



PEDRO MACHADO NETO

**POTENCIAIS ESPÉCIES ARBÓREAS NATIVAS PARA USO
EM BIOENGENHARIA DE SOLOS**

**LAVRAS - MG
2023**

PEDRO MACHADO NETO

**POTENCIAIS ESPÉCIES ARBÓREAS NATIVAS PARA USO
EM BIOENGENHARIA DE SOLOS**

Monografia apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Curso de Engenharia Florestal, para a obtenção do título de Bacharel.

Profa. Dra. Soraya Alvarenga Botelho

**LAVRAS - MG
2023**

PEDRO MACHADO NETO

**POTENCIAIS ESPÉCIES ARBÓREAS NATIVAS PARA USO EM
BIOENGENHARIA DE SOLOS
POTENTIAL NATIVE TREE SPECIES FOR USE IN SOIL BIOENGINEERING**

Monografia apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Curso de Engenharia Florestal, para obtenção do título de Bacharel.

APROVADA em 15 de junho de 2023.

Dra. Soraya Alvarenga Botelho - DCF - ESAL - UFLA

Me Matheus Santos Luz - DCF - ESAL - UFLA

Me Lucas Rafael de Souza - DCF - ESAL - UFLA

Prof^ª. Dra. Soraya Alvarenga Botelho

Orientadora

LAVRAS - MG

2023

AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal de Lavras, especialmente ao Departamento de Ciências Florestais, pela oportunidade e apoio.

A professora Soraya, pela orientação sempre motivada e disposta a ajudar.

A todos os funcionários do DCF/UFLA, especialmente aos do Laboratório de Silvicultura e Restauração Florestal - LASERF, por disponibilizar materiais, orientar e acompanhar nas coletas.

Aos meus pais, Ivanilda e José pelo amor, apoio incondicional e por incentivarem e sonharem comigo em todos estes anos.

Aos amigos que participaram de cada etapa dessa jornada e a tornaram mais leve e feliz. Especialmente a Vanessa, pelo companheirismo nos mais diversos momentos bons e ruins.

MUITO OBRIGADO!

RESUMO

Em determinados projetos de recuperação de áreas degradadas, são requeridas técnicas para estabilizar encostas, margens de rios, taludes, barrancos e outras áreas similares. Nessas circunstâncias, além das abordagens que promovem a regeneração natural, regeneração artificial, enriquecimento e/ou adensamento das espécies vegetais, são necessárias técnicas de engenharia destinadas a estabilizar o solo para controlar a erosão e permitir o desenvolvimento de um novo ecossistema. Nesses casos, as técnicas de Bioengenharia de solos, também conhecidas como Engenharia Natural, são aplicáveis. Neste estudo, objetivou-se estudar o potencial de enraizamento de estacas lenhosas de 4 espécies florestais nativas - *Salix humboldtiana*, *Schinus terebinthifolia*, *Sebastiania schottiana* e *Sesbania virgata* - a fim de ampliar o rol de espécies nativas úteis na bioengenharia de solos. Estacas de cada espécie foram selecionadas em 3 diferentes classes de diâmetros com 2 classes de comprimentos diferentes (6 tratamentos). Cada tratamento foi implantado em 8 vasos com 4 estacas em cada, resultando em 32 repetições, sendo 16 estacas avaliadas após 60 dias e 16 após 120 dias. Foram verificados: o número de estacas com brotações (que emitiram pelo menos um broto) e o número de estacas enraizadas (que emitiram pelo menos uma raiz); número de brotos e de raízes por estaca; comprimento do maior broto e da maior raiz por estaca (cm), massa seca dos brotos e das raízes por estaca (g) e cada estaca recebeu uma nota qualitativa de 1 a 6. As espécies *Salix humboldtiana* e *Sesbania virgata* mostraram promissor potencial em projetos de bioengenharia de solos. A espécie *Salix humboldtiana* pode ser facilmente propagada por meio de estacas em todas as classes de diâmetro testadas, com um comprimento variando de 44 a 64 cm. Já as estacas de *Sesbania virgata* demonstraram potencial em uma faixa de diâmetro entre 38 e 50 mm, com comprimento entre 51 e 70 cm. Por outro lado, as estacas de *Schinus terebinthifolia* apresentaram boa taxa de enraizamento apenas com classe de diâmetro de 31 a 43 mm e comprimento de 27 a 35,9 cm; e a espécie *Sebastiania schottiana* não apresentou capacidade de enraizamento durante os testes realizados, com os tecidos e condições avaliados.

Palavras-chave: Propagação vegetativa, estaquia, engenharia natural, recuperação de áreas degradadas, taludes.

ABSTRACT

In certain degraded area recovery projects, techniques are required to stabilize slopes, riverbanks, embankments, ravines and other similar areas. In these circumstances, in addition to approaches that promote natural regeneration, artificial regeneration, enrichment and/or densification of plant species, engineering techniques aimed at stabilizing the soil are required to control erosion and allow the development of a new ecosystem. In such cases, Bioengineering soil techniques, also known as Natural Engineering, are applicable. In this study, the rooting potential of woody cuttings from 4 native forest species - *Salix humboldtiana*, *Schinus terebinthifolia*, *Sebastiania schottiana* and *Sesbania virgata* - was studied in order to expand the list of native species useful in soil bioengineering. Cuttings from each species were selected in 3 different diameter classes with 2 different length classes (6 treatments). Each treatment was deployed in 8 pots with 4 cuttings in each, resulting in 32 replicates, with 16 cuttings evaluated after 60 days and 16 after 120 days. The number of budded cuttings (with at least one bud) and the number of rooted cuttings (with at least one root), number of buds and roots per cutting, length of the largest bud and root per cutting (cm), dry mass of buds and roots per cutting (g) were verified and each cutting received a qualitative score from 1 to 6. The species *Salix humboldtiana* and *Sesbania virgata* have shown promising potential in soil bioengineering projects. *Salix humboldtiana* can be easily propagated by cuttings in all diameter classes tested, with a length ranging from 44 to 64 cm. *Sesbania virgata* cuttings showed potential in a diameter range between 38 and 50 mm, with a length between 51 and 70 cm. On the other hand, *Schinus terebinthifolia* cuttings showed good rooting rates only with diameter classes of 31 to 43 mm and lengths of 27 to 35.9 cm; and the species *Sebastiania schottiana* did not show rooting capacity during the tests performed, with the tissues and conditions evaluated.

Keywords: vegetative propagation, cuttings, natural engineering, recovery of degraded areas, slopes.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	8
2	REFERENCIAL TEÓRICO	9
2.1	Recuperação de Áreas Degradadas.....	10
2.2	Bioengenharia de solos ou engenharia natural na recuperação de áreas degradadas.....	11
2.3	Características das espécies utilizadas.....	13
2.4	Algumas espécies já estudadas	14
2.5	Espécies avaliadas neste estudo	15
2.5.1	<i>Salix humboldtiana</i>	15
2.5.2	<i>Schinus terebinthifolia</i>	15
2.5.3	<i>Sebastiania schottiana</i>	16
2.5.4	<i>Sesbania virgata</i>	16
2.6	Propagação vegetativa por estaquia	17
3	MATERIAIS E MÉTODOS	18
3.1	Seleção das espécies	18
3.2	Coleta dos materiais	20
3.3	Delimitação do experimento	21
3.4	Implantação do experimento	22
3.5	Coleta de dados	23
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES	25
4.1	<i>Salix humboldtiana</i>.....	25
4.1.1	Número de brotos	26
4.1.2	Comprimento do maior broto	27
4.1.3	Massa seca dos brotos	28
4.1.4	Número de raízes	29
4.1.5	Comprimento da maior raiz.....	30

4.1.6	Massa seca das raízes	32
4.1.7	Nota final da estaca.....	34
4.2	<i>Schinus terebinthifolia</i>	37
4.2.1	Número de brotos	37
4.2.2	Comprimento do maior broto	38
4.2.3	Massa seca dos brotos	39
4.2.4	Número de raízes	41
4.2.5	Comprimento da maior raiz.....	42
4.2.6	Massa seca das raízes	42
4.2.7	Nota qualitativa	43
4.3	<i>Sesbania virgata</i>.....	47
4.3.1	Número de brotos	47
4.3.2	Comprimento do maior broto	48
4.3.3	Massa seca dos brotos	49
4.3.4	Número de raízes	51
4.3.5	Comprimento da maior raiz.....	52
4.3.6	Massa seca das raízes	53
4.3.7	Nota qualitativa	55
5	CONCLUSÃO.....	59
	REFERÊNCIAS	61

1 INTRODUÇÃO

Na primeira aula da disciplina Recuperação de Ecossistemas Florestais Degradados do curso de Engenharia Florestal na Universidade Federal de Lavras, foram mostradas fotografias de diversos ambientes erodidos, como cavas de mineração e taludes. Ali surge a empolgação em entender como "consertar" aquele ambiente e imediatamente surge a ideia de fazer meu trabalho de conclusão de curso com esse tema, o que se concretizou ainda mais nas aulas de bioengenharia de solos.

Alguns projetos de recuperação de áreas degradadas demandam técnicas para a estabilização de encostas, beiras de rios, taludes, barrancos, dentre outros. Nestas situações, além das técnicas de indução ou condução da regeneração natural, regeneração artificial, enriquecimento e/ou adensamento das espécies vegetais, são necessárias técnicas de engenharia destinadas à estabilização do solo para contenção de erosão e que estes sejam capazes de suportar o desenvolvimento de um novo ecossistema. As técnicas de Bioengenharia de solos, também chamadas de Engenharia Natural, se enquadram nestas situações.

Segundo Sutili e Durlo (2014) a bioengenharia consiste em utilizar plantas, ou partes delas, como materiais vivos para construção. Essas plantas, seja isoladamente ou em combinação com materiais inertes, têm como objetivo proporcionar estabilidade às áreas em processo de tratamento. Nestas técnicas a combinação de plantas com materiais inertes, como madeira, pedras, mantas geotexteis dentre outros, é o que irá proporcionar a reconstrução de um novo ecossistema no local. Como o papel desempenhado pelas plantas é fundamental para o sucesso do projeto, é importante então, abordar a vegetação sob o ponto de vista técnico, isto é, como ferramenta e fonte de material construtivo para a estabilização e controle dos projetos de controle erosivos.

Sutili e Durlo (2014), principais pesquisadores sobre o assunto no Brasil, mostram que a escolha do material vegetal constitui uma das etapas mais importantes nos projetos e deve-se considerar, ainda, o tipo de solução construtiva empregada. Deve-se utilizar espécies autóctones (originárias do local onde se pretende intervir), pois apresenta vantagens, como adaptação edafoclimática à sua região de origem, baixo custo de implantação, são mais resistentes a pragas e doenças, exigem pouca manutenção, ajudam a manter o equilíbrio biológico da paisagem e a diversidade dos recursos genéticos, constituem locais de refúgio,

reprodução e muitas vezes fornecem alimento para a fauna local, gerando um habitat equilibrado e repleto de biodiversidade.

Os mesmos autores salientam que os efeitos da vegetação sobre os taludes fluviais (e outros) nem sempre são benéficos. Assim, para obter os efeitos de estabilização e proteção desejados, é preciso escolher as espécies aptas para cada situação específica e empregar os métodos adequados de plantio. Estudos para seleção de espécies locais com características necessárias para serem consideradas aptas para projetos de bioengenharia de solos no Brasil ainda são incipientes, portanto, há um grande campo para pesquisas. Na maioria das vezes há informações somente de espécies exóticas aos ambientes dos projetos.

Visto a importância da pesquisa com plantas, visando à recuperação e estabilização de processos erosivos em projetos de recuperação de áreas degradadas o presente estudo tem como objeto estudar espécies arbóreas potenciais para uso em bioengenharia de solos com características morfológicas, como desenvolvimento de raízes e brotos que apresentam funções técnicas para o mesmo.

O objetivo geral deste trabalho é selecionar espécies nativas potenciais para uso na bioengenharia de solos.

E os objetivos específicos são:

1. identificar algumas espécies que possuem as características necessárias para serem consideradas como possíveis ferramentas biotécnicas na estabilização de taludes fluviais.
2. testar as características de enraizamento, brotação e sobrevivência destas espécies.

Nossa hipótese é que as espécies *Salix humboldtiana* Willd., *Schinus terebinthifolia* Raddi, *Sebastiania schottiana* (Müll.Arg.) Müll.Arg. e *Sesbania virgata* (Cav.) Poir. possuem características adequadas para uso na estabilização de taludes fluviais.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

O desenvolvimento e crescimento populacional estão intrinsecamente relacionados ao uso do ambiente natural. A alteração de ecossistemas pode estar relacionada a vários fatores naturais e antrópicos como a extremos climáticos e o uso da terra. A crescente conversão de ambientes naturais em áreas ocupadas por atividades humanas têm desencadeado poluição,

fragmentação de habitats, perda de espécies e a degradação ambiental, que se tornou um dos principais problemas a serem enfrentados.

2.1 Recuperação de Áreas Degradadas

“Diz-se que um ambiente está degradado quando sofre distúrbios que impedem a sua capacidade de retornar ao equilíbrio original” (MOREIRA, 2017). Na legislação brasileira, o Decreto n° 7.830, 17 – 10 – 2012 define área degradada como área que se encontra alterada em função de impacto antrópico, sem capacidade de regeneração natural e área alterada, como área que após o impacto ainda mantém capacidade de regeneração natural.

Segundo o Ministério do Meio Ambiente (2023) a recuperação de áreas degradadas está intimamente ligada à ciência da restauração ecológica, que é o processo de auxílio ao restabelecimento de um ecossistema que foi degradado, danificado ou destruído”. Ainda segundo o Ministério do Meio Ambiente (2023), um ecossistema é considerado recuperado – e restaurado – quando contém recursos bióticos e abióticos suficientes para continuar seu desenvolvimento sem auxílio ou subsídios adicionais.

A recuperação de áreas degradadas encontra respaldo na Constituição Federal de 1988, em seu art. 225.

Art. 225. Todos têm direito ao meio ambiente ecologicamente equilibrado, bem de uso comum do povo e essencial à sadia qualidade de vida, impondo-se ao Poder Público e à coletividade o dever de defendê-lo e preservá-lo para as presentes e futuras gerações.

§ 1º - Para assegurar a efetividade desse direito, incumbe ao Poder Público:

I - Preservar e restaurar os processos ecológicos essenciais e prover o manejo ecológico das espécies e ecossistemas;

[...]

§ 2º - Aquele que explorar recursos minerais fica obrigado a recuperar o meio ambiente degradado, de acordo com solução técnica exigida pelo órgão público competente, na forma da lei. (REPÚBLICA FEDERATIVA DO BRASIL, 1998)

A Lei n° 6.938, de 31 de agosto de 1981, que dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, também menciona sobre o mesmo no Art 2º.

Art 2º - A Política Nacional do Meio Ambiente tem por objetivo a preservação, melhoria e recuperação da qualidade ambiental propícia à vida, visando assegurar, no País, condições ao desenvolvimento socioeconômico, aos interesses da segurança nacional e à proteção da dignidade da vida humana, atendidos os seguintes princípios:

[...]

VIII - recuperação de áreas degradadas

[...]

Art 4º - A Política Nacional do Meio Ambiente visará:

[...]

VI - À preservação e restauração dos recursos ambientais com vistas à sua utilização racional e disponibilidade permanente, concorrendo para a manutenção do equilíbrio ecológico propício à vida. (REPÚBLICA FEDERATIVA DO BRASIL, 1981).

E é orientada ainda por mais leis federais como a Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012 (novo código florestal) que dispõe sobre a proteção da vegetação nativa; o Decreto nº 7.830 de 17 de outubro de 2012 e o Decreto nº 8.235 de 05 de maio de 2014, que estabelecem normas gerais para os programas de regularização ambiental no cadastro Ambiental Rural – CAR.

2.2 Bioengenharia de solos ou engenharia natural na recuperação de áreas degradadas

Em algumas situações, como taludes, erosões em barrancos e margens de rios, voçorocas e mineração, é necessário o uso de técnicas de bioengenharia de solos, também chamada de engenharia natural ou bioengenharia.

Eubanks e Meadows (2006) informam que as técnicas de bioengenharia, combinam os elementos naturais presentes no local, como rochas, solo, árvores e outras vegetações nativas, para criar uma mistura complexa de materiais que fortalecem as margens. Quando a vegetação tenha se estabelecido e a necessidade de manutenção seja significativamente reduzida ou eliminada por completo, as margens dos lagos e cursos de água estão estabilizadas

Segundo Sutili (2014) a Engenharia Natural pode ser aplicada em obras de terra, especificamente na estabilização de taludes (naturais e de corte, de encostas e fluviais), no controle de processos erosivos superficiais e subsuperficiais, na recuperação de áreas degradadas e na estabilização da condição hidráulica de canais abertos (naturais ou artificiais, de escoamento fluvial ou pluvial).

Os projetos da bioengenharia têm a intenção de acelerar a recuperação do local atingido por meio da imitação ou aceleração do que está acontecendo naturalmente” (ARAÚJO, G. H. de S.; ALMEIDA, J. R. de; GUERRA, A. J. T, 2011). As plantas, seja isoladamente ou em combinação com materiais inertes, têm a finalidade de fornecer estabilidade às áreas em processo de tratamento.

De acordo com Schiechtl, H. (1980) apud Sutili; Durlo (2013) é definida como um subdomínio da Engenharia que tem objetivos técnicos, ecológicos, criativos, construtivos e econômicos, recorrendo principalmente à utilização de materiais construtivos vivos, como sementes, plantas, partes de plantas e associações vegetais. Pode ser utilizada como substituto, mas principalmente como complemento útil e por vezes necessárias às técnicas clássicas de Engenharia Civil.

Brasil (2003) apud Sutili e Durlo (2014, relatam que o uso de métodos de Engenharia Natural remonta ao século XII, quando, na China, já eram empregados feixes de galhos vivos para estabilizar taludes. No século XX, técnicas semelhantes foram adotadas na China para controlar enchentes e erosões no Rio Amarelo. Na Europa, especialmente na Alemanha, métodos de Engenharia Natural têm sido utilizados há 150 anos. Nos Estados Unidos, os trabalhos começaram na década de 1920, com a estabilização de erosões em margens de rios e taludes rodoviários. No entanto, após a Segunda Guerra Mundial, com o aumento do uso de equipamentos para movimentação de terra e o surgimento de técnicas estruturais para estabilização de erosões, as práticas de Engenharia Natural foram gradualmente abandonadas.

As técnicas de bioengenharia de solos podem ser agrupadas em quatro categorias distintas, conforme Schiechtl e Stern (1996) apud Schmeier (2013) descrevem:

Técnicas de proteção do solo: Essas técnicas têm como objetivo proteger o solo de maneira rápida, controlando a erosão superficial e prevenindo sua degradação imediata. Elas melhoram a retenção da água no solo e promovem a atividade biológica. Exemplos dessas técnicas incluem o uso de biomantas (geotêxteis) antierosivas fabricadas com fibras vegetais ou sintéticas, além de esteiras vivas, tranças e leivas.

Técnicas de estabilização de solos: Essas técnicas são projetadas para reduzir ou eliminar problemas relacionados às forças mecânicas que atuam no solo. Elas estabilizam e fortalecem taludes suscetíveis a deslizamentos através da penetração de raízes, diminuindo a pressão exercida pelo solo por meio da transpiração das plantas e melhorando a drenagem. Geralmente, essas técnicas são complementadas por medidas de proteção do solo para evitar a erosão. Exemplos dessas técnicas incluem feixes vivos, estacas e banquetas vegetadas.

Técnicas de construção combinadas: Essas técnicas envolvem a combinação do uso de plantas vivas com materiais inertes, como pedras, concreto, aço e plástico, com o objetivo de

estabilizar taludes instáveis. Isso aumenta a eficiência e a vida útil das medidas aplicadas. Exemplos dessas técnicas incluem a parede krainer e o enrocamento vivo.

Técnicas de construção complementares: Essas técnicas englobam a semeadura e o plantio de vegetação e visam facilitar a transição do estágio de construção para o projeto completo. Essas técnicas são implementadas para estabelecer uma cobertura vegetal adequada e promover a recuperação ambiental do local.

Em resumo, as técnicas de bioengenharia de solos são uma abordagem integrada que combina elementos vegetais e construtivos para proteger, estabilizar e promover a recuperação de áreas afetadas, garantindo a sustentabilidade e a longevidade das medidas adotadas.

2.3 Características das espécies utilizadas

O sucesso dos projetos de bioengenharia depende da escolha adequada das espécies, pois elas possuem funções técnicas. Segundo Sousa e Sutili (2013) as principais funções técnicas desempenhadas pelas plantas são hidrológicas e mecânicas. As plantas ainda podem desempenhar funções estéticas, socioeconômicas e ambientais. De acordo com Eubanks e Meadows (2006), é importante considerar o tipo de solo e o microclima ao decidir se as plantas vivas irão sobreviver ou não, pois as condições climáticas locais desempenham um papel fundamental ao determinar o momento adequado para o plantio.

Dentre as funções hidrológicas, encontra-se a interceptação, evapotranspiração, infiltração e drenagem da água da chuva. Coppin e Richards, Morgan e Rickson e Venti et al. apud Sousa e Sutili (2013) descrevem que a presença de vegetação, aumenta a resistência do solo pela redução do teor de umidade, reduz o peso da massa de solo através da evapotranspiração, absorvem a energia da chuva prevenindo a desagregação das partículas de solo pelo impacto das gotas. A redução de peso pode ser muito importante em taludes vegetados onde o solo poderá estar potencialmente instável. Para isso, deve-se optar por plantas perenes, arbustivas ou arbóreas com copas densas e bem ramificadas e altos índices de área foliar ou plantas herbáceas e gramíneas que também são eficientes.

Quanto às funções mecânicas, os mesmos, informam que à presença de raízes melhora as propriedades de resistência da massa de solo, resistência ao cisalhamento do solo, melhora a força de confinamento, resistência ao deslizamento, acréscimo da coesão no solo, promove a ancoragem, o arqueamento e escoramento do solo; funcionando como fibras de alta

resistência à tração. No entanto, o crescimento de raízes em solos rochosos pode provocar a formação de fendas e descontinuidades, criando um efeito de cunha, reduzindo a resistência do solo. Para estruturar o solo sugerem, de forma geral, a escolha de plantas com sistemas radiculares densos e bem desenvolvidos. Mais especificamente, para confinar o solo devemos optar por plantas com maior percentagem de raízes finas, de modo a evitar a erosão superficial. Para solicitações hidráulicas em cursos de água, sistemas radiculares orientados lateralmente são mais eficientes. Raízes profundas, no entanto, são mais eficientes na ação de ancoragem, arqueamento e escoramento das camadas de solo, evitando movimentos de massa.

A forma com que são feitas as coletas do material destas espécies também é importante. Eubaks e Meadows (2006) compartilham algumas dicas para coletar estes materiais adequadamente, dentre elas:

Recolher materiais vegetais e sementes na mesma bacia hidrográfica ou bacia de drenagem local, preferencialmente em uma elevação semelhante à do local do projeto. É importante incluir materiais e sementes de plantas nativas e não nativas de diferentes grupos genéticos. Realizar o corte das plantas quando elas estiverem em estado de dormência. Plantar as estacas no mesmo dia ou dentro de 2 dias após a coleta, preferencialmente armazenando-as em água ou em solo úmido em uma área sombreada para evitar a desidratação. Registrar a localização da coleta do material vegetal, a vitalidade do material e sua taxa de sobrevivência. Transplantar imediatamente as plantas herbáceas de bancos próximos, tendo cuidado para não coletar muitas plantas de um único local.

Essas dicas visam garantir uma coleta adequada dos materiais vegetais, preservando sua vitalidade.

2.4 Algumas espécies já estudadas

Em estudos realizados por Pallone; Todd (1997), afirmam que os salgueiros são mais eficazes que a maioria das espécies para aplicações biotécnicas, as espécies *Salix interior*, *Salix nigra*, *Salix purpurea* e *Salix cotteri* foram avaliadas quanto à tolerância ao sombreamento, a seca, a inundação e a deposição, todas as espécies apresentaram alta tolerância à inundação e a deposição e baixa tolerância ao sombreamento.

Para Sutili, Durlo e Bressan (2010), *Salix viminalis* e *Phyllanthus sellowianus* demonstram potencial para serem utilizadas na revegetação das margens de cursos de água. E segundo Durlo & Sutili (2005) apud Santos (2009) as espécies *Calliandra brevipes*,

Calliandra twendii, *Phyllanthus sellowianus*, *Pouteria salicifolia*, *Salix humboldtiana*, *Sebastiania schottiana* e *Terminalia australis* são aparentemente potenciais.

2.5 Espécies avaliadas neste estudo

Para o experimento foram selecionadas as seguintes espécies.

2.5.1 *Salix humboldtiana*

Salix humboldtiana, conhecida popularmente como salgueiro, é uma espécie de árvore pertencente à família Salicaceae. Nativa das regiões tropicais e subtropicais da América do Sul, essa espécie é encontrada em diversos países, incluindo Brasil, Argentina, Bolívia, Chile, Colômbia, Equador, Uruguai e Paraguai (CARVALHO, 2003).

As espécies de *Salix* são árvores de até 25 metros com folhas alongadas e estreitas, com margens serrilhadas, que apresentam uma tonalidade verde-clara. Suas flores são pequenas e reunidas em inflorescências. Os frutos são pequenas cápsulas que contêm as sementes (BRASIL, 2015).

“Uma característica marcante do salgueiro é sua alta tolerância à água, sendo frequentemente encontrada próximo a cursos d'água, pântanos e áreas alagadas. Além disso, essa espécie é conhecida por sua rápida taxa de crescimento” (PORTAL SÃO FRANCISCO, 2023).

O salgueiro tem sido utilizado em diversas aplicações, como na produção de lenha, na construção de móveis rústicos e na fabricação de papel (CNCFLORA, 2023). Além disso, seus ramos são utilizados na medicina popular devido às propriedades medicinais, especialmente como anti-inflamatório (BRASIL, 2015).

2.5.2 *Schinus terebinthifolia*.

Schinus terebinthifolia, conhecida como Pimenta rosa, é uma espécie de árvore da família Anacardiaceae. Nativa da América do Sul, especialmente do Brasil. Possui folhas compostas e perenes, com folíolos ovais e brilhantes, e casca de tronco rugosa de cor acinzentada. Suas flores são pequenas, agrupadas em inflorescências densas e vistosas, que podem variar em tons de branco a rosa pálido. Os frutos são drupas globosas de cor vermelha e sabor levemente adocicado, conferindo à árvore seu nome popular (CARVALHO, 2003).

As partes da planta, como folhas, casca e frutos, são amplamente utilizadas na medicina popular devido às suas propriedades antimicrobianas, anti-inflamatórias e

antioxidantes. Além disso, a Pimenta rosa é conhecida por seu uso culinário, sendo usada como tempero e para aromatizar bebidas e alimentos (UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESTADO DO RIO DE JANEIRO, 2023)

2.5.3 *Sebastiania schottiana*

Sebastiania schottiana, é uma espécie de árvore pertencente à família Euphorbiaceae. É nativa do Brasil ao nordeste da Argentina, sendo um arbusto que cresce principalmente no bioma tropical sazonalmente seco (Plants of the World Online, 2023).

Apresentam ramos longos e pouco ramificados, espinescentes e pouco flexíveis; folhas discolores, esbranquiçadas na face inferior, simples, alternas e lanceoladas; pecíolo curto; uma ou duas glândulas engrossadas inferiormente e base cuneado-estreita, flores não vistosas e frutos do tipo cápsula (HERBÁRIO BRUNO EDGAR IRGANG, 2023).

É uma espécie adaptada à reofilia, bastante resistente às variações extremas de umidade ou seca e dispõe de denso sistema radículas, com caules rijos e flexíveis, suportando a força da água nas enchentes. É heliófita, seletiva e higrófito até xerófito, que pode ocorrer em solos bastante arenosos. Como é uma espécie adaptada às margens de rios, por suportar a força das águas nas enchentes, torna-se de grande utilidade ecológica, auxiliando na recuperação de áreas degradadas, fixação de barrancos e na perenização dos cursos de água (REITZ, 1988) apud (HERBÁRIO BRUNO EDGAR IRGANG, 2023). Também é reconhecida por possuir propriedades medicinais, sendo utilizada como remédio para combater infecções renais e infecções.

2.5.4 *Sesbania virgata*

“*Sesbania virgata* é uma espécie arbórea, pioneira e de ocorrência natural no Brasil. Pertence à família Leguminosae/Faboideae sendo recomendada para recuperação de áreas degradadas devido a sua rusticidade e capacidade de estabelecer simbiose com rizóbio” (ARAÚJO et al., 2004), por florescer e frutificar várias vezes ao ano e tolerar inundações; sendo indicada também no reflorestamento de mata ciliar (FLORENTINO et al., 2009).

A *Sesbania virgata* é caracterizada por folhas compostas, com folíolos opostos estreitamente triangular e oblongos; caule de conformação estriados; suas flores são vistosas, com pétalas amarelas, agrupadas em inflorescências tipo panículas. Após a polinização, uma planta desenvolve vagens que contêm sementes (REFLORA, 2023).

2.6 Propagação vegetativa por estaquia

Um dos principais métodos de propagação vegetativa é a estaquia. “A propagação vegetativa consiste em multiplicar assexuadamente partes de plantas (células, tecidos, órgãos ou propágulos), originando indivíduos geralmente idênticos à planta mãe” (WENDLING, 2003). Neste caso a estaquia é a multiplicação assexuada utilizando estacas caulinares das plantas mãe. “Isso acontece graças a capacidade de estes assumirem atividades meristemáticas mediante desdiferenciação e subsequente diferenciação celular” (HARTMANN; 2002) apud (SANTOS; 2009).

Segundo Santos (2011) a estaquia é a técnica de propagação vegetativa ou clonagem mais comumente utilizada em viveiros florestais, principalmente na silvicultura do eucalipto e na formação de grandes áreas cobertas por plantações florestais dessa espécie. Wendling (2003) afirma que o enraizamento de estacas envolve a regeneração de meristemas radiculares diretamente a partir dos tecidos associados com o tecido vascular, ou a partir do tecido caloso formado na base da estaca, sendo a indução da regeneração radicular função da espécie, do genótipo e do nível de maturação da planta doadora.

Ainda segundo Wendling (2003) a obtenção de sucesso na propagação vegetativa é afetada por diversos fatores, como a espécie ou clone da planta, a estação do ano, as condições fisiológicas da planta mãe, as variações climáticas, a posição do propágulo na planta mãe, o tamanho, o tipo e o momento da coleta do propágulo, o meio de enraizamento, as substâncias de crescimento e os fungicidas utilizados. Essas variações surgem de uma interação entre fatores externos e internos inerentes às células das plantas, além das substâncias translocáveis produzidas nas folhas e gemas, como auxinas, carboidratos, compostos nitrogenados, vitaminas, entre outras. No entanto, essas variações ainda não são completamente compreendidas quando se trata de espécies lenhosas.

Hartmann et al. (2002); HESS (1969) apud Santos (2011) descrevem que dentre os principais fatores que afetam o enraizamento de estacas, destacam-se as condições fisiológicas (presença de carboidratos, substâncias nitrogenadas, aminoácidos, auxinas, compostos fenólicos e outras substâncias); o período e a posição de coleta das estacas; a juvenildade; o estiolamento; a presença de folhas e de gemas; a idade da planta matriz e fatores do ambiente, como disponibilidade de água, incidência lumínica e substrato

“Embora a maioria dos fatores envolvidos na propagação vegetativa de plantas tenha sido identificada, ainda há carência na compreensão da importância individual, da interação destes fatores no processo de propagação e da fisiologia do processo” (WENDLING, 2003).

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Esse estudo trata-se de uma pesquisa do tipo quali-quantitativa, avaliando os resultados do estudo tanto por dados estatísticos quanto por meio da interpretação de análises e percepções.

3.1 Seleção das espécies

A seleção das espécies utilizadas nesse estudo foi baseada em levantamentos florísticos e fitossociológicos na região de Lavras. Foram selecionadas quatro espécies que acreditamos possuir características potenciais como verificadas em espécies de outros estudos já realizados com bioengenharia de solo: *Salix humboldtiana* (Figura 1); *Schinus terebinthifolia*. (Figura 2); *Sebastiania schottiana* (Figura 3) e *Sesbania virgata* (Figura 4).

Figura 1 – Indivíduo de *Salix humboldtiana*.



Fonte: do autor (2023).

Figura 2- Indivíduos de *Schinus terebinthifolia*.



Fonte: do autor (2023).

Figura 3 – Indivíduo de *Sebastiania schottiana*.



Fonte: do autor (2023).

Figura 4 – Indivíduo de *Sesbania virgata*.

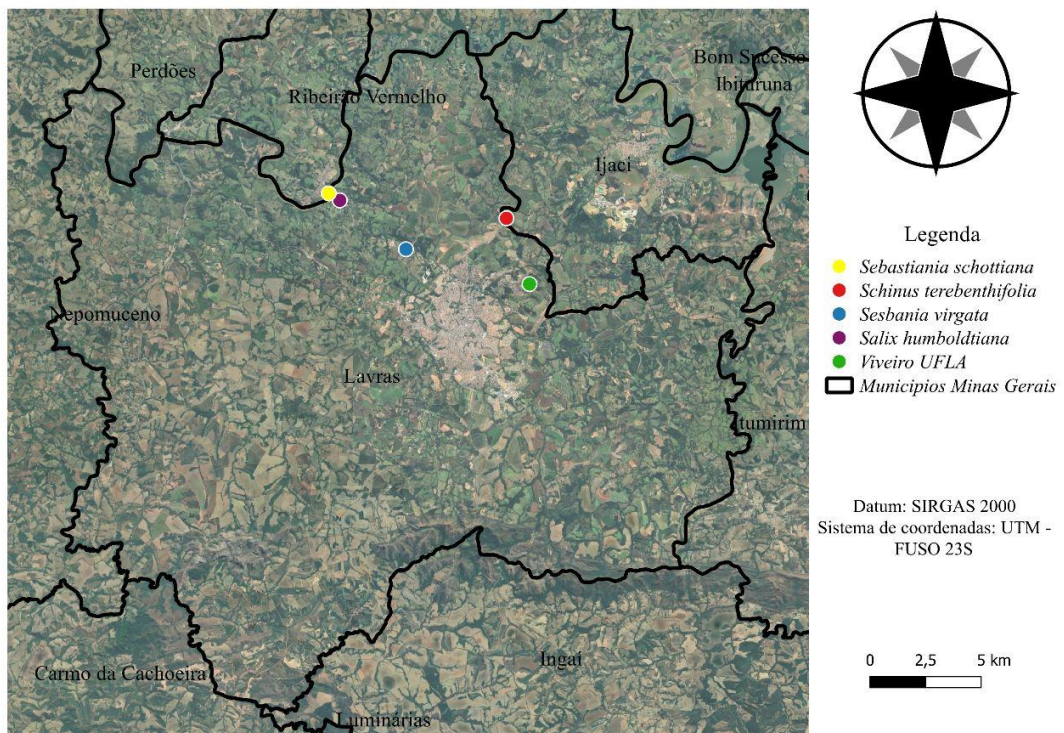


Fonte: do autor (2023).

3.2 Coleta dos materiais

As estacas *Sebastiania schottiana* foram coletadas em Ribeirão Vermelho – MG e as estacas de *Salix humboldtiana*, de *Schinus terebinthifolia* e de *Sesbania virgata* foram coletadas no município de Lavras em Lavras – MG, como mostra a Figura 5.

Figura 5 – Mapa da localidade da coleta de cada espécie.



Fonte: do autor (2023).

Segundo a classificação de Koppen o clima em Lavras é do tipo Cwb; a altitude média é 913.31 m; a temperatura média anual é 18,6° C e a precipitação média anual é 1621,4 mm. Já o clima em Ribeirão Vermelho é do tipo Cwb; a altitude média é 836.39 m; a temperatura média anual é 19,1° C e a precipitação média anual é 1644,4 mm (KOPPENBRASIL; 2023).

As coletas foram realizadas em dezembro de 2022 sempre no período da manhã (Figura 6).

Figura 6 - Galhos de *Schinus terebinthifolia* coletados para a preparação das estacas.



Fonte: do autor (2023).

3.3 Delimitação do experimento

O delineamento experimental utilizado foi o delineamento inteiramente casualizado, pois as condições do canteiro onde foi implantado estavam uniformemente controladas. Trata-se da avaliação do desenvolvimento de brotos e raízes em relação ao diâmetro e ao comprimento da estaca, portanto um experimento fatorial.

Para cada espécie, foram colhidas estacas em 3 diferentes classes de diâmetros com 2 classes de comprimentos diferentes (6 tratamentos). As estacas tiveram classes de diâmetro e de comprimento diferentes para cada espécie, devido às características do material coletado, como mostra a Tabela 1

Tabela 1 – Especificação dos tratamentos de cada espécie.

Espécie	Tratamento	Classe de diâmetro da estaca (mm)	Classe de comprimento da estaca (cm)
<i>Salix humboldtiana</i>	1 D1-C1	D1 (4 - ≤11,9)	C1 (23 - ≤43,9)
	2 D1-C2		C2 (44 - ≤64)
	3 D2-C2	D2 (12 - ≤20,9)	C1 (23 - ≤43,9)
	4 D2-C2		C2 (44 - ≤64)
	5 D3-C1	D3 (21 - ≤30)	C1 (23 - ≤43,9)
	6 D3-C2		C2 (44 - ≤64)
<i>Schinus terebinthifolia</i>	1 D1-C1	D1 (4 - ≤16,9)	C1 (27 - ≤35,9)
	2 D1-C2		C2 (48 - ≤63)
	3 D2-C2	D2 (17 - ≤30,9)	C1 (27 - ≤35,9)
	4 D2-C2		C2 (48 - ≤63)
	5 D3-C1	D3 (31- ≤43)	C1 (27 - ≤35,9)
	6 D3-C2		C2 (48 - ≤63)
<i>Sebastiania schottiana</i>	1 D1-C1	D1 (10 - ≤23,9)	C1 (30 - ≤55,9)
	2 D1-C2		C2 (56 - ≤80)
	3 D2-C2	D2 (24 - ≤37,9)	C1 (30 - ≤55,9)
	4 D2-C2		C2 (56 - ≤80)
	5 D3-C1	D3 (38- ≤50)	C1 (30 - ≤55,9)
	6 D3-C2		C2 (56 - ≤80)
<i>Sesbania virgata</i>	1 D1-C1	D1 (10 - ≤23,9)	C1 (30 - ≤50,9)
	2 D1-C2		C2 (51 - ≤76)
	3 D2-C2	D2 (24 - ≤37,9)	C1 (30 - ≤50,9)
	4 D2-C2		C2 (51 - ≤76)
	5 D3-C1	D3 (38- ≤50)	C1 (30 - ≤50,9)
	6 D3-C2		C2 (51 - ≤76)

Fonte: do autor (2023).

3.4 Implantação do experimento

Após coleta do material, foram levados imediatamente ao Viveiro Florestal da UFPA, onde foram cortadas as estacas e colocadas em vasos de 7 Litros com substrato composto por mistura 1:1 de terra vermelha e areia.

Os vasos foram distribuídos aleatoriamente para cada espécie, no canteiro de irrigação, recebendo irrigação 4 vezes por dia (Figura 7).

Cada tratamento foi implantado em 8 vasos com 4 estacas em cada, resultando em 32 repetições.

Figura 7 - Vasos no canteiro de irrigação.



Fonte: do autor (2023).

3.5 Coleta de dados

As avaliações foram realizadas em 16 estacas de cada espécie aos 60 dias e em 16 após 120 dias. Foram avaliados: o número de estacas com brotações (que emitiram pelo menos uma brotação) e o número de estacas enraizadas (que emitiram pelo menos uma raiz); número de brotos e de raízes por estaca; comprimento do maior broto e da maior raiz por estaca (cm) e massa seca dos brotos e das raízes por estaca (g).

A massa seca foi obtida por meio de secagem em estufa com circulação forçada de ar a 65°C, por 72 h até atingir peso constante e posterior pesagem (Figura 8).

Figura 8 - Pesagem da massa seca das brotações de uma estaca de *Sesbania virgata*.



Fonte: do autor (2023).

A Figura 9 mostra o momento da medição do comprimento da raiz de uma estaca de *Salix humboldtiana*. Já a Figura 10, mostra as raízes de uma estaca de *Sesbania virgata* aos 120 dias, já lavada para a medição e a contagem do número de raízes.

Figura 9 - Medição de raiz.



Fonte: do autor (2023).

Figura 10 - Raízes de uma estaca de *Sesbania virgata*.



Fonte: do autor (2023).

Cada estaca recebeu uma nota qualitativa de 1 a 6, conforme especificado na Tabela 2.

Tabela 2 – Especificação das características de cada nota.

Nota	Características
1	Estaca morta, sem raiz e sem broto.
2	Estaca viva, sem raiz e sem broto.
3	Estaca emitiu broto, mas não emitiu raiz.
4	Estaca não emitiu broto, mas emitiu raiz.
5	Estaca emitiu broto e raiz, pouco desenvolvidos, ainda não tem padrão semelhante a muda apta para plantio.
6	Estaca emitiu broto e raiz, bem desenvolvidos, com padrão semelhante a muda apta para plantio.

Fonte: do autor (2023).

A Figura 11 mostra as estacas de *Sesbania virgata* que receberam notas, de cima para baixo: 1,2, 6 e 5.

Figura 11 - Estacas de *Sesbania virgata* aos 60 dias.



Fonte: do autor (2023).

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Nenhuma estaca da *Sebastiania schottiana* sobreviveu nos períodos avaliados. Devido a 100% de mortalidade, a espécie não mostrou nenhuma aptidão para uso de estacas.

Os resultados para as demais espécies estão a seguir.

4.1 *Salix humboldtiana*

Das 96 estacas de *Salix humboldtiana* distribuídas pelos 6 tratamentos avaliadas aos 60 dias, 73 delas (76 %) emitiram pelo menos um broto. Sendo 10 (62,5 %) no tratamento 1; 9

(56,25 %) no tratamento 2; 16 (100 %) no tratamento 3; 10 (62,5%) no tratamento 4; 12 (75 %) no tratamento 5 e 16 (100 %) no tratamento 6.

Aos 120 dias, das 96 estacas distribuídas pelos 6 tratamentos, 53 delas (55 %) apresentaram pelo menos um broto. Sendo 8 (15 %) no tratamento 1; 11 (20,75 %) no tratamento 2; 3 (6 %) no tratamento 3; 10 (62,5 %) no tratamento 4; 7 (13,2 %) no tratamento 5 e 14 (26,4%) no tratamento 6.

4.1.1 Número de brotos

As interações não foram significativas, nas estacas avaliadas tanto após 60 dias, quanto nas estacas avaliadas após 120 dias. Isto significa que o efeito do diâmetro da estaca não depende do comprimento da estaca para explicar o número de brotos e o efeito do comprimento da estaca não depende do diâmetro da estaca para o mesmo.

Analisando as médias dos fatores separadamente (Tabela 3) não houve diferença significativa nos tratamentos analisados aos 60 dias. Já aos 120 dias, houve uma melhor brotação nas estacas com classe de comprimento de 44 a 64 cm.

Tabela 3 - Média do número de brotos para as classes de diâmetros e de comprimentos de estacas de *Salix humboldtiana* após 60 e 120 dias.

Classe de diâmetro (mm)	60 dias			120 dias		
	Classe de comprimento (cm)			Classe de comprimento (cm)		
	23 - ≤43,9	44 - ≤64	Média geral	23 - ≤43,9	44 - ≤64	Média geral
4 - ≤11,9	7,69	3,19	5,44	1,63	2,56	2,09
12- ≤20,9	6,69	5,19	5,94	0,31	3,25	1,78
21 - ≤30	6,50	8,50	7,50	2,06	4,75	3,41
Média geral	6,96	5,63		1,33 b	3,52 a	

As médias seguidas da mesma letra minúscula na linha não diferem ao nível de 5% de probabilidade, pelo teste Tukey.

Fonte: do autor (2023).

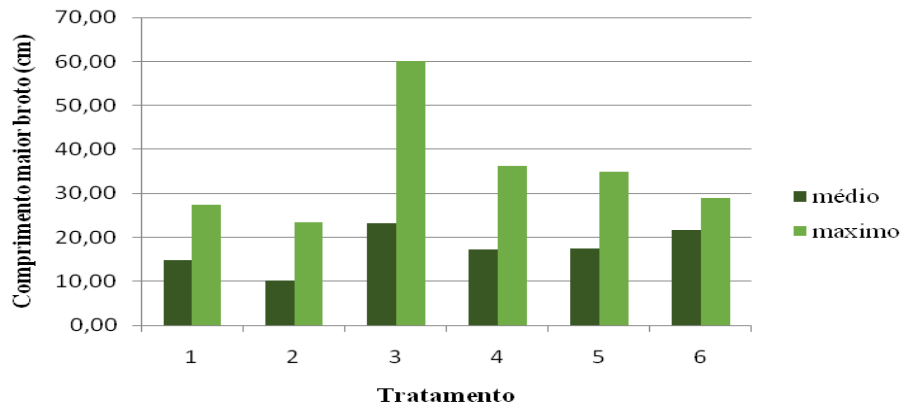
De maneira geral, em todos os tratamentos, tiveram maior número de brotos com 60 dias, tal característica pode estar relacionada, ao fato de as estacas possuírem fotoassimilados, que vão ser utilizados até a emissão de novos brotos e raízes. Com o passar dos meses tal reserva foi decaindo, ocorrendo a morte de alguns brotos. Ainda que com menor número de

brotos, houve aumento expressivo no comprimento dos brotos e na massa seca dos brotos em todos os tratamentos.

4.1.2 Comprimento do maior broto

Os comprimentos médios e máximos dos brotos aos 120 dias podem ser observados na Figura 12 e aos 120 dias na Figura 13. Aos 60 dias a melhor média se encontra no tratamento 3, onde foi observado broto com 60 cm e aos 120 dias a melhor média se encontra no tratamento 5, onde foi observado broto com até 188 cm.

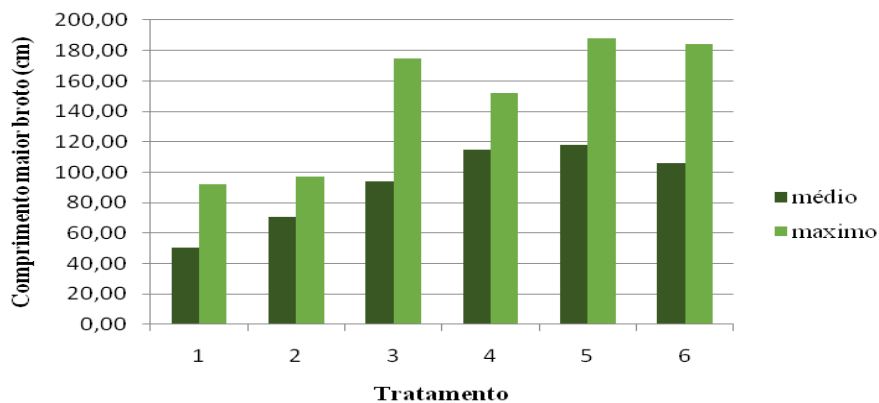
Figura 12 – Comprimentos médio e máximo do maior broto em cada tratamento de *Salix humboldtiana* após 60 dias.



Tratamentos: 1- (D1-C1); 2- (D1-C2); 3- (D2-C1); 4(D2-C2); 5-(D3-C1); 6- (D3C2)

Fonte: do autor (2023).

Figura 13 – Comprimentos médio e máximo do maior broto em cada tratamento de *Salix humboldtiana* após 120 dias.

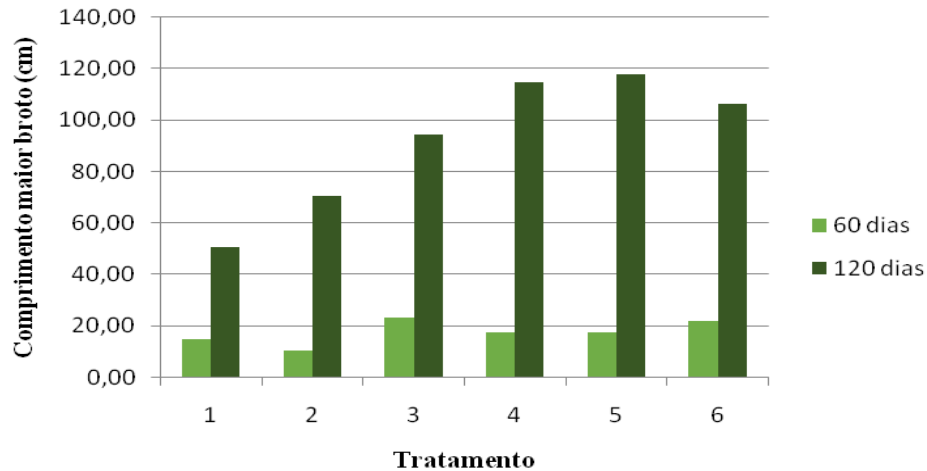


Tratamentos: 1- (D1-C1); 2- (D1-C2); 3- (D2-C1); 4(D2-C2); 5-(D3-C1); 6- (D3C2)

Fonte: do autor (2023).

A Figura 14 demonstra um grande aumento no comprimento médio do maior broto nos tratamentos aos 120 dias.

Figura 14 – Comprimentos médios do maior broto em cada tratamento de *Salix humboldtiana* após 60 e 120 dias.



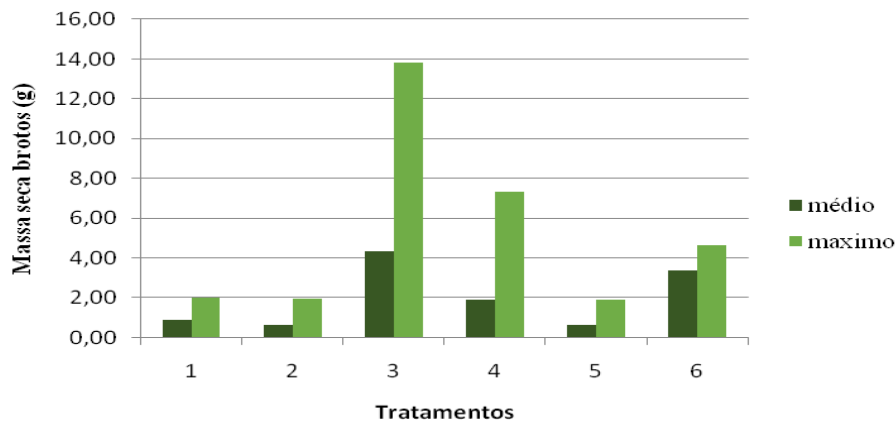
Tratamentos: 1- (D1-C1); 2- (D1-C2); 3- (D2-C1); 4(D2-C2); 5-(D3-C1); 6- (D3C2)

Fonte: do autor (2023).

4.1.3 Massa seca dos brotos

Os registros de massa seca média e máxima dos brotos de cada tratamento aos 60 dias estão na Figura 15, onde o tratamento 3 obteve melhor desempenho (média de 4,31 g com máxima de 13,8 g).

Figura 15 – Massa seca média e máxima dos brotos em cada tratamento de *Salix humboldtiana* após 60 dias.

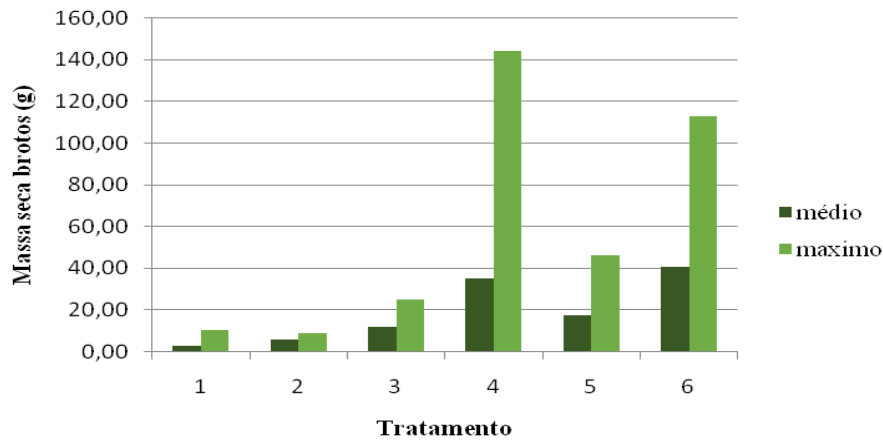


Tratamentos: 1- (D1-C1); 2- (D1-C2); 3- (D2-C1); 4(D2-C2); 5-(D3-C1); 6- (D3C2)

Fonte: do autor (2023).

Na Figura 16 está registrada a massa seca média e máxima dos brotos de cada tratamento aos 120 dias. Desta vez os tratamentos 6 e 4 apresentaram as melhores médias (40,86 e 35,20g).

Figura 16 – Massa seca média e máxima dos brotos em cada tratamento de *Salix humboldtiana* após 120 dias.

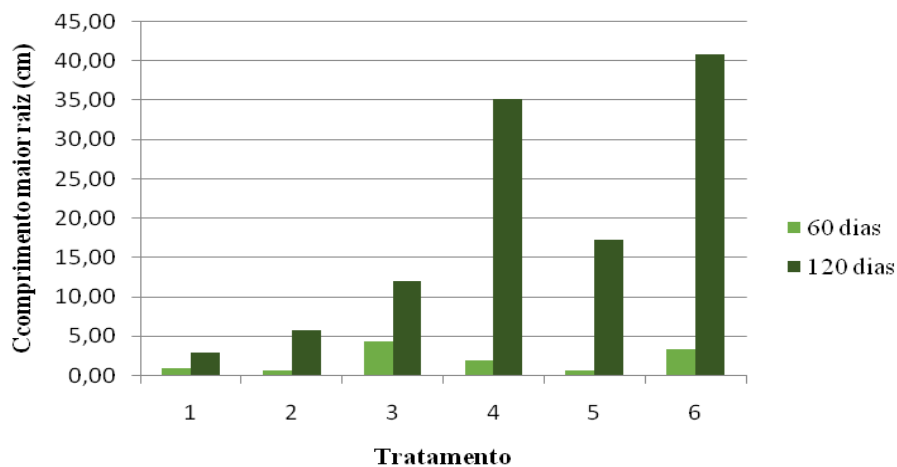


Tratamentos: 1- (D1-C1); 2- (D1-C2); 3- (D2-C1); 4(D2-C2); 5-(D3-C1); 6- (D3C2)

Fonte: do autor (2023).

A Figura 17 demonstra um grande aumento na massa seca do maior broto em todos os tratamentos aos 120 dias.

Figura 17 – Gráfico da massa seca média do maior broto em cada tratamento de *Salix humboldtiana* após 60 e 120 dias.



Tratamentos: 1- (D1-C1); 2- (D1-C2); 3- (D2-C1); 4(D2-C2); 5-(D3-C1); 6- (D3C2)

Fonte: do autor (2023).

4.1.4 Número de raízes

As médias de números de raízes são apresentados na Tabela 4. Após 60 dias, a interação foi significativa ao nível de 5% de probabilidade. Portanto o efeito no número de raízes desta espécie provocado pelo diâmetro da estaca depende também do comprimento da estaca. A maior quantidade de raízes foi observada nas estacas com classe de diâmetro 12 a 20,9 mm e de comprimento 23 a 43 cm.

Aos 120 dias, as interações não foram significativas, isto é, o efeito do diâmetro da estaca não depende do comprimento da estaca para explicar o número de raízes. Analisando as médias dos fatores separadamente, as classes de diâmetro não apresentaram diferenças significativas, já os tratamentos com a maior classe de comprimento (44 a 64cm) obtiveram mais raízes.

Tabela 4 - Média do número de raízes para as classes de diâmetros e de comprimentos de estacas de *Salix humboldtiana* após 60 e 120 dias.

Classe de diâmetro (mm)	60 dias			120 dias		
	Classe de comprimento (cm)			Classe de comprimento (cm)		
	23 - ≤43,9	44 - ≤64	Média geral	23 - ≤43,9	44 - ≤64	Média geral
4 - ≤11,9	1,31 B a	1,37 A a	1,34	2,50	6,13	4,31
12- ≤20,9	3,81 A a	1,50 A b	2,65	0,88	5,50	3,19
21 - ≤30	1,75 B a	2,50 A a	2,12	1,65	11,25	6,45
Média geral	2,29	1,79		1,68 b	7,63 a	

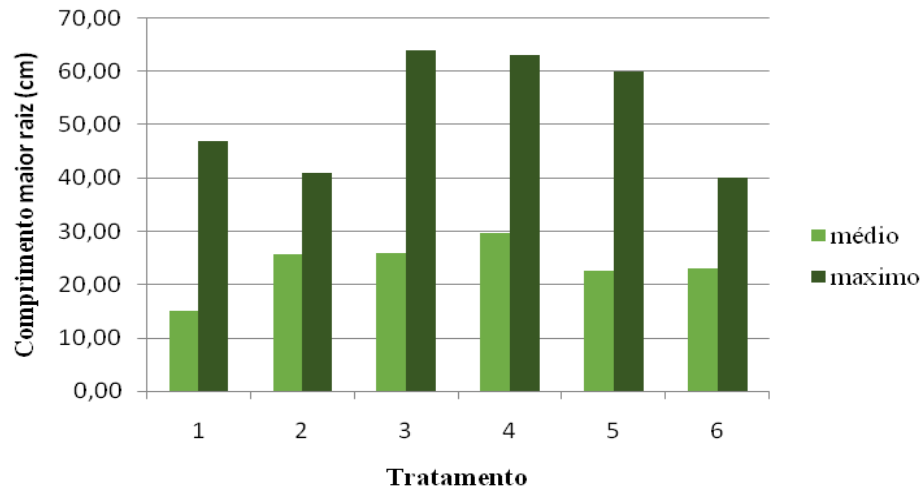
As médias seguidas da mesma letra minúscula na linha e letra maiúscula na coluna não diferem ao nível de 5% de probabilidade, pelo teste Tukey.

Fonte: do autor (2023).

4.1.5 Comprimento da maior raiz

Os comprimentos médios e máximos da maior raiz dos tratamentos aos 60 dias estão registrados no gráfico da Figura 18. O tratamento 4 apresentou a melhor média (29,6 cm) com broto de até 63 cm. Já aos 120 dias estão registrados na Figura 19, onde a melhor média também foi observada no tratamento 4 (56,40 cm) possuindo raízes com até 113 cm.

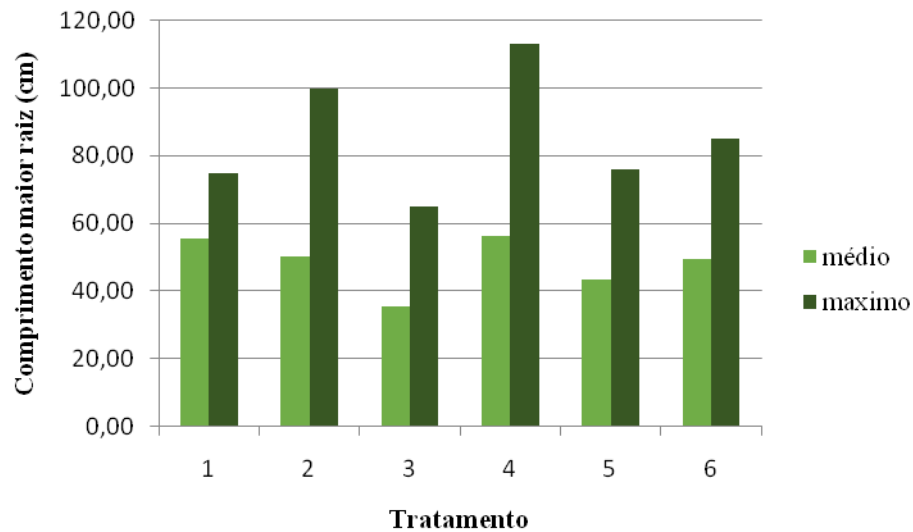
Figura 18 – Comprimentos médio e máximo da maior raiz em cada tratamento de *Salix humboldtiana* após 60 dias.



Tratamentos: 1- (D1-C1); 2- (D1-C2); 3- (D2-C1); 4(D2-C2); 5-(D3-C1); 6- (D3C2)

Fonte: do autor (2023).

Figura 19 – Comprimentos médio e máximo da maior raiz em cada tratamento de *Salix humboldtiana* após 120 dias.

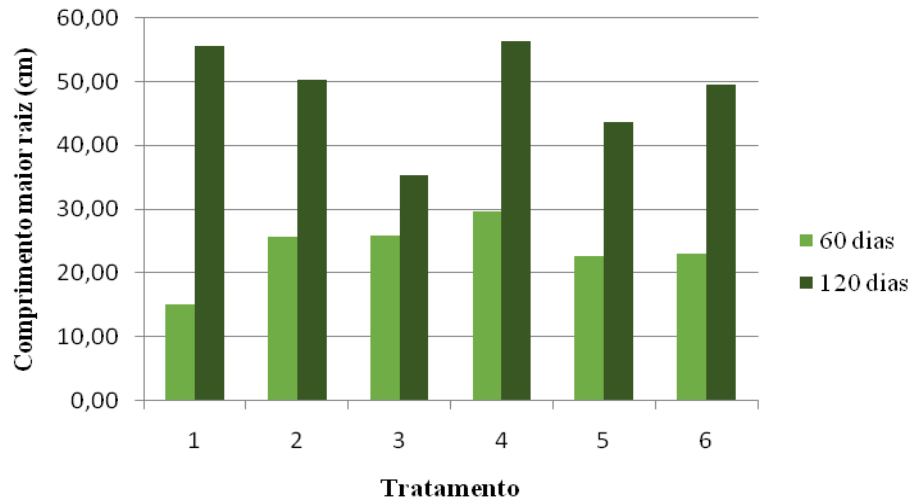


Tratamentos: 1- (D1-C1); 2- (D1-C2); 3- (D2-C1); 4(D2-C2); 5-(D3-C1); 6- (D3C2)

Fonte: do autor (2023).

A Figura 20 demonstra um grande aumento no comprimento da maior raiz nos tratamentos aos 120 dias.

Figura 20 – Comprimentos médio da maior raiz de *Salix humboldtiana* após 60 e 120 dias.



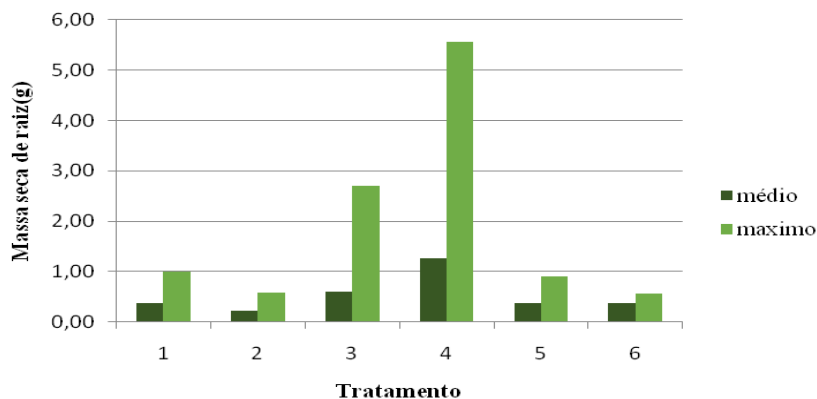
Tratamentos: 1- (D1-C1); 2- (D1-C2); 3- (D2-C1); 4(D2-C2); 5-(D3-C1); 6- (D3C2)

Fonte: do autor (2023).

4.1.6 Massa seca das raízes

Os registros de massa seca média e máxima das raízes de cada tratamento aos 60 dias e 120 dias, estão nas Figuras 21 e 22 respectivamente. Aos 60 dias a melhor média foi no tratamento 4 (1,27g) onde foi obtida raiz com valor máximo de 5,57g e aos 120 dias no tratamento 6 (4,09g) com massa seca máxima de 9,41g.

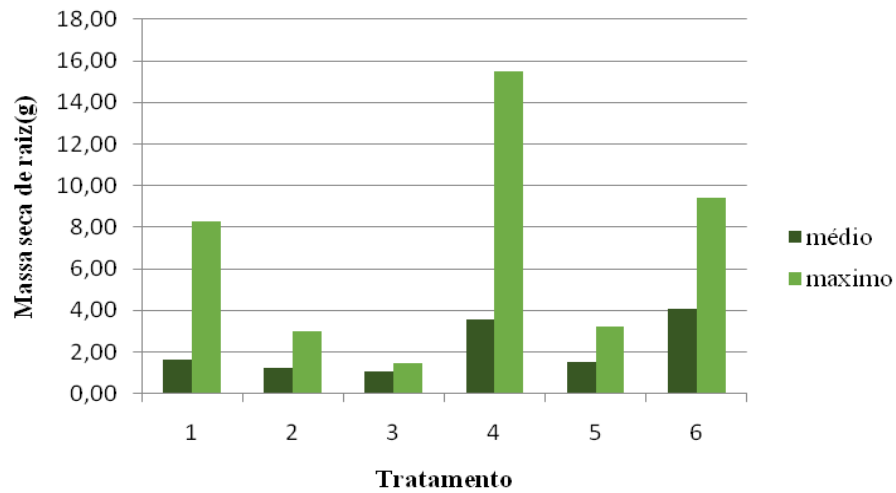
Figura 21 – Massa seca média e máxima das raízes em cada tratamento de *Salix humboldtiana* após 60 dias.



Tratamentos: 1- (D1-C1); 2- (D1-C2); 3- (D2-C1); 4(D2-C2); 5-(D3-C1); 6- (D3C2)

Fonte: do autor (2023).

Figura 22 – Massa seca média e máxima das raízes em cada tratamento de *Salix humboldtiana* após 120 dias.

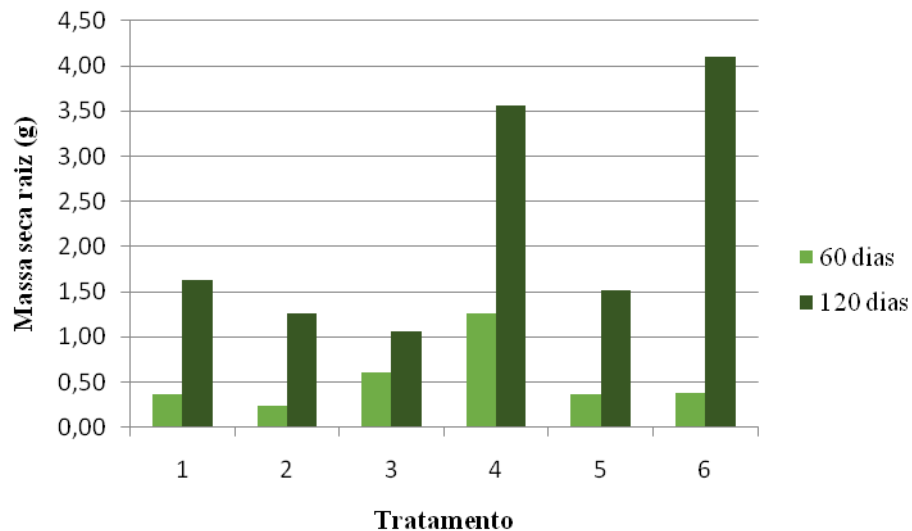


Tratamentos: 1- (D1-C1); 2- (D1-C2); 3- (D2-C1); 4(D2-C2); 5-(D3-C1); 6- (D3C2)

Fonte: do autor (2023).

A Figura 23 demonstra um grande aumento na massa seca de raiz nos tratamentos aos 120 dias.

Figura 23 – Massa seca média das raízes em cada tratamento de *Salix humboldtiana* após 60 e 120 dias.



Tratamentos: 1- (D1-C1); 2- (D1-C2); 3- (D2-C1); 4(D2-C2); 5-(D3-C1); 6- (D3C2)

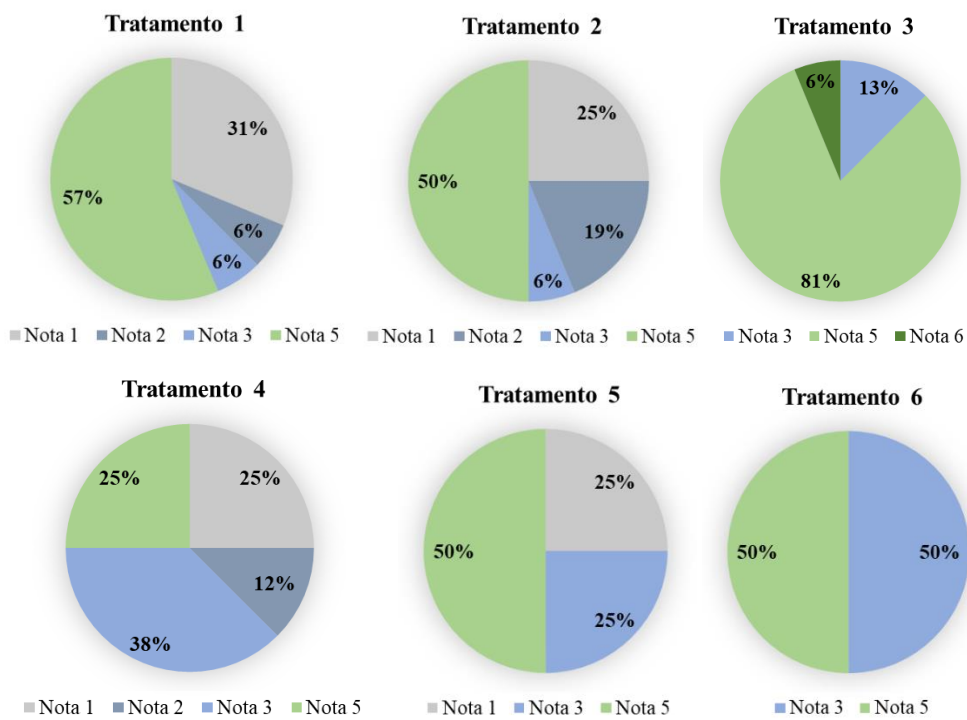
Fonte: do autor (2023).

Nota-se que aos 120 dias, houve um bom incremento no número de raízes e no comprimento delas, e conseqüentemente aumento nas médias de massa seca.

4.1.7 Nota final da estaca

As notas atribuídas a cada estaca foram agrupadas para cada tratamento. Nas Figuras 24 e 25 podem ser observadas as porcentagens de cada nota, aos 60 dias e aos 120 dias respectivamente.

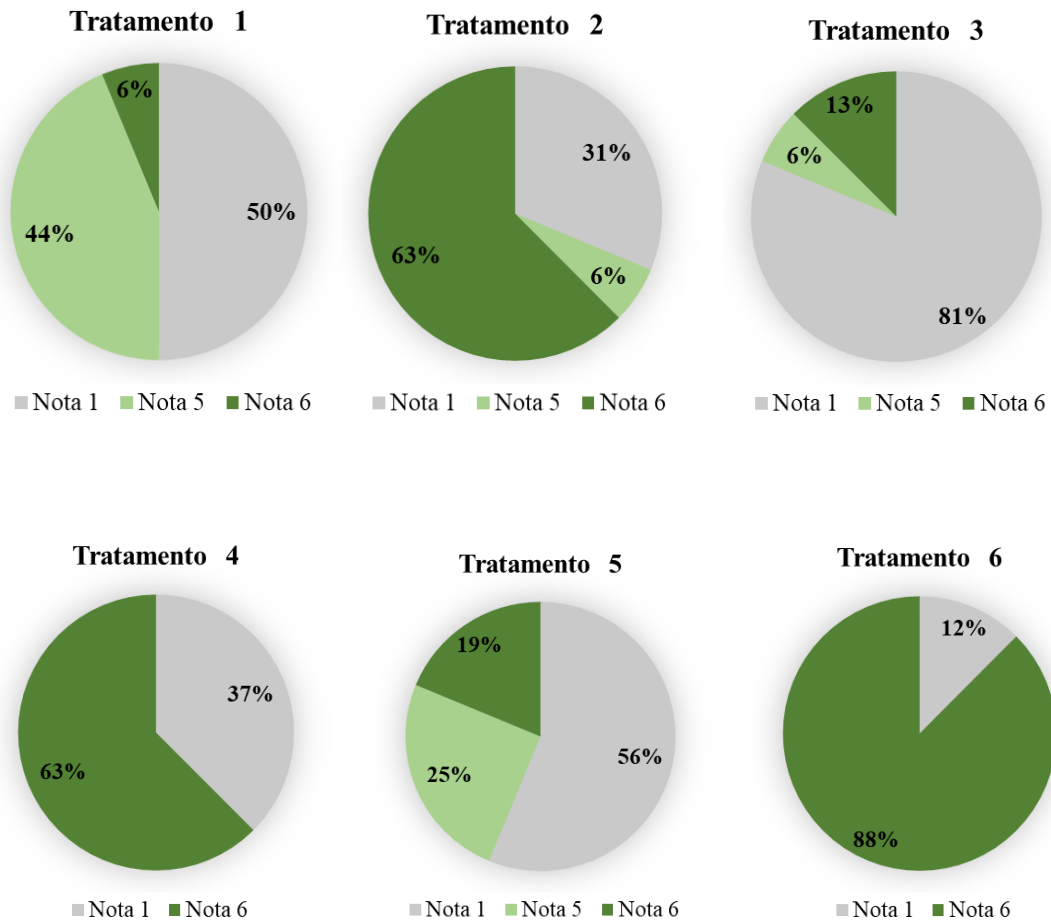
Figura 24 - Porcentagens de mudas de *Salix humboldtiana* avaliadas com cada nota qualitativa em cada tratamento, após 60 dias.



Tratamentos: 1- (D1-C1); 2- (D1-C2); 3- (D2-C1); 4-(D2-C2); 5-(D3-C1); 6- (D3C2). Notas: 1 - estaca morta, sem raiz e sem broto; 2 - estaca viva, sem raiz e sem broto; 3 - estaca emitiu broto mas não emitiu raiz; 4 - estaca não emitiu broto mas emitiu raiz; 5 - estaca emitiu broto e raiz, pouco desenvolvidos, ainda não tem padrão semelhante a muda apta para plantio e 6 - estaca emitiu broto e raiz, bem desenvolvidos, com padrão semelhante a muda apta para plantio.

Fonte: do autor (2023).

Figura 25 - Porcentagens de mudas de *Salix humboldtiana* avaliadas com cada nota qualitativa em cada tratamento, após 120 dias.



Tratamentos: 1- (D1-C1); 2- (D1-C2); 3- (D2-C1); 4(D2-C2); 5-(D3-C1); 6- (D3C2). Notas: 1 - estaca morta, sem raiz e sem broto; 2 - estaca viva, sem raiz e sem broto; 3 - estaca emitiu broto, mas não emitiu raiz; 4 - estaca não emitiu broto, mas emitiu raiz; 5 - estaca emitiu broto e raiz, pouco desenvolvidos, ainda não tem padrão semelhante a muda apta para plantio e 6 - estaca emitiu broto e raiz, bem desenvolvidos, com padrão semelhante a muda apta para plantio.

Fonte: do autor (2023).

Com as atribuições de notas para as estacas, foi possível perceber que houve maior mortalidade nos tratamentos após 120 dias, fato que pode estar relacionado a reserva de fotoassimilados nos primeiros 60 dias garantindo a sobrevivência. Nenhuma estaca obteve nota 4, ou seja, emitiu apenas raiz.

Aos 60 dias houve predominância de estacas com nota 5 (estacas que apresentavam brotos e raízes, não muito desenvolvidos) como mostra a Figura 26. Já aos 120 dias houve predominância de estacas com nota 6 (estacas que apresentaram brotos e raízes bem desenvolvidas), Figura 27. O tratamento 6, por exemplo, obteve 87,5% de estacas assim, o

que é um sinal de que a espécie tem capacidade sim de uso em projetos. Todas as classes de diâmetro estudadas com a classe de comprimento de 44 a 64 obtiveram alta porcentagem de estacas notas 6.

Os resultados são satisfatórios e corroboram com Durlo e Sutili (2005) que afirma que a *Salix humboldtiana*, é aparentemente potencial e Santos (2009) que encontrou percentual de enraizamento de (80,5%); e com estudos com outras espécies de *Salix*, como *Salix viminalis* que apresentou-se potencialmente apta para a revegetação das margens de cursos de água nos estudos de Sutili; Durlo e Bressan (2010) e as espécies *Salix interior*, *Salix nigra*, *Salix purpurea* e *Salix cotteri* que apresentaram alta tolerância à inundação e a deposição em estudos de Pallone e Todd (1997).

Figura 26 - Estaca de *Salix humboldtiana* com nota 5.



Fonte: do autor (2023).

Figura 27 - Estaca de *Salix humboldtiana* com nota 6.



Fonte: do autor (2023).

4.2 *Schinus terebinthifolia*

Das 96 estacas de *Schinus terebinthifolia* distribuídas pelos 6 tratamentos avaliadas aos 60 dias, apenas 28 delas (29%) emitiram pelo menos um broto. Sendo 1 (6,25 %) no tratamento 1; 6 (37,5 %) no tratamento 2; 5 (31,25 %) no tratamento 3; 6 (37,5%) no tratamento 4; 4 (25 %) no tratamento 5 e 6 (37,5 %) no tratamento 6.

Aos 120 dias, das 96 estacas distribuídas pelos 6 tratamentos, 27 delas (28%) apresentaram pelo menos um broto. Sendo 3 (18,75%) no tratamento 1; 5 (3,25%) no tratamento 2; 3 (3,25 %) no tratamento 3; 8 (50 %) no tratamento 4; 8 (50 %) no tratamento 5 e nenhuma no tratamento 6.

4.2.1 Número de brotos

As médias de número de brotos se encontram na Tabela 5. Aos 60 dias, as interações não foram significativas, portanto, para explicar o número de brotos, o efeito do diâmetro da estaca é independente do comprimento da estaca. Analisando as médias dos fatores separadamente, não foi obtido diferença significativa em nenhuma classe de diâmetro e nenhuma classe de comprimento.

Após 120 dias, a interação foi significativa ao nível de 5% de probabilidade. Isto quer dizer que o efeito do diâmetro da estaca no número de brotos dessa espécie respondeu ao comprimento da estaca e que o efeito do comprimento da estaca no número de raízes dessa espécie respondeu ao diâmetro. Os Tratamentos com classe de diâmetro 17 a 30,9 4 com comprimento 27 a 35,9 e diâmetro 31 a 43 mm e comprimento 48 a 63 cm tiveram resultados inferiores aos demais.

Tabela 5 - Média do número de brotos para as classes de diâmetros e de comprimentos de estacas de *Schinus terebinthifolia* após 60 e 120 dias.

Classe de diâmetro (mm)	60 dias			120 dias		
	Classe de comprimento (cm)		Média geral	Classe de comprimento (cm)		Média geral
	27 - ≤35,9	48 - ≤63		27 - ≤35,9	48 - ≤63	
4 - ≤16,9	0,06	0,63	0,34	0,75 AB a	1,75 A a	1,25
17- ≤30,9	1,13	2,00	1,56	0,25 B b	2,94 A a	1,59
31 - ≤43	0,50	1,38	0,94	2,00 A a	0,00 B b	1,00
Média geral	0,56	1,33		0,56	1,33	

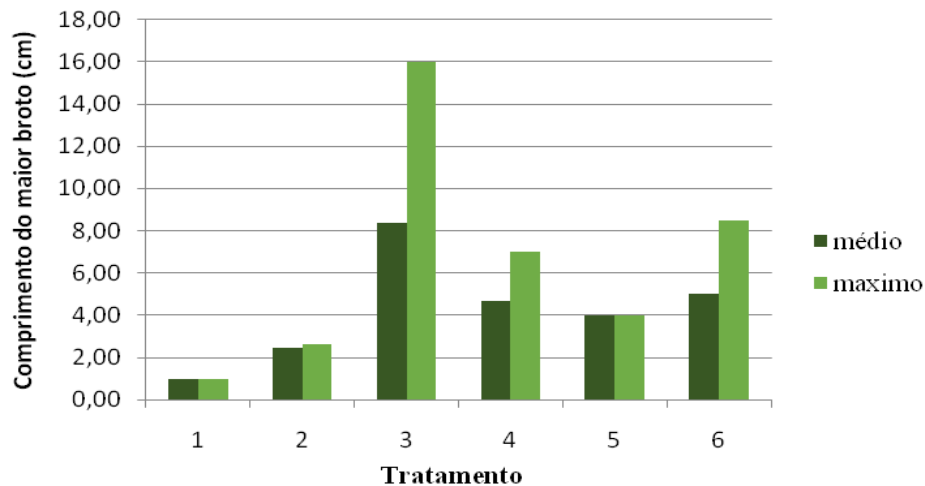
As médias seguidas da mesma letra minúscula na linha e letra maiúscula na coluna não diferem ao nível de 5% de probabilidade, pelo teste Tukey.

Fonte: do autor (2023).

4.2.2 Comprimento do maior broto

Os comprimentos médios e máximos dos tratamentos aos 60 dias se encontram na Figura 28. A melhor média se encontra no tratamento 3 (8,38 cm), onde foram observados brotos com até 16 cm.

Figura 28 - Comprimentos médio e máximo do maior broto em cada tratamento de *Schinus terebinthifolia* após 60 dias.

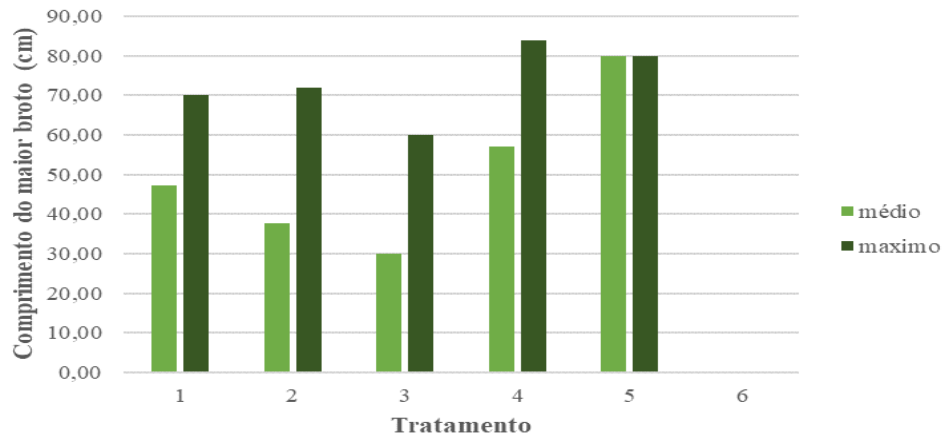


Tratamentos: 1- (D1-C1); 2- (D1-C2); 3- (D2-C1); 4(D2-C2); 5-(D3-C1); 6- (D3C2)

Fonte: do autor (2023).

Já aos 120 dias, houve um grande aumento nos comprimentos médios e máximos (Figura 29). A melhor média se encontra no tratamento 5 (80 cm), onde foi observado broto com até 80 cm, conforme mostra a Figura 30.

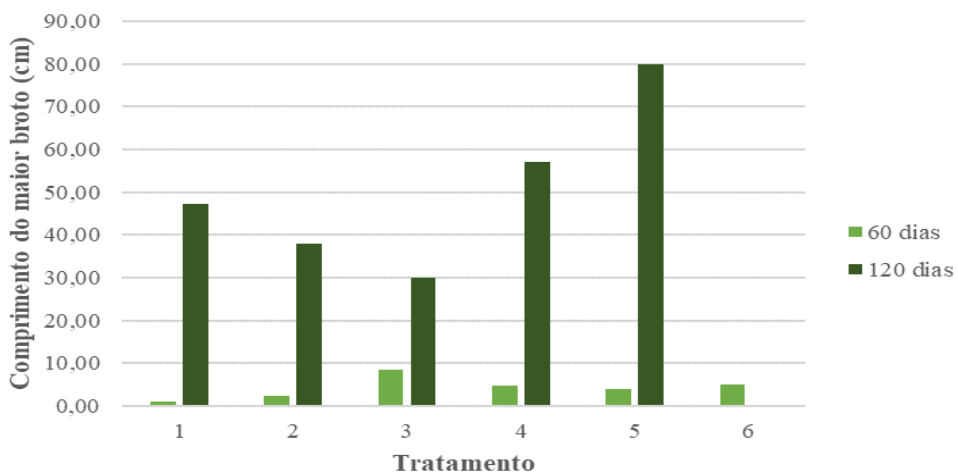
Figura 29 - Comprimentos médio e máximo do maior broto em cada tratamento de *Schinus terebinthifolia* após 120 dias.



Tratamentos: 1- (D1-C1); 2- (D1-C2); 3- (D2-C1); 4(D2-C2); 5-(D3-C1); 6- (D3C2)

Fonte: do autor (2023).

Figura 30 – Comprimento médio do maior broto em cada tratamento de *Schinus terebinthifolia* após 60 e 120 dias.



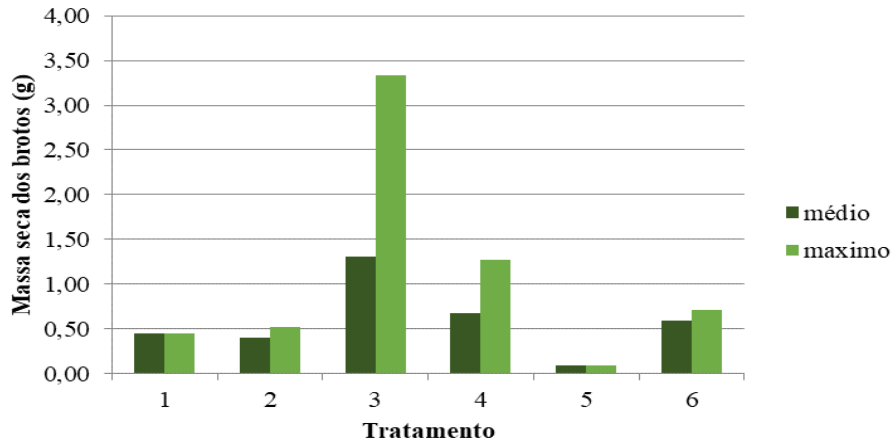
Tratamentos: 1- (D1-C1); 2- (D1-C2); 3- (D2-C1); 4(D2-C2); 5-(D3-C1); 6- (D3C2)

Fonte: do autor (2023).

4.2.3 Massa seca dos brotos

Os registros de massa seca média e máxima dos brotos de cada tratamento aos 60 dias estão na Figura 31, onde no tratamento 3, foi observada a melhor média (1,30g), com broto com peso máximo de 3,34g.

Figura 31 - Massa seca média e máxima dos brotos em cada tratamento de *Schinus terebinthifolia* após 60 dias.

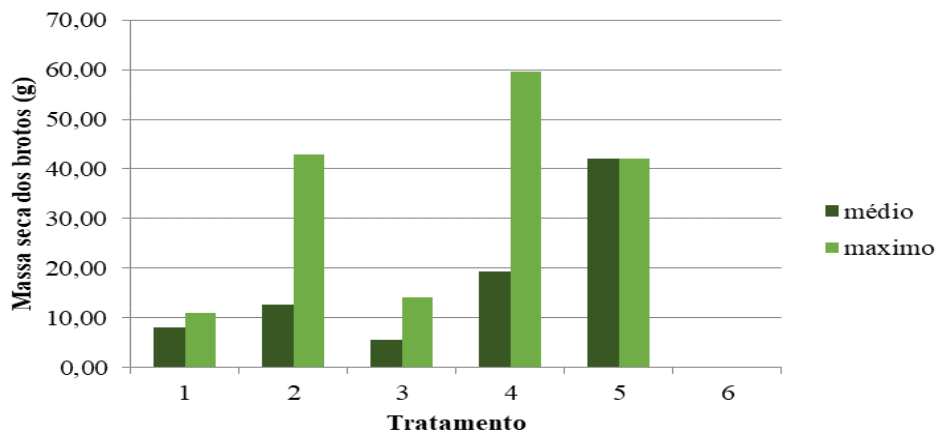


Tratamentos: 1- (D1-C1); 2- (D1-C2); 3- (D2-C1); 4(D2-C2); 5-(D3-C1); 6- (D3C2)

Fonte: do autor (2023).

Aos 120 dias, a melhor média foi no tratamento 5 (42,03g), Figura 32.

Figura 32 - Massa seca média e máxima dos brotos em cada tratamento de *Schinus terebinthifolia* após 120 dias.

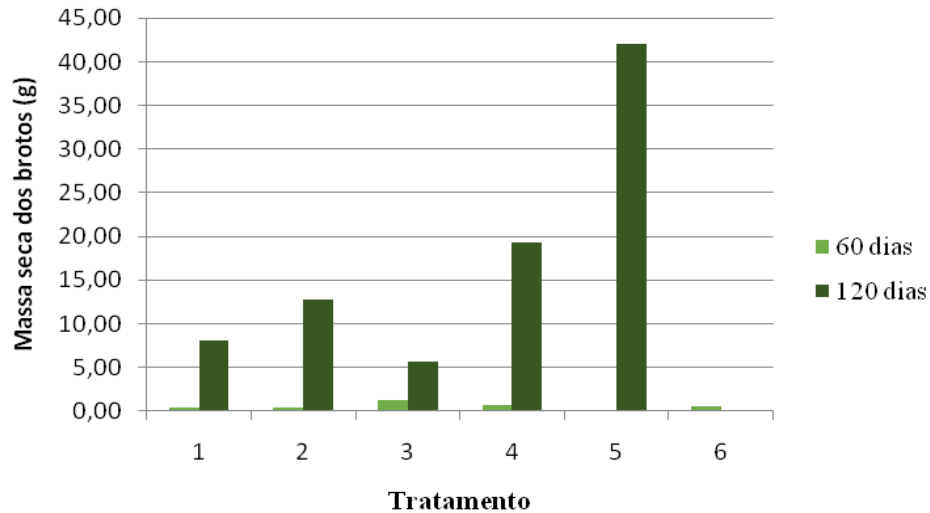


Tratamentos: 1- (D1-C1); 2- (D1-C2); 3- (D2-C1); 4(D2-C2); 5-(D3-C1); 6- (D3C2)

Fonte: do autor (2023).

A Figura 33 demonstra um grande aumento no comprimento dos brotos nos tratamentos aos 120 dias, exceto no tratamento 4.

Figura 33 – Massa seca média dos brotos em cada tratamento de *Schinus terebinthifolia* após 60 e 120 dias.



Tratamentos: 1- (D1-C1); 2- (D1-C2); 3- (D2-C1); 4(D2-C2); 5-(D3-C1); 6- (D3C2)

Fonte: do autor (2023).

4.2.4 Número de raízes

Nenhuma estaca da *Schinus terebinthifolia* emitiu enraizamento no período de 60 dias, porém emitiu com 120 dias, e a interação foi significativa ao nível de 5% de probabilidade. A maior quantidade de raízes foi observada nas estacas com classe de diâmetro 31 a 43 mm e comprimento 27 a 35 cm; mas também foram superiores nas estacas com classe de diâmetro 4 a 16,9 e 17 a 30,9 mm com comprimento 48 a 63 cm, como mostra a Tabela 6.

Tabela 6 - Média do número de raízes para os diâmetros de estaca de *Schinus terebinthifolia* com as duas classes de comprimentos, após 120 dias.

Classe de diâmetro (mm)	Classe de comprimento (cm)		Média geral
	27 - ≤35,9	48 - ≤63	
4 - ≤16,9	1,25 B b	10,12 A a	5,68
17 - ≤30,9	0,56 B b	9,31 A a	4,93
31 - ≤43	14,50 A a	0,00 B b	7,25
Média geral	5,43	9,71	

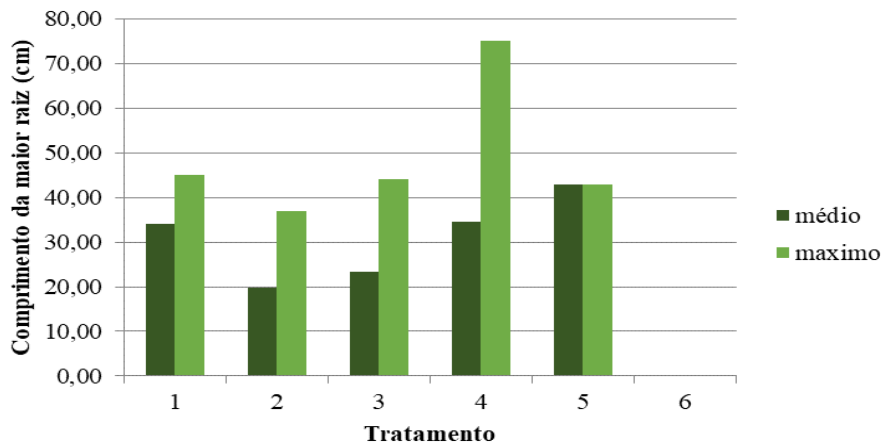
As médias seguidas da mesma letra minúscula na linha e letra maiúscula na coluna não diferem ao nível de 5% de probabilidade, pelo teste Tukey

Fonte: do autor (2023).

4.2.5 Comprimento da maior raiz

Os comprimentos médios e máximos dos tratamentos se encontram na Figura 34. A melhor média se encontra no tratamento 5 onde foi observado broto com 42

Figura 34 - Comprimentos médio e máximo da maior raiz em cada tratamento de *Schinus terebinthifolia* aos 120 dias.



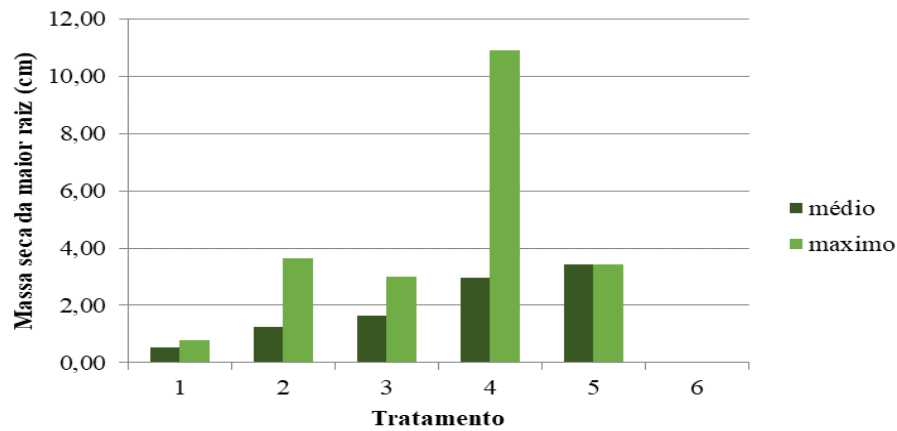
Tratamentos: 1- (D1-C1); 2- (D1-C2); 3- (D2-C1); 4(D2-C2); 5-(D3-C1); 6- (D3C2)

Fonte: do autor (2023).

4.2.6 Massa seca das raízes

Os registros de massa seca média e máxima das raízes de cada tratamento estão na Figura 35. No tratamento 5, foi observada a melhor média, com uma média de 43g.

Figura 35 - Massa seca média e máxima das raízes em cada tratamento de *Schinus terebinthifolia* aos 120 dias.



Tratamentos: 1- (D1-C1); 2- (D1-C2); 3- (D2-C1); 4(D2-C2); 5-(D3-C1); 6- (D3C2)

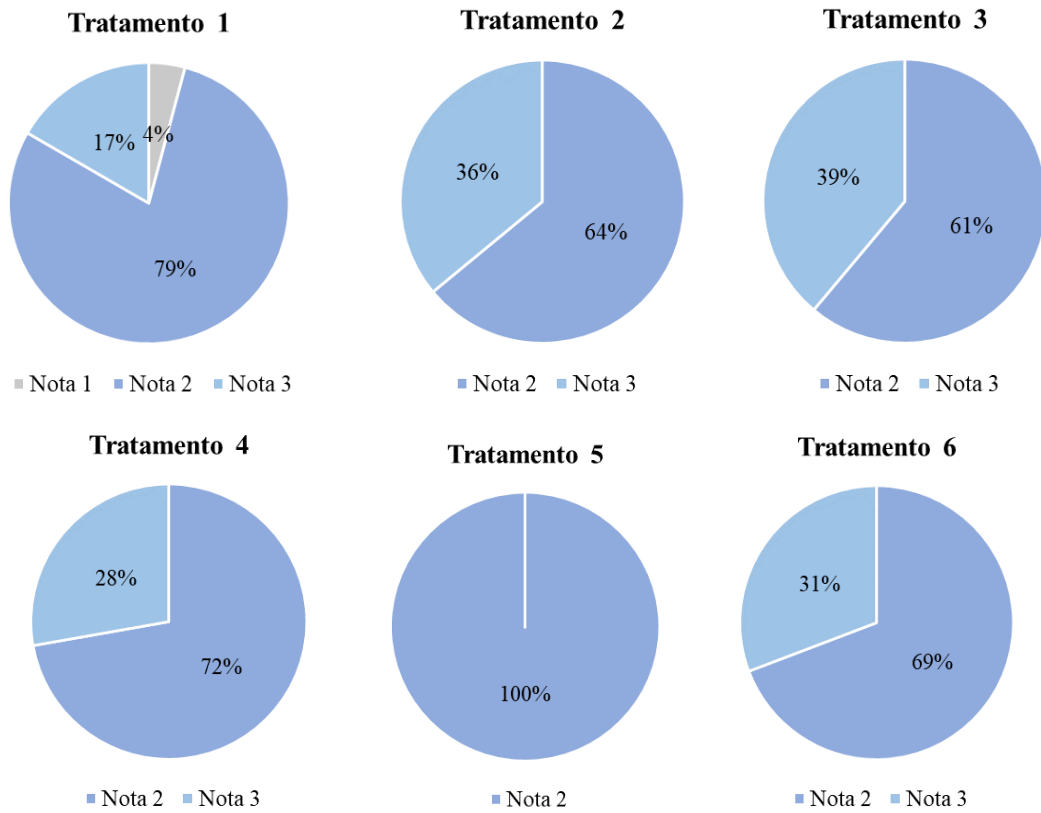
Fonte: do autor (2023).

Não houve grande diferença no número de brotos aos 60 dias e aos 120 dias, no entanto houve aumento expressivo no comprimento dos brotos aos 120 dias e conseqüentemente na massa seca dos brotos em todos os tratamentos. Quanto ao número de raízes, houve o surgimento de raízes apenas nas análises com 120 dias, onde estatisticamente houve interação do diâmetro e comprimento da estaca na geração de raízes, onde o melhor resultado foi com o tratamento 5 (estacas com 31 a 43 mm de diâmetro e 27 a 35 cm de comprimento).

4.2.7 Nota qualitativa

As notas atribuídas a cada estaca foram agrupadas por tratamento. Nas Figuras 36 e 37, é possível observar as porcentagens de cada nota aos 60 dias e aos 120 dias, respectivamente.

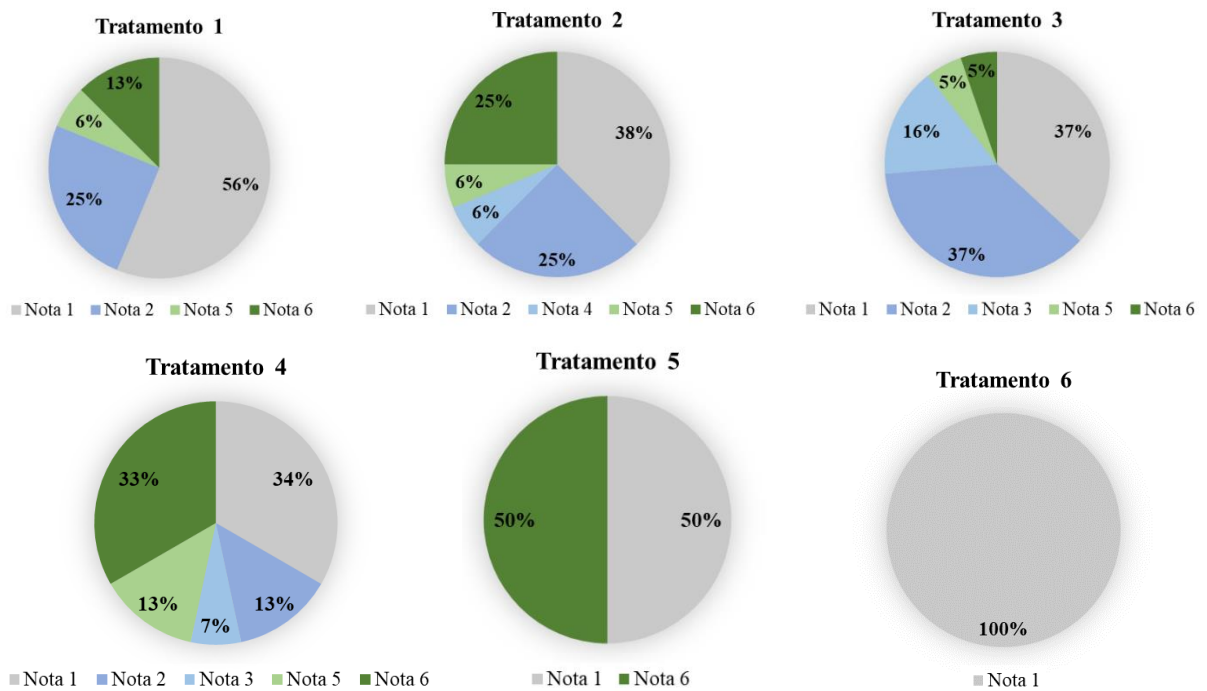
Figura 36 - Porcentagens de mudas de *Schinus terebinthifolia* avaliadas com cada nota qualitativa em cada tratamento, após 60 dias.



Tratamentos: 1- (D1-C1); 2- (D1-C2); 3- (D2-C1); 4-(D2-C2); 5-(D3-C1); 6- (D3C2). Notas: 1 - estaca morta, sem raiz e sem broto; 2 - estaca viva, sem raiz e sem broto; 3 - estaca emitiu broto, mas não emitiu raiz; 4 - estaca não emitiu broto, mas emitiu raiz; 5 - estaca emitiu broto e raiz, pouco desenvolvidos, ainda não tem padrão semelhante a muda apta para plantio e 6 - estaca emitiu broto e raiz, bem desenvolvidos, com padrão semelhante a muda apta para plantio.

Fonte: do autor (2023).

Figura 37 - Porcentagens de mudas de *Schinus terebinthifolia* avaliadas com cada nota qualitativa em cada tratamento, após 120 dias.



Tratamentos: 1- (D1-C1); 2- (D1-C2); 3- (D2-C1); 4(D2-C2); 5-(D3-C1); 6- (D3C2). Notas: 1 - estaca morta, sem raiz e sem broto; 2 - estaca viva, sem raiz e sem broto; 3 - estaca emitiu broto, mas não emitiu raiz; 4 - estaca não emitiu broto, mas emitiu raiz; 5 - estaca emitiu broto e raiz, pouco desenvolvidos, ainda não tem padrão semelhante a muda apta para plantio e 6 - estaca emitiu broto e raiz, bem desenvolvidos, com padrão semelhante a muda apta para plantio.

Fonte: do autor (2023).

Aos 60 dias a maior parte das estacas haviam recebido nota 2, ou seja, estavam vivas, mas ainda não haviam emitido brotos e raízes (Figura 38), fato que mudou aos 120 dias onde a maior porcentagem morreu. No entanto, aos 120 dias o tratamento 5 resultou em 50% de estacas com brotos e raízes bem desenvolvidos, recebendo nota 6 (Figura 39).

Figura 38 - Estacas de *Schinus terebinthifolia* com nota 2.



Fonte: do autor (2023).

Figura 39 - Estaca de *Schinus terebinthifolia* com nota 6.



Fonte: do autor (2023).

Com as atribuições de notas para as estacas, foi possível perceber que também houve maior mortalidade nos tratamentos após 120 dias, sendo que aos 60 maior parte das estacas haviam recebido nota 2, ou seja, estavam vivas, mas ainda não haviam emitido brotos e raízes fato que mudou aos 120 dias onde a maior porcentagem morreu. Tal comportamento pode estar relacionado à reserva de fotoassimilados nos primeiros 60 dias garantindo a

sobrevivência. No entanto, aos 120 dias o tratamento 5 resultou em 50% de estacas com brotos e raízes bem desenvolvidos, recebendo nota 6.

Nas condições estudadas a *Schinus terebinthifolia* mostrou demandar maior tempo que as outras espécies para emitir raízes não sendo tão interessante. No entanto, pode-se considerar que o tratamento 5 teve bons resultados, já que resultou em 50% de estacas nota 6, aos 120 dias.

Os resultados encontrados neste trabalho, exceto do tratamento 5, corroboram com os resultados de Chaves, T. A. et al (2018), que indicam baixas taxas de enraizamento de estacas da espécie, nas condições avaliadas. E com resultados de Santos (2009), em que estacas de *Schinus terebinthifolia*, apresentaram percentuais de enraizamento que variaram 5,5 a 8%.

4.3 *Sesbania virgata*

Das 96 estacas de *Sesbania virgata* distribuídas pelos 6 tratamentos avaliadas aos 60 dias, 41 delas (42,71%) emitiram pelo menos um broto. Sendo 12 (75 %) no tratamento 1; 13 (81,25 %) no tratamento 2; 6 (37,5 %) no tratamento 3; 7 (43,75%) no tratamento 4; 3 (18,75 %) no tratamento 5 e nenhuma no tratamento 6.

Aos 120 dias, 35 (36,45%) de 96 estacas emitiram pelo menos um broto. Sendo 8 (50 %) no tratamento 1; 7 (43,75 %) no tratamento 2; 2 (12,5 %) no tratamento 3; 5 (31,25%) no tratamento 4; 5 (31,25 %) no tratamento 5 e 8 (50 %) no tratamento 6.

4.3.1 Número de brotos

As médias de número de brotos se encontram na Tabela 7. As interações não foram significativas, nas estacas avaliadas após 60 dias. Isto é, o efeito do diâmetro da estaca não depende do comprimento da estaca para explicar o número de brotos e o efeito do comprimento da estaca não depende do diâmetro da estaca para o mesmo. Analisando as médias dos fatores separadamente, o tratamento com maior classe de diâmetro (31 a 43 mm) obteve menor média que os demais tratamentos e a classe de comprimento não apresentou diferença estatística.

Do mesmo modo que na avaliação com 60 dias, as interações não foram significativas, após 120 dias. Analisando as médias dos fatores separadamente, não houve diferença significativa nos tratamentos tanto pelas classes de diâmetro quanto nas classes de comprimento.

Tabela 7 - Média do número de brotos para as classes de diâmetros e de comprimentos de estacas de *Sesbania virgata* após 60 e 120 dias.

Classe de diâmetro (mm)	60 dias			120 dias		
	Classe de comprimento (cm)		Média geral	Classe de comprimento (cm)		Média geral
	30 - ≤50,9	51 - ≤76		30 - ≤50,9	51 - ≤76	
10 - ≤23,9	1,25	2,38	1,81 A	2,44	5,19	3,81
24- ≤37,9	0,81	2,19	1,50 AB	1,38	12,81	7,09
38 - ≤50	0,19	0,00	0,09 B	4,19	20,25	12,22
Média geral	0,75	1,52		2,67	12,75	

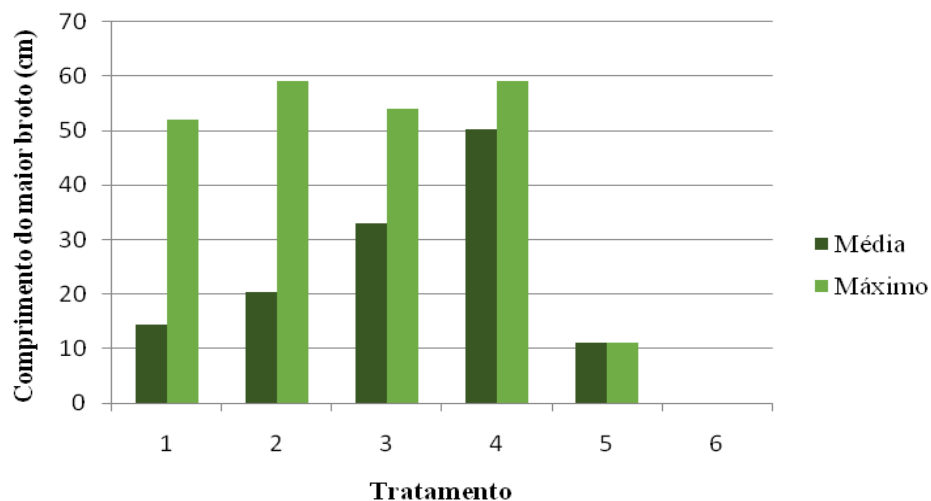
As médias seguidas da mesma letra maiúscula na coluna não diferem ao nível de 5% de probabilidade, pelo teste Tukey.

Fonte: do autor (2023).

4.3.2 Comprimento do maior broto

Os comprimentos médios e máximos dos tratamentos aos 60 dias se encontram no gráfico da Figura 40. A melhor média se encontra no tratamento 4 onde foi observado broto com 59 cm.

Figura 40 - Comprimentos médio e máximo do maior broto em cada tratamento de *Sesbania virgata* após 60 dias.

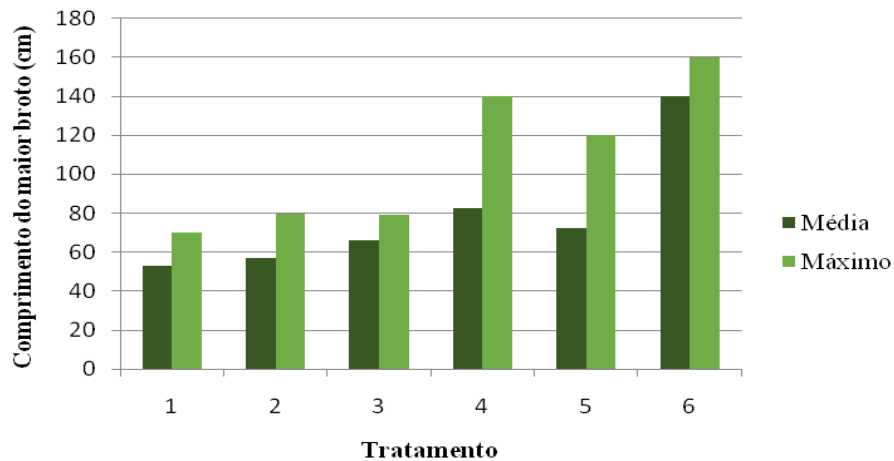


Tratamentos: 1- (D1-C1); 2- (D1-C2); 3- (D2-C1); 4(D2-C2); 5-(D3-C1); 6- (D3C2)

Fonte: do autor (2023).

Assim como as outras espécies, houve um grande aumento nos comprimentos médios e máximos dos tratamentos aos 120 dias. A melhor média se encontra no tratamento 6, onde foi observado broto com até 160 cm, conforme mostra a Figura 41.

Figura 41 - Comprimentos médio e máximo do maior broto em cada tratamento de *Sesbania virgata* após 120 dias.

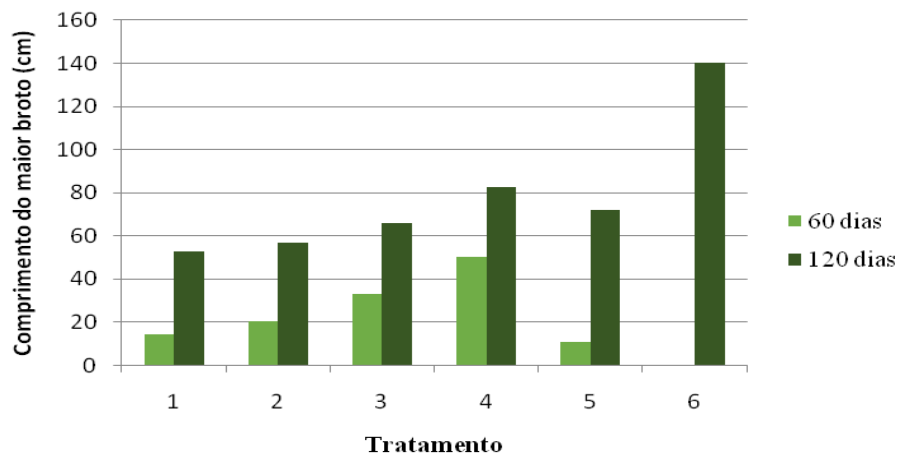


Tratamentos: 1- (D1-C1); 2- (D1-C2); 3- (D2-C1); 4(D2-C2); 5-(D3-C1); 6- (D3C2)

Fonte: do autor (2023).

A Figura 42 ressalta um grande aumento no comprimento dos brotos nos tratamentos aos 120 dias, comparado aos 60 dias.

Figura 42 – Comprimentos médios do maior broto de *Sesbania virgata* após 60 e 120 dias.



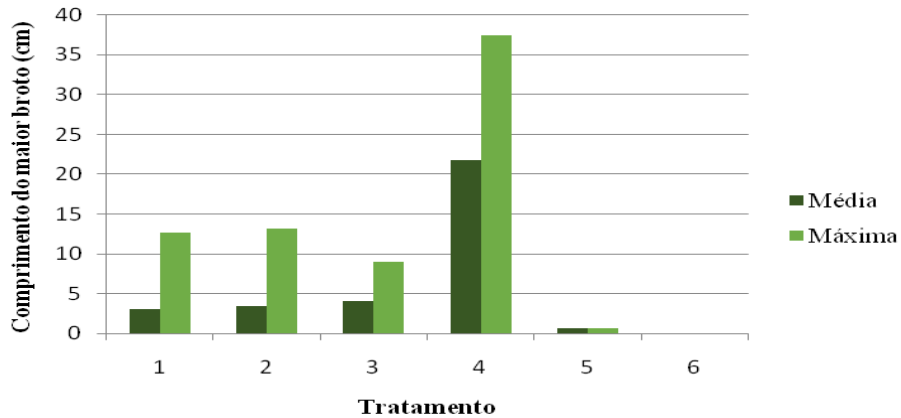
Tratamentos: 1- (D1-C1); 2- (D1-C2); 3- (D2-C1); 4(D2-C2); 5-(D3-C1); 6- (D3C2)

Fonte: do autor (2023).

4.3.3 Massa seca dos brotos

Os registros de massa seca média e máxima dos brotos de cada tratamento aos 60 dias, estão na Figura 43. No tratamento 4, foi observado a melhor média (21,73g) onde também se tem a estaca com maior massa seca (37,4g).

Figura 43 - Massa seca média e máxima dos brotos em cada tratamento de *Sesbania virgata* após 60 dias.

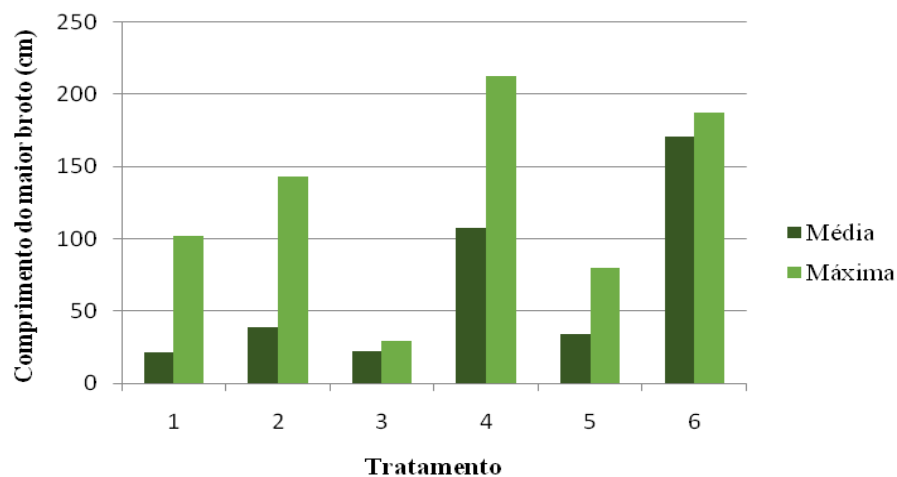


Tratamentos: 1- (D1-C1); 2- (D1-C2); 3- (D2-C1); 4(D2-C2); 5-(D3-C1); 6- (D3C2)

Fonte: do autor (2023).

Na Figura 44 estão os registros aos 120 dias, onde os tratamentos 6 e 4 apresentaram as melhores médias (170,54 g e 107,51 g respectivamente).

Figura 44 - Massa seca média e máxima dos brotos em cada tratamento de *Sesbania virgata* após 120 dias.

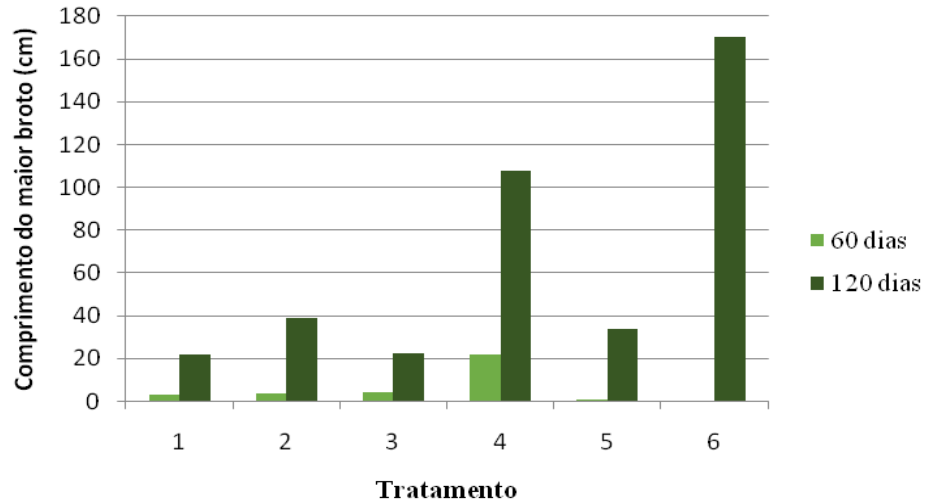


Tratamentos: 1- (D1-C1); 2- (D1-C2); 3- (D2-C1); 4(D2-C2); 5-(D3-C1); 6- (D3C2)

Fonte: do autor (2023).

A Figura 45 ilustra o aumento em massa seca dos brotos nos tratamentos aos 120 dias, comparado aos 60 dias.

Figura 45 – Massa seca média dos brotos de *Sesbania virgata* após 60 e 120 dias.



Tratamentos: 1- (D1-C1); 2- (D1-C2); 3- (D2-C1); 4(D2-C2); 5-(D3-C1); 6- (D3C2)

Fonte: do autor (2023).

4.3.4 Número de raízes

As médias de número de raízes se encontram na Tabela 8. Após 60 dias a interação foi significativa ao nível de 5% de probabilidade. O tratamento com classe de diâmetro (38 a 50 mm) e classe de comprimento (51 a 76 cm) não obteve enraizamento, já os demais tratamentos não apresentaram diferença significativa quanto ao diâmetro, mas apresentaram melhores resultados com classe de comprimento 51 a 76 cm.

Após 120 dias a interação foi significativa ao nível de 5% de probabilidade. O tratamento com maior classe de diâmetro (38 a 50 mm) e com maior classe de comprimento (51 a 76 cm) obteve mais raízes.

Tabela 8 - Média do número de raízes para as classes de diâmetros e de comprimentos de estacas de *Sesbania virgata* após 60 e 120 dias.

Classe de diâmetro (mm)	60 dias			120 dias		
	Classe de comprimento (cm)		Média geral	Classe de comprimento (cm)		Média geral
	30 - ≤50,9	51 - ≤76		30 - ≤50,9	51 - ≤76	
10 - ≤23,9	7,31 A b	18,50 A a	12,9	12,85 A a	12,75 B a	12,80
24- ≤37,9	3,62 A b	19,31 A a	11,5	5,12 A a	15,87 B a	10,50
38 - ≤50	2,81 A a	0,00 B a	1,4	5,31 A b	41,25 A a	23,28
Média geral	4,58	12,60		7,76	23,39	

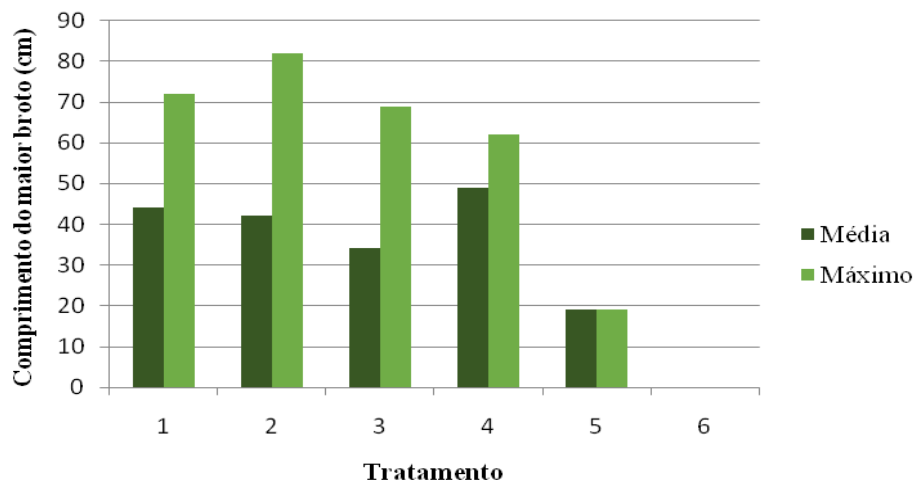
As médias seguidas da mesma letra minúscula na linha e letra maiúscula na coluna não diferem ao nível de 5% de probabilidade, pelo teste Tukey.

Fonte: do autor (2023).

4.3.5 Comprimento da maior raiz

Os comprimentos médios e máximos da maior raiz dos tratamentos aos 60 dias estão registrados na Figura 46. O tratamento 4 apresentou a melhor média (49 cm) com brotos chegando a 62 cm; já o tratamento 2 obteve brotos chegando a 82 cm.

Figura 46 - Comprimentos médio e máximo da maior raiz em cada tratamento de *Sesbania virgata* após 60 dias.

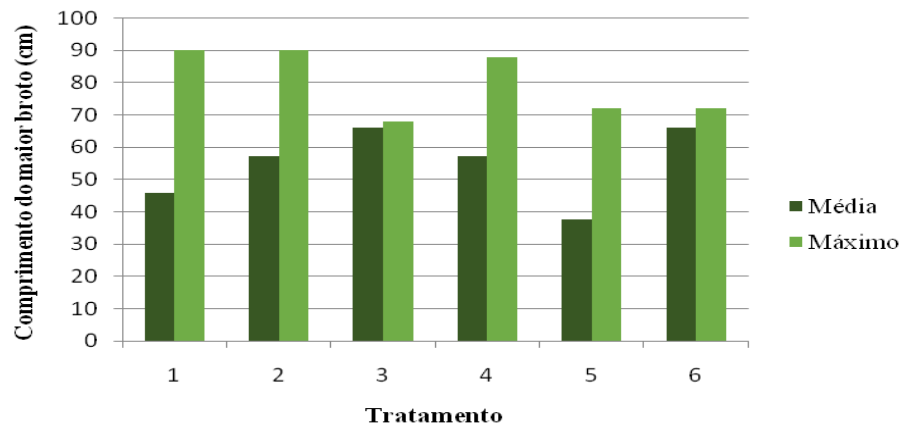


Tratamentos: 1- (D1-C1); 2- (D1-C2); 3- (D2-C1); 4(D2-C2); 5-(D3-C1); 6- (D3C2)

Fonte: do autor (2023).

Já as médias dos comprimentos de maior raiz aos 120 dias estão registrados na Figura 47, onde foi observada média de 66 nos tratamentos 3 e 6, com brotos chegando a 68 e 72 cm, respectivamente.

Figura 47 - Comprimentos médio e máximo da maior raiz em cada tratamento de *Sesbania virgata* após 120 dias.

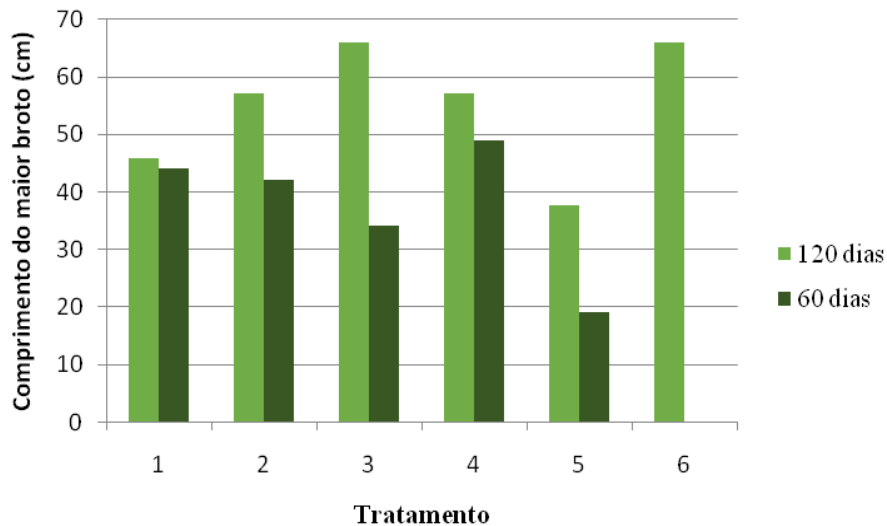


Tratamentos: 1- (D1-C1); 2- (D1-C2); 3- (D2-C1); 4(D2-C2); 5-(D3-C1); 6- (D3C2)

Fonte: do autor (2023).

A Figura 48 ilustra o aumento da raiz (cm) nos tratamentos aos 120 dias, comparado aos 60 dias.

Figura 48 – Comprimento médio da maior raiz de *Sesbania virgata* após 60 e 120 dias.



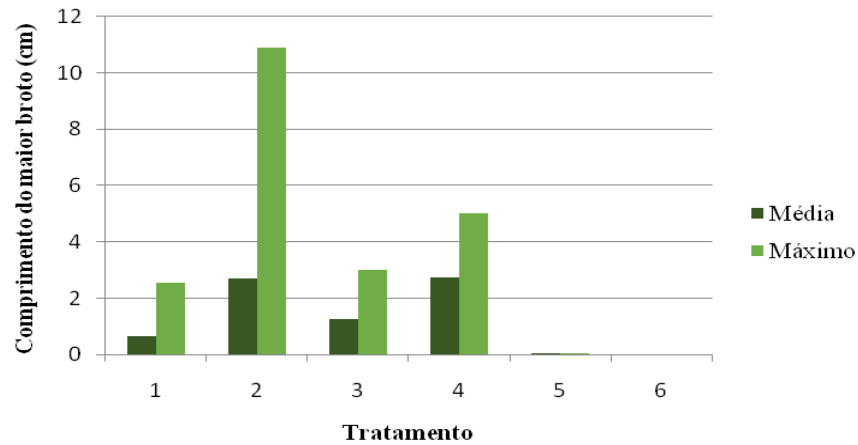
Tratamentos: 1- (D1-C1); 2- (D1-C2); 3- (D2-C1); 4(D2-C2); 5-(D3-C1); 6- (D3C2)

Fonte: do autor (2023).

4.3.6 Massa seca das raízes

Os registros de massa seca média e máxima das raízes de cada tratamento aos 60 dias e 120 dias, estão nas Figuras 49 e 50 respectivamente. Aos 60 dias a melhor média foi no tratamento 4 (2,73g) e aos 120 dias no tratamento 6 (64,95g).

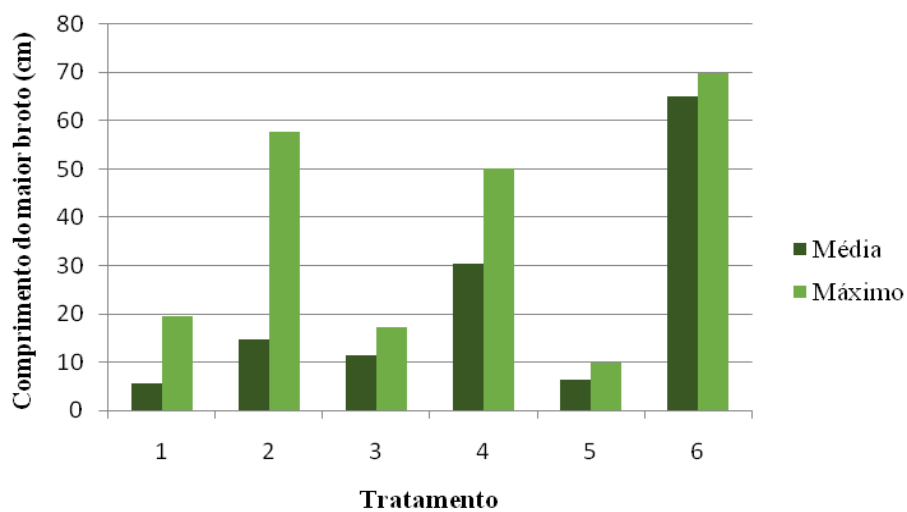
Figura 49 - Massa seca média e máxima das raízes em cada tratamento de *Sesbania virgata* após 60 dias.



Tratamentos: 1- (D1-C1); 2- (D1-C2); 3- (D2-C1); 4-(D2-C2); 5-(D3-C1); 6- (D3C2)

Fonte: do autor (2023).

Figura 50. Massa seca média e máxima das raízes em cada tratamento de *Sesbania virgata* após 120 dias.

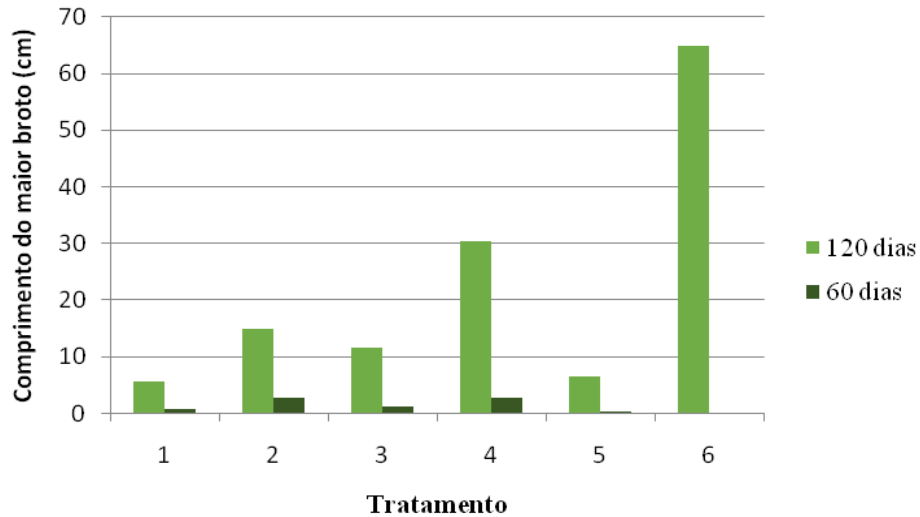


Tratamentos: 1- (D1-C1); 2- (D1-C2); 3- (D2-C1); 4-(D2-C2); 5-(D3-C1); 6- (D3C2)

Fonte: do autor (2023).

A Figura 51 ilustra o aumento de massa seca da raiz nos tratamentos aos 120 dias, comparado aos 60 dias.

Figura 51 – Gráfico de massa seca de raiz de *Sesbania virgata* após 60 e 120 dias.



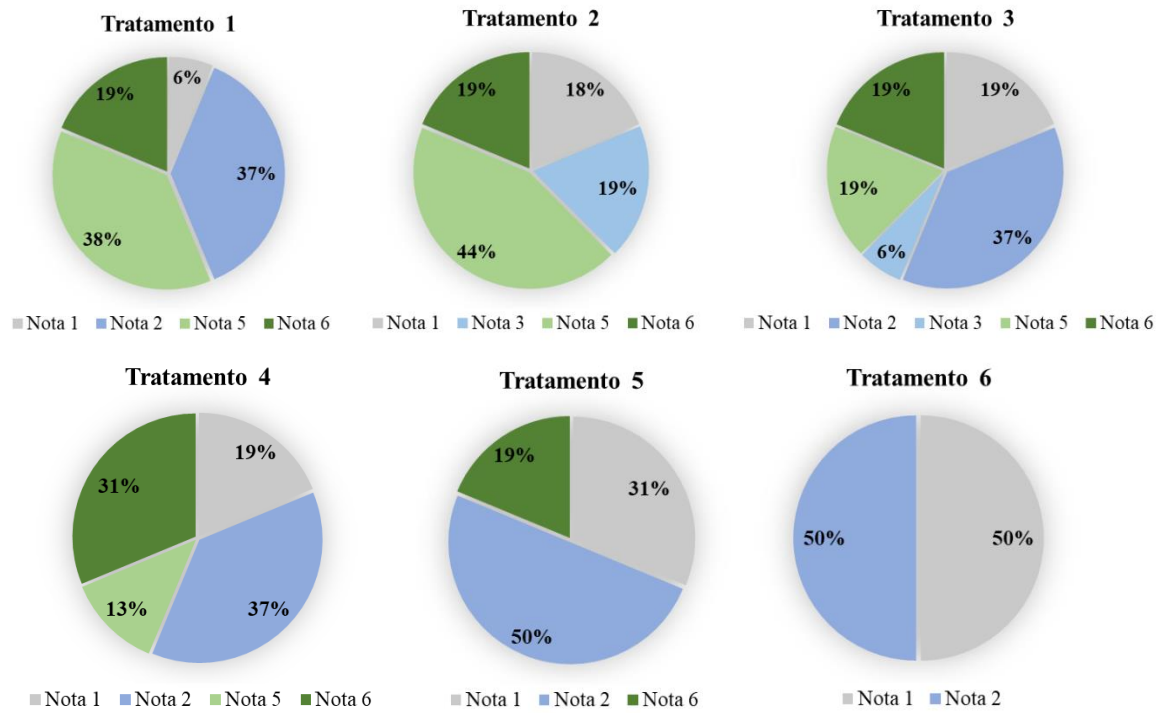
Tratamentos: 1- (D1-C1); 2- (D1-C2); 3- (D2-C1); 4(D2-C2); 5-(D3-C1); 6- (D3C2)

Fonte: do autor (2023).

4.3.7 Nota qualitativa

As notas atribuídas a cada estaca foram agrupadas para cada tratamento. Nas Figuras 52 e 53 podem ser observadas as porcentagens de cada nota, aos 60 dias e aos 120 dias respectivamente.

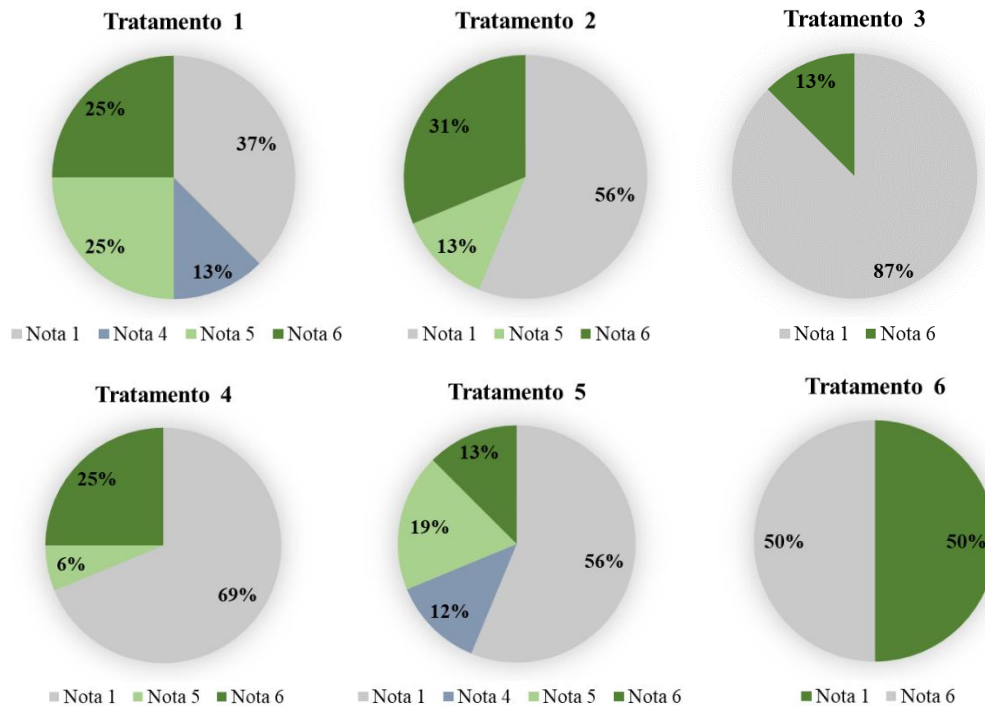
Figura 52 - Porcentagem de mudas de *Sesbania virgata* avaliadas com cada nota qualitativa em cada tratamento, após 60 dias.



Tratamentos: 1- (D1-C1); 2- (D1-C2); 3- (D2-C1); 4(D2-C2); 5-(D3-C1); 6- (D3C2). Notas: 1 - estaca morta, sem raiz e sem broto; 2 - estaca viva, sem raiz e sem broto; 3 - estaca emitiu broto, mas não emitiu raiz; 4 - estaca não emitiu broto, mas emitiu raiz; 5 - estaca emitiu broto e raiz, pouco desenvolvidos, ainda não tem padrão semelhante a muda apta para plantio e 6 - estaca emitiu broto e raiz, bem desenvolvidos, com padrão semelhante a muda apta para plantio.

Fonte: do autor (2023).

Figura 53 - Porcentagem de mudas de *Sesbania virgata* avaliadas com cada nota qualitativa em cada tratamento, após 120 dias.



Tratamentos: 1- (D1-C1); 2- (D1-C2); 3- (D2-C1); 4(D2-C2); 5-(D3-C1); 6- (D3C2). Notas: 1 - estaca morta, sem raiz e sem broto; 2 - estaca viva, sem raiz e sem broto; 3 - estaca emitiu broto, mas não emitiu raiz; 4 - estaca não emitiu broto, mas emitiu raiz; 5 - estaca emitiu broto e raiz, pouco desenvolvidos, ainda não tem padrão semelhante a muda apta para plantio e 6 - estaca emitiu broto e raiz, bem desenvolvidos, com padrão semelhante a muda apta para plantio.

Fonte: do autor (2023).

Os resultados foram relativamente bons, aos 60 dias, a maior parte das estacas vivas receberam notas 5 e 6 (Figuras 54 e 55). O tratamento 6, apresentou 50% de estacas com brotos e raízes bem desenvolvidos, recebendo nota 6, aos 120 dias (Figura 56). Estas mudas chegaram a mais de 2 metros no vaso (Figura 57). Com raízes bem fasciculadas e grossas (Figura 58), tendo potencial para experimentação em projetos de bioengenharia de solos.

Figura 54 - Estaca de *Sesbania virgata* aos 60 dias com nota 5.



Fonte: do autor (2023).

Figura 55 - Estaca de *Sesbania virgata* aos 60 dias com nota 6.



Fonte: do autor (2023).

Figura 56 - Estaca de *Sesbania virgata* aos 120 dias com nota 6.



Fonte: do autor (2023).

Figura 57 - Vaso de *Sesbania virgata* aos 120 dias.



Fonte: do autor (2023).

Figura 58 - Raízes de *Sesbania virgata* aos 120 dias de estaca com nota 6.



Fonte: do autor (2023).

Aos 120 dias, houve um grande aumento no número de brotos, no comprimento dos brotos e na massa seca dos brotos em todos os tratamentos. Houve também desenvolvimento da parte radicular. De modo geral as estacas com comprimento entre 51 e 70 cm, tiveram melhores resultados.

A espécie, assim como as outras, apresentou maior mortalidade nos tratamentos após 120 dias, o que pode estar relacionado à reserva de fotoassimilados nos primeiros 60 dias garantindo sua sobrevivência.

A estação do ano em que a estaca é feita pode influenciar significativamente o enraizamento. Kettenhuber; Sousa; Sutili (2019), encontraram melhores taxas de enraizamento e sobrevivência nas estações de outono e inverno, com até 91,7%. O presente estudo foi realizado no verão, podendo, portanto, ter ainda melhor resultado.

O excelente resultado encontrado, combinado a sua rusticidade e capacidade de estabelecer simbiose com rizóbio, a torna ainda mais propícia a sua recomendação para recuperação de áreas degradadas. Vale ressaltar que estudos com uso de hormônios de enraizamento, podem melhorar ainda mais esse resultado.

5 CONCLUSÃO

As espécies *Salix humboldtiana* e *Sesbania virgata* demonstram ser promissoras em projetos de bioengenharia de solos, como contenção de taludes. A *Salix humboldtiana* pode ser facilmente propagada por estacas para todas as classes de diâmetro testadas com classe de

comprimento de 44 a 64 cm. As estacas de *Sesbania virgata* apresentam potencial na classe de diâmetro 38 a 50 mm e classe de comprimento de 51 a 70 cm.

Estacas da espécie *Schinus terebinthifolia* apresentaram baixas taxas de enraizamento na maioria dos tratamentos nas condições avaliadas, mas apresentou boa taxa de enraizamento com classe de diâmetro de 31 a 43 mm e comprimento de 27 a 35,9 cm.

Sebastiania schottiana não demonstrou potencial de enraizamento nas condições do estudo.

Estudos complementares que possibilitem maior conhecimento sobre essas espécies devem ser realizados, como diferentes épocas de coleta da estaca e aplicação de auxinas para estimular o enraizamento. Além disso, outras espécies nativas devem ser estudadas, tanto arbóreas quanto arbustivas, visando aumentar o número de espécies para uso na bioengenharia.

REFERÊNCIAS

- ABDAL, A. Sobre regiões e desenvolvimento: o processo de desenvolvimento regional brasileiro no período 1999-2010. Tese (Doutorado em Sociologia) – Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo. São Paulo, p. 261. 2015.
- ARAÚJO. B. C. et al. CARACTERIZAÇÃO MORFOLÓGICA DE FRUTOS, SEMENTES E PLÂNTULAS DE *Sesbania virgata* (CAV.) PERS¹. **Revista Brasileira de Sementes**, vol. 26, nº1, p.105-110, 2004.
- ARAUJO, G. H. de S.; ALMEIDA, J. R. de; GUERRA, A. J. T. Gestão Ambiental de Áreas Degradadas. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2011.
- BRASIL. Ministério da Saúde. **MONOGRAFIA DA ESPÉCIE *Salix alba* (SALGUEIRO BRANCO)**. Brasília, DF, 2015.
- CARVALHO, Paulo Ernani Ramalho. **Espécies Arbóreas Brasileiras**. 1v. (1.039p.) Colombo, PR: Embrapa Florestas, 2003.
- CHAVES, T. A. et al. PROPAGAÇÃO VEGETATIVA DA AROEIRA (*Schinus terebinthifolius Raddi*) POR ESTAQUIA. ANAIS DO XXII CONGRESSO BRASILEIRO DE ARBORIZAÇÃO URBANA, p. 35, 2018.
- Classificação climática de Köppen para os municípios brasileiros. **Koppenbrasil**, 2023. Disponível em: <https://koppenbrasil.github.io/>. Acesso em: 02 jun. 2023.
- CNCFLORA. *Salix humboldtiana* in Lista Vermelha da flora brasileira versão 2012.2 Centro Nacional de Conservação da Flora. Disponível em <[http://cncflora.jbrj.gov.br/portal/pt-br/profile/Salix humboldtiana](http://cncflora.jbrj.gov.br/portal/pt-br/profile/Salix_humboldtiana)>. Acesso em 2 junho 2023.
- DOS SANTOS, J. de P. et al. Enraizamento de estacas lenhosas de espécies florestais. **Cerne**, Lavras, v. 17, n. 3, p. 293-301, jul./set. 2011.
- DOS SANTOS, J. de P. **POTENCIAL DE ENRAIZAMENTO DE ESTACAS LENHOSAS DE ESPÉCIES FLORESTAIS DA MATA CLAR**. Tese (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Federal de Lavras. Lavras. 2015.
- EUBANKS, C. E., MEADOWS, D. **A Soil Bioengineering Guide for Streambank and Lakeshore Stabilization**. Washington: U.S. Department of Agriculture Forest Service Technology and Development Program, 2006.
- FLORENTINO et al. *SESBANIA VIRGATA* ESTIMULA A OCORRÊNCIA DE SEU MICROSSIMBIONTE NOS SOLOS, MAS NÃO INIBE OS MICROSSIMBIONTES DE OUTRAS ESPÉCIES. **Soils and Plant Nutrition Sci. Agric.** Piracicaba, Brazil, v.66, n.5, p.667-676, September/October 2009.
- KETTENHUBER, P. W., SOUSA, R.; SUTILI, F. Vegetative Propagation of Brazilian Native Species for Restoration of Degraded Areas. **Floresta e Ambiente**, 26(2), 2019.
- MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Ministério do Meio Ambiente**. Disponível em: <<https://antigo.mma.gov.br/florestas/comissao-nacional-de-florestas/historico/item/8705-recuperaçao-de-areas-degradadas.html>>. Acesso em: 19 jan. 2023.

MOREIRA, T. Restauração Ecológica no Brasil: Desafios e Oportunidades. **Relatório WWF-Brasil**, p. 89, 2017.

PALLONE, R. S.; TODD, A. H. Chesapeake Bay riparian handbook: A guide for establishing and maintaining riparian forest buffers. **USDA Forest Service, NA-TP**, p. 02-97, 1997.

REPÚBLICA FEDERATIVA DO BRASIL. **CONSTITUIÇÃO DA REPÚBLICA FEDERATIVA DO BRASIL DE 1988**, 1998. Disponível em: <https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/constituicao/constituicao.htm>. Acesso em: 19 jan. 2023.

REPÚBLICA FEDERATIVA DO BRASIL. **LEI Nº 6.938, DE 31 DE AGOSTO DE 1981**, 1981. Disponível em: <https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l6938.htm>. Acesso em: 19 jan. 2023.

Salgueiro. Portal São Francisco, 2023. Disponível em: <https://www.portalsaofrancisco.com.br/biologia/salgueiro>. Acesso em: 02 jun. 2023.

SANTOS, J. de P. Enraizamento de estacas lenhosas de espécies florestais **CERNE**, Universidade Federal de Lavras, Lavras, Brasil, vol. 17, núm. 3, p. 293-301, jul-set ,2011.

SANTOS, J. de P. **DOS. Potencial de enraizamento de estacas lenhosas de espécies florestais da mata ciliar**. [s.l: s.n.], 2009.

Schinus terebinthifolia Raddi. **Universidade Federal do Estado do Rio de Janeiro - Herbário Prof. Jorge Pedro Pereira Carauta (HUNI), 2023.** Disponível em: <www.C.br/ccbs/ibio/herbariohuni/schinus-terebinthifolia-raddi>. Acesso em: 02 jun. 2023.

SCHMEIER, N. P. BIOENGENHARIA DE SOLOS: UMA ALTERNATIVA À RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS. **REVISTA DESTAQUES ACADÊMICOS**, Lajeado - RS, VOL. 5, N. 4, p. 127 - 130, 2013.

Sebastiania schottiana (Müll. Arg.) Müll. Arg. (sarandi). **Herbário Bruno Edgar Irgang-Universidade Federal do Pampa (UNIPAMPA), 2023.** Disponível em: <<https://herbariohbei.wixsite.com/hbei/sebastiania-schottiana>>. Acesso em: 02 jun. 2023.

Sebastiania schottiana (Müll.Arg.) Müll.Arg.. **Plants of the World Online, 2023.** Disponível em: <<https://powo.science.kew.org/taxon/urn:lsid:ipni.org:names:356288-1>>. Acesso em: 02 jun. 2023.

Sesbania virgata (Cav.) Poir. **REFLORA Flora e Funga do Brasil, 2023.** Disponível em: <http://floradobrasil.jbrj.gov.br/reflora/listaBrasil/ConsultaPublicaUC/BemVindoConsultaPublicaConsultar.do?invalidatePageControlCounter=1&idsFilhosAlgas=%5B2%5D&idsFilhosFungos=%5B1%2C11%2C10%5D&lingua=&grupo=6&familia=null&genero=&especie=&autor=&nomeVernaculo=&nomeCompleto=Fabaceae+Sesbania+virgata+%28Cav.%29+Poir.&formaVida=null&substrato=null&ocorreBrasil=QUALQUER&ocorrencia=OCORRE&endemismo=TODOS&origem=TODOS®iao=QUALQUER&estado=QUALQUER&ilhaOceanica=32767&domFitogeograficos=QUALQUER&bacia=QUALQUER&vegetacao=TODOS&mostrarAte=SUBESP_VAR&opcoesBusca=TODOS_OS_NOMES&loginUsuario=Visitante&senhaUsuario=&contexto=consulta-publica>. Acesso em: 02 jun. 2023.

SOUSA, R. DOS S.; SUTILI, F. J. ASPECTOS TÉCNICOS DAS PLANTAS UTILIZADAS EM ENGENHARIA NATURAL. **Revista e Ambiente** 46/47, p. 32–71, 2013.

SUTILI, F. J. PESQUISA E APLICAÇÃO DA ENGENHARIA NATURAL NO BRASIL. In: **CASCAIS WORLD FORUM 2012 SOIL BIOENGINEERING AND LAND MANAGEMENT – NEW CHALLENGES Sustaining Our Land, Water and Life in Changing Climate**. E-BOOK / I ed. [s.l: s.n.]. p. 48–52, 2013.

SUTILI, F. J.; DURLO, M. A. **Bioengenharia Manejo biotécnico de cursos de água**. [s.l.] 3ª edição, 2014.

SUTILI, F. J.; DURLO, M. A.; BRESSAN, A. D. *Phyllanthus sellowianus*. **Ci**, p. 523–532, 2010.

WENDLING, Ivar. **PROPAGAÇÃO VEGETATIVA**. Colombo, PR: Embrapa Florestas, 2003.