - MecPlant, T3 - Rohrbacher, T4 - Pilar, T5 - 50% Amafibra + 50% Mecplant).
Fonte: dados da pesquisa

	H		DC		H/DC		MSPA		MSR		MST		IQD	
T1	26,52	ab	3,56	a	7,52	b	1,15	ab	0,63	a	1,78	ab	0,19	a
T2	28,98	a	3,29	a	8,85	a	1,33	a	0,58	ab	1,91	a	0,17	ab
T3	25,51	b	3,37	a	7,61	b	1,23	ab	0,66	a	1,88	a	0,20	a
T4	21,72	c	2,79	b	7,89	b	0,80	c	0,58	ab	1,38	c	0,15	b
T5	26,79	ab	3,48	a	7,73	b	1,04	b	0,49	b	1,53	bc	0,15	b

Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem pelo teste de Duncan a 5% de probabilidade.
Fonte: dados da pesquisa

Para estimar a sobrevivência e o crescimento inicial de mudas de diferentes espécies florestais no campo, são utilizados os parâmetros H, DC e H/DC das mudas (Davis; Jacobs, 2005; Gomes *et al*., 2002; Ivetić; Devetaković; Maksimović, 2016; Rose; Haase; Arellano, 2004). Novamente, constatou-se superioridade do substrato T2 - Mecplant para os parâmetros H e H/DC, com média de 28,98 cm e 8,85, respectivamente. Mais uma vez, o substrato T4 - Pilar exibiu o pior desempenho com relação a H e DC, atingindo apenas 21,72 cm e 2,79 mm, respectivamente.

Diante do exposto, considerando os padrões de qualidade de mudas utilizados no Brasil para o gênero *Pinus*, todos os substratos testados atingiram o padrão aos 210 dias,

CC BY
OPEN ACCESS

exceto T4 - Pilar (21,72 cm). Com relação ao DC, todos os substratos testados atingiram o padrão, enquanto o índice de robustez (H/DC) padrão foi atingido somente no substrato T2 - Mecplant.

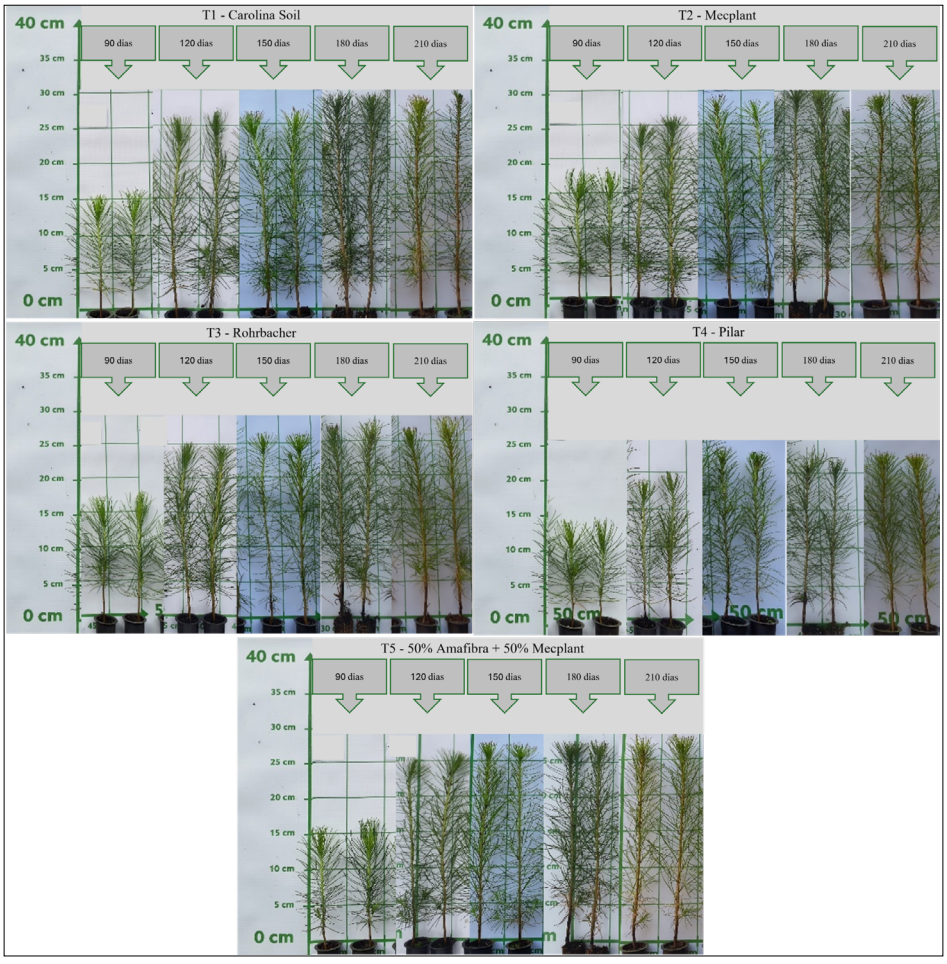
Outros parâmetros importantes para caracterizar a qualidade das mudas são a MSPA, a MSR e a MST (Araújo *et al*., 2018). Em relação à MSPA, destacou-se o substrato T2 - Mecplant, sendo semelhante ao T1 - Carolina Soil e ao T3 - Rohrbacher e diferindo de T4 - Pilar e T5 - 50% Amafibra + 50% Mecplant. O desempenho inferior de T4 e T5 também foi evidenciado para o parâmetro MSR. A MSPA é um indicador adequado da rusticidade das mudas, enquanto a MSR é um atributo que reflete sobrevivência e crescimento inicial das mudas no campo (Gomes; Paiva, 2011).

A MST é outro atributo que representa a qualidade das mudas, sendo que os maiores valores indicam superioridade da técnica de manejo adotada no viveiro (Araújo *et al*., 2018). Sendo assim, os substratos T4 - Pilar e T5 - 50% Amafibra + 50% Mecplant apresentaram comportamento inferior aos demais substratos, indicando que, na condição de manejo estudada, esses substratos não devem ser utilizados.

Segundo Marques *et al*. (2018), o valor mínimo de IQD recomendado para espécies florestais é 0,20, valor atingido pelas mudas aos 210 dias somente pelo substrato T3 - Rohrbacher, não diferindo estatisticamente de T1 - Carolina Soil (IQD = 0,19) e T2 - Mecplant (IQD = 0,17).

De modo geral, os substratos T1 - Carolina Soil, T2 - Mecplant e T3 - Rohrbacher apresentaram comportamentos semelhantes e superiores aos demais substratos – T4 - Pilar e T5 - 50% Amafibra + 50% Mecplant –, conforme Figura 3.

Figura 3 ▶
Crescimento de mudas de *Pinus taeda* L. durante o período entre 90 e 210 dias após a semeadura (DAS) cultivadas em diferentes substratos comerciais.
Fonte: arquivo dos autores



CC BY
OPEN ACCESS

A produção de mudas não é uma tarefa fácil: além da escolha do substrato, é necessário considerar diversos fatores, tais como tipo de recipiente, sistema de irrigação, nutrição, controle fitossanitário, material genético, condições edafoclimáticas, escala e custos de produção, entre outros. A análise econômica de produção de mudas é pouco frequente na literatura, pois deve considerar uma gama de fatores difíceis de dimensionar. Rocha *et al*. (2025), avaliando a composição do custo de produção de mudas de *P. taeda*, observaram que o custo total de produção deve considerar o substrato (custos com aquisição e adubação), mão de obra (contratação e manutenção de colaboradores, transporte de funcionários e aquisição de equipamentos de proteção individual – EPIs), sementes (aquisição) e outros (custos fixos de aluguel, depreciação, manutenção, outorga de uso da água, material de escritório e custos variáveis tais como encargos tributários).

Tabela 5 ▶
Custos dos diferentes substratos comerciais utilizados na produção de mudas de *Pinus taeda* L. adquiridos em 2023.
Fonte: dados da pesquisa

Embora não tenha sido um objetivo do trabalho, na Tabela 5 são apresentados os custos dos substratos comerciais utilizados, a fim de auxiliar na tomada de decisão sobre o melhor substrato, tendo em vista que a composição dos substratos interfere na qualidade da muda e no custo de produção. Ressalta-se que os valores mencionados na Tabela 5 estão relacionados à compra somente do insumo substrato, variando de 1.400 a 1.600 sacos, os quais foram adquiridos pelo viveiro FRP no ano de 2023, por meio de carga fechada; os valores estão apresentados sem correção monetária.

Tratamento	Unidade de comercialização	Custo por unidade de comercialização (R$)*	Custo do substrato por litro (R$)*	Custo do substrato por tubete de 55 cm³ (R$)*	Custo do substrato para produzir 1 milhão de mudas (R$)*
T1 - Carolina Soil	sacos de 45 L	22,50	0,50	0,0275	27.500,00
T2 - Mecplant	sacos de 45 L	16,00	0,35	0,0193	19.300,00
T3 - Rohrbacher	sacos de 50 L	16,20	0,32	0,0176	17.600,00
T4 - Pilar	sacos de 50 L	13,75	0,28	0,0154	15.400,00
T5 - 50% Amafibra + 50% Mecplant	saco de 100 L + saco de 50 L	54,00 + 22,50	0,51	0,0281	28.100,00

* Valores estimados no ano de 2023, sem correções monetárias.

Considerando apenas os custos apresentados na Tabela 5, o tratamento T3 - Rohrbacher apresentou o melhor desempenho com menor custo. Entretanto, a escolha do substrato deve ser multifatorial, buscando conciliar custo operacional e qualidade das mudas, garantindo maior eficiência na produção de mudas de *P. taeda*.

Este estudo fornecerá subsídios para a tomada de decisão sobre a escolha do substrato mais adequado para a espécie. Nesse cenário, é importante ressaltar que os resultados e recomendações obtidos e mencionados neste trabalho retratam um conjunto de técnicas adotadas em um determinado viveiro, com suas particularidades, sendo válidos apenas para essas condições de manejo.

4 Conclusão

De acordo com os resultados obtidos e nas condições em que foi desenvolvida esta pesquisa, conclui-se que os substratos comerciais apresentaram distintos comportamentos com relação ao crescimento de mudas de *P. taeda*, ao longo do tempo.

CC BY OPEN ACCESS

Com relação à altura de parte aérea (H = 25 cm), os substratos T1 - Carolina Soil, T2 - Mecplant, T3 - Rohrbacher e T5 - 50% Amafibra + 50% Mecplant atingiram os padrões estabelecidos no Brasil para a espécie aos 210 dias de cultivo. O padrão de diâmetro do coleto (DC = 2 mm) foi alcançado por todos os substratos aos 210 dias, e o quociente de robustez (H/DC = 8) somente foi atingido por T2 - Mecplant.

De modo geral, os substratos comerciais T1 - Carolina Soil, T2 - Mecplant e T3 - Rohrbacher apresentaram desempenho superior, produzindo mudas de alta qualidade. Entretanto, é importante ressaltar que a escolha do substrato deve ser feita com base nas necessidades específicas da espécie a ser produzida, considerando a qualidade do material, a disponibilidade e o custo.

Ainda existem lacunas a serem preenchidas, e, diante disso, sugere-se pesquisas futuras, relacionadas a análise econômica envolvendo todos os custos de produção de mudas.

Financiamento

Esta pesquisa não recebeu financiamento.

Conflito de interesses

Os autores declaram não haver conflito de interesses.

Contribuições ao artigo

BORCIONI, E.: concepção ou desenho do estudo/pesquisa; coleta, análise e/ou interpretação dos dados; supervisão geral e coordenação do projeto ou estudo. **FLORES, A. V.:** concepção ou desenho do estudo/pesquisa; coleta, análise e/ou interpretação dos dados; supervisão geral e coordenação do projeto ou estudo. **TACHEVISKI, I. M.:** concepção ou desenho do estudo/pesquisa; coleta, análise e/ou interpretação dos dados; revisão crítica, com participação intelectual significativa; supervisão geral e coordenação do projeto ou estudo. **MELO, R. C.:** coleta, análise e/ou interpretação dos dados; revisão crítica, com participação intelectual significativa; supervisão geral e coordenação do projeto ou estudo. Todos os autores participaram da escrita, discussão, leitura e aprovação da versão final do artigo.

Referências

ACR – ASSOCIAÇÃO CATARINENSE DE EMPRESAS FLORESTAIS. **Anuário Estatístico de Base Florestal para o estado de Santa Catarina**. Lages: ACR, 2022. Disponível em: https://acr.org.br/portfolio/titulo-anuario-estatistico-de-base-florestal-para-o-estado-de-santa-catarina-autor-associacao-catarinense-de-empresas-florestais-acr/. Acesso em: 12 maio 2025.

AGUIAR, A. V.; SOUSA, V. A.; SHIMIZU, J. Y. **Cultivo de pinus**. 2. ed. Colombo: Embrapa Florestas, 2014. 73 p. Disponível em: https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1155568/cultivo-de-pinus. Acesso em: 13 maio 2025.

CC BY OPEN ACCESS

ARAÚJO, M. M.; NAVROSKI, C. M.; SCHORN, L. A.; TIBALDI, L. A.; RORATO, D. G.; TURCHETTO, F.; ZAVISTANOVICZ, T. C.; BERGUETTI, A. L. P.; AIMI, S. C.; TONETTO, T. S.; GASPARIN, E.; KELLING, M. B.; ÁVILA, A. L.; DUTRA, A. F.; MEZZOMO, J. C.; GOMES, D. R.; GRIEBELER, A. M.; SILVA, M. R.; BARBOSA, F. M.; LIMA, M. S. Caracterização e análise de atributos morfológicos e fisiológicos indicadores da qualidade de mudas em viveiro florestal. *In*: ARAÚJO, M. M.; NAVROSKI, C. M.; SCHORN, L. A. (org.). **Produção de Sementes e Mudas**: um enfoque à Silvicultura. Santa Maria: Editora UFSM, 2018. p. 345-365.

BOENE, H. C. A. M.; NOGUEIRA, A. C.; SOUSA, N. J.; KRATZ, D.; SOUZA, P. V. D. Efeitos de diferentes substratos na produção de mudas de *Sebastiania commersoniana*. **Floresta**, Curitiba, v. 43, n. 3, p. 407-420, 2013. DOI: https://doi.org/10.5380/rf.v43i3.25789.

CARNEIRO, J. G. A. **Produção e controle de qualidade de mudas florestais**. Curitiba: UFPR/FUPEF; Campos: UENF, 1995. 451 p.

DAVIS, A. S.; JACOBS, D. F. Quantifying root system quality of nursery seedlings and relationship to outplanting performance. **New Forests**, [*s. l.*], v. 30, p. 295-311, 2005. DOI: https://doi.org/10.1007/s11056-005-7480-y.

DELARMELINA, W. M.; CALDEIRA, M. V. W.; FARIA, J. C.T.; GONÇALVES, E. O. Uso de lodo de esgoto e resíduos orgânicos no crescimento de mudas de *Sesbania virgata* (Cav.) Pers. **Revista Agro@mbiente Online**, Boa Vista, v. 7, n. 2, p. 184-192, 2013. DOI: https://doi.org/10.18227/1982-8470ragro.v7i2.888.

DICKSON, A.; LEAF, A. L.; HOSNER, J. F. Quality appraisal of white spruce and white pine seedling stock in nurseries. **Forestry Chronicle**, Mattawa, v. 36, n. 8, p. 10-13, 1960. Disponível em: https://pubs.cif-ifc.org/doi/pdf/10.5558/tfc36010-1. Acesso em: 10 out. 2024.

DUTRA, T. R.; GRAZZIOTTI, P. H.; SANTANA, R. C.; MASSAD, M. D. Desenvolvimento inicial de mudas de copaíba sob diferentes níveis de sombreamento e substratos. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 43, n. 2, p. 321-329, 2012. DOI: https://doi.org/10.1590/S1806-66902012000200015.

EMBRAPA – EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Atlas climático da Região Sul do Brasil**: estados do Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul. 2. ed. Pelotas: Embrapa Clima Temperado; Colombo: Embrapa Florestas, 2012. 333 p. Disponível em: https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/handle/doc/1045852. Acesso em: 19 jun. 2025.

EMBRAPA – EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Informações técnicas sobre substratos utilizados na produção de mudas de hortaliças**. Brasília, DF: Embrapa Hortaliças, 2020. (Documentos, 180). Disponível em: https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1125796/1/DOC-180-18-set-2020.pdf. Acesso em: 19 jun. 2025.

GOMES, J. B. V.; BOGNOLA, I. A.; STOLLE, L.; SANTOS, P. E. T.; MAEDA, S.; SILVA, L. T. M.; BELLOTE, A. F. J.; ANDRADE, G. C. Unidades de manejo para pinus: desenvolvimento e aplicação de metodologia em áreas de produção no oeste

CC BY
OPEN ACCESS

catarinense. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 44, n. 109, p. 191-204, 2016. DOI: https://dx.doi.org/10.18671/scifor.v44n109.19.

GOMES, J. M.; COUTO, L.; LEITE, H. G.; XAVIER, A.; GARCIA, S. L. R. Parâmetros morfológicos na avaliação da qualidade de mudas de *Eucalyptus grandis*. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 26, n. 6, p. 655-664, 2002. DOI: https://doi.org/10.1590/S0100-67622002000600002.

GOMES, J. M.; PAIVA, H. N. **Viveiros florestais**: propagação sexuada. Viçosa: Editora UFV, 2011. 116 p.

GONZÁLEZ-OROZCO, M. M.; PRIETO-RUÍZ, J. Á.; ALDRETE, A.; HERNÁNDEZ-DÍAZ, J. C.; CHÁVEZ-SIMENTAL, J. A.; RODRÍGUEZ-LAGUNA, R. Nursery production of *Pinus engelmannii* Carr. with substrates based on fresh sawdust. **Forests**, [*s. l.*], v. 9, n. 11, 678, 2018. DOI: https://doi.org/10.3390/f9110678.

IBÁ – INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES. **Relatório Anual 2024**. São Paulo: IBÁ, 2024. Disponível em: https://iba.org/wp-content/uploads/2025/05/relatorio2024.pdf. Acesso em: 27 jan. 2026.

IVETIĆ, V.; DEVETAKOVIĆ, J.; MAKSIMOVIĆ, Z. Initial height and diameter are equally related to survival and growth of hardwood seedlings in first year after field planting. **Reforesta**, [*s. l.*], v. 1, n. 2, p. 6-21, 2016. DOI: http://dx.doi.org/10.21750/REFOR.2.02.17.

MADRID-AISPURO, R. E.; PRIETO-RUÍZ, J. Á.; ALDRETE, A.; HERNÁNDEZ-DÍAZ, J. C.; WEHENKEL, C.; CHÁVEZ-SIMENTAL, J. A.; MEXAL, J. G. Alternative substrates and fertilization doses in the production of *Pinus cembroides* Zucc. in nursery. **Forests**, [*s. l.*], v. 11, n. 1, 71, 2020. DOI: http://dx.doi.org/10.3390/f11010071.

MAEDA, S.; DEDECEK, R. A.; AGOSTINI, R. B.; ANDRADE, G. C.; SILVA, H. D. Caracterização de substratos para produção de mudas de espécies florestais elaborados a partir de resíduos orgânicos. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, n. 54, p. 97-104, 2007. Disponível em: https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/314117/1/PFB54p97104.pdf. Acesso em: 19 jun. 2025.

MARQUES, A. R. F.; DELOSS, A. M.; OLIVEIRA, V. S.; BOLIGON, A. A.; VESTENA, S. Produção e qualidade de mudas de *Eugenia uniflora* L. em diferentes substratos. **Ambiência**, Guarapuava, v. 14, n. 1, p. 44-56, 2018. DOI: http://dx.doi.org/10.5935/ambiencia.2018.04.01.

PEZZUTTI, R. V.; CALDATO, S. L. Sobrevivência e crescimento inicial de mudas de *Pinus taeda* L. com diferentes diâmetros do colo. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 21, n. 2, p. 355-362, 2011. DOI: https://doi.org/10.5902/198050983240.

R CORE TEAM. **R**: A Language and Environment for Statistical Computing. Vienna: R Foundation for Statistical Computing, 2025. Disponível em: https://cran.r-project.org/doc/manuals/r-release/fullrefman.pdf. Acesso em: 27 jan. 2026.

ROCHA, G. N.; MADASCHI, L.; GONZAGA, A. M.; FLORES, A. V.; HAKAMADA, R. E. Influência do substrato na composição do custo de produção e

CC BY OPEN ACCESS

qualidade de mudas de *Pinus taeda* L. em viveiro florestal. **Scientia Forestalis**, Lavras, v. 53, e4098, 2025. DOI: https://doi.org/10.18671/scifor.v53.03.

ROSE, R.; HAASE, D. L.; ARELLANO, E. Controlled-release fertilizers: potential for enhanced reforestation productivity. **Bosque**, [*s. l.*], v. 25, n. 2, p. 89-100, 2004. DOI: https://doi.org/10.4067/s0717-92002004000200009.

SHIMIZU, J.; AGUIAR, A.; OLIVEIRA, E. B.; MENDES, C.; MURARA JUNIOR, M. Esforço cooperativo para suporte à silvicultura de pinus no Brasil. *In*: ENCONTRO BRASILEIRO DE SILVICULTURA, 4., 2018, Ribeirão Preto. **Anais** [...]. Brasília, DF: Embrapa, 2018. p. 209-211. Disponível em: https://expoforest.com.br/wp-content/uploads/2018/06/4%C2%BA-Encontro-Brasileiro-de-Silvicultura.pdf. Acesso em: 27 jan. 2026.

SILVA, R. F.; EITELWEIN, M. T.; CHERUBIN, M. R.; FABBRIS, C.; WEIRICH, S.; PINHEIRO, R. R. Produção de mudas de *Eucalyptus grandis* em substratos orgânicos alternativos. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 24, n. 3, p. 609-619, 2014. Disponível em: https://www.scielo.br/j/cflo/a/gyZ9T8L8w8mdFgvkKrMJSQS/. Acesso em: 27 jan. 2026.

SILVA, R. F.; MARCO, R.; ROS, C. O.; ALMEIDA, H. S.; ANTONIOLLI, Z. I. Influência de diferentes concentrações de vermicomposto no desenvolvimento de mudas de eucalipto e pinus. **Floresta e Ambiente**, Rio de Janeiro, v. 24, e20160269, 2017. DOI: http://dx.doi.org/10.1590/2179-8087.026916.

VALENZUELA, O. R.; GALLARDO, C. S.; CARPONI, M. S.; ARANGUREN, M. E.; TABARES, H. R.; BARRERA, M. C. Manejo de las propiedades físicas en sustratos regionales para el cultivo de plantas en contenedores. **Ciencia, Docencia y Tecnología – Suplemento**, [*s. l.*], v. 4, n. 4, p. 1-19, 2014. Disponível em: https://pcient.uner.edu.ar/index.php/Scdyt/article/view/34. Acesso em: 19 jun. 2025.

VELÁZQUEZ, M. V. B.; LÓPEZ, M. Á. L.; ALCALÁ, V. M. C.; DIAKITE, L. Substrates and nutrient addition rates affect morphology and physiology of *Pinus leiophylla* seedlings in the nursery stage. **iForest – Biogeosciences and Forestry**, [*s. l.*], v. 10, n. 1, p. 115-120, 2016. DOI: https://doi.org/10.3832/ifor1982-009.

WENDLING, I.; DUTRA, L. F.; GROSSI, F. **Produção de mudas de espécies lenhosas**. Colombo: Embrapa Florestas, 2006. 55 p. Disponível em: https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/314506. Acesso em: 10 out. 2024.

WILSEN NETO, A.; BOTREL, M. C. G. Doses de fertilizante de liberação lenta na produção de mudas de pinus. **Agrarian**, Dourados, v. 2, n. 3, p. 65-72, 2009. Disponível em: https://ojs.ufgd.edu.br/agrarian/article/view/419. Acesso em: 19 jun. 2025.

CC BY
OPEN ACCESS