UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
CENTRO DE CIÊNCIAS RURAIS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA FLORESTAL
CURSO DE ENGENHARIA FLORESTAL

Daniel Zuse Petermann

Propagação vegetativa de *Salix humboldtiana* Willd.: influência de diferentes matrizes e posição da estaca no ramo

Santa Maria, RS
2019

Daniel Zuse Petermann

Propagação vegetativa de *Salix humboldtiana* Willd.: influência de diferentes matrizes e posição da estaca no ramo

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Florestal, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do título de **Engenheira Florestal**.

Orientador: Prof. Dr. Fabricio Jaques Sutili

Santa Maria, RS
2019

Daniel Zuse Petermann

Propagação vegetativa de *Salix humboldtiana* Willd.: influência de diferentes matrizes e posição da estaca no ramo

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Florestal, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do título de **Engenheira Florestal**.

Aprovado em 03 de julho de 2019:

_____

Fabricio Jaques Sutili, Dr. (UFSM)
(Presidente/Orientador)

_____

Luciane Almeri Tabaldi, Dra. (UFSM)

_____

Paula Letícia Kettenhuber, Me. (UFSM)

Santa Maria, RS
2019

AGRADECIMENTOS

Gostaria de prestar agradecimentos à toda e qualquer pessoa que, por sorte ou azar, cruzou com o meu caminho deixando lembranças, boas ou ruins. A vida é - e sempre será - aprendizado. Agradeço, porém, de maneira especial:

Ao meu orientador, Prof. Dr. Fabricio Jaques Sutili, pela motivação, inspiração e aprendizados a cerca da Engenharia Natural, bem como apoio para a elaboração deste trabalho;

À professora e amiga Dra. Luciane Almeri Tabaldi, pela maestria em transmitir conhecimentos de Fisiologia Vegetal para alguém com muitas dificuldades nesse tema e pela paciência e parceria durante esse processo, por toda a disponibilidade cedida à mim através da utilização do Laboratório de Fisiologia Vegetal do Departamento de Biologia da UFSM e principalmente pela amizade que cultivamos;

À Paula Letícia Kettenhuber, por toda gentileza, paciência e aprendizados à mim direcionados, pela amizade construída durante a elaboração deste trabalho bem como pelas valiosas dicas, orientações e correções prestadas ao mesmo. Agradeço imensamente!

Ao amigo Jorge, que tanto me ajudou na condução dos experimentos, meus sinceros agradecimentos pelos conhecimentos compartilhados, pelos momentos de descontração, pelas caronas, e principalmente por ter um ótimo gosto musical;

Ao meu amigo e colega de curso Victor Drago, pelos incontáveis, inenarráveis e inesquecíveis momentos compartilhados desde o primeiro dia de aula;

À amiga Alice Wendt, pela amizade descontraída que temos e por todo apoio prestado;

À amiga Júlia Naicin, por me salvar em um momento de extrema tristeza e solidão durante a elaboração deste trabalho, por compartilhar comigo as próprias dores e aliviar as minhas, por ser incrível e, não menos importante, por dançar um belíssimo forró;

Aos meus amigos Fábio, Heitor e Leonardo (Skilo), pela amizade, parceria e camaradagem nos momentos incríveis em que pudemos expressar nossa musicalidade (duvidosa) e tantos outros;

Ao meu mais antigo e fiel amigo Bruno Ziegler, por quem tenho enorme admiração, obrigado por absolutamente tudo;

Aos meus tios Cleo e Paulo, por toda compreensão, amor, e estrutura à mim cedidos durante o curso;

À minha madrinha e tia Valquíria, por ser minha segunda-mãe-oficial e me tratar como filho. Jamais conseguirei expressar tamanha gratidão;

Às minhas irmãs Laisa e Mel, por todo amor e momentos compartilhados.

Ao meu padrasto Binato que, muito provavelmente é a pessoa mais compreensiva do mundo, por me aceitar e permitir ser aceito, por ser meu médico, psicólogo, pai, e acima de tudo, um grande amigo;

Ao meu avô Emílio, por me ensinar tanto sobre a natureza, e por ser o meu melhor amigo. Minha total admiração, respeito e amor;

À minha mãe Marisa, por toda a infinidade de coisas e momentos que teve de abrir mão para que eu estivesse hoje escrevendo agradecimentos do meu trabalho de conclusão de curso de uma universidade federal, pelo apoio incondicional nos meus acertos e falhas, pelas cobranças, pelos conselhos, por todo apoio financeiro prestado, e por todo amor. A palavra que melhor expressaria minha gratidão não existe e, por não conhecer outra: Obrigado!

RESUMO

Propagação vegetativa de *Salix humboldtiana* Willd.: influência de diferentes matrizes e posição da estaca no ramo

AUTOR: DANIEL ZUSE PETERMANN
ORIENTADOR: FABRÍCIO JAQUES SUTILI

A Engenharia Natural é uma disciplina que tem objetivos técnicos, ecológicos, estéticos e econômicos e que aproveita as múltiplas funções das plantas para suas obras. A espécie *Salix humboltidiana* Willd., por sua vez, é amplamente utilizada em obras de Engenharia Natural por possuir propriedades biotécnicas e por ser facilmente multiplicada via estaquia. A fim de ampliar os conhecimentos sobre a propagação vegetativa por estaquia da espécie, foram realizados dois experimentos: O experimento 1 analisou, após 76 dias do plantio em estufa climatizada e irrigada, variáveis da parte aérea e sistema radicular de estacas de 20 cm de comprimento obtidas de três matrizes diferentes que foram plantadas no mesmo dia (setembro de 2016) mas expressaram notória diferença de altura e quantidade de brotos. O experimento 2 analisou, nas mesmas condições do experimento 1, variáveis de parte aérea e sistema radicular de estacas obtidas de diferentes posições (basal, mediana e apical) nos ramos da matriz 1 do experimento 1. Os tratamentos não apresentaram resultados diferentes estatisticamente no experimento 1. Desse modo, as variáveis avaliadas não explicam o fato das matrizes apresentarem portes diferentes. O experimento 2 apresentou diferença significativa entre os tratamentos apenas para a variável sobrevivência, em que as estacas da porção apical apresentaram a maior média (95%), seguidas das estacas da porção mediana (90%).

Palavras-chave: Engenharia Natural; Propriedades biotécnicas; Enraizamento.

ABSTRACT

Vegetative propagation of *Salix humboldtiana* Willd .: influence of different donor plants and cutting position in the branch

AUTHOR: DANIEL ZUSE PETERMANN
ADVISER: FABRÍCIO JAQUES SUTILI

Soil Bioengineering is a discipline that has technical, ecological, aesthetic and economic objectives and that takes advantage of the multiple functions of plants for their works. The species *Salix humboltidiana* Willd. is widely used in Soil Bioengineering works because it has biotechnical properties and is easily multiplied by cuttings. In order to increase knowledge about the vegetative propagation by hardwood cuttings of specie, two experiments were carried out: experiment 1 analyzed, after 76 days of planting in a automated greenhouse, survival and shoot variables and roots of cuttings of 20 cm length obtained of three different donor plants that were planted on the same day (on September, 2016) but showed a significant difference in height and number of shoots. Experiment 2 analyzed, in the same conditions as experiment 1, survival and shoot variables and roots obtained from different cutting positions (basal, middle and apical) in the branches of donor plant 1 of experiment 1. The treatments presented different results in experiment 1, were not statistically significant. Thus, the variables evaluated do not explain the fact that donor plants have different sizes. Experiment 2 showed a significant difference between treatments only for the survival variable, in which the cuttings of the apical portion presented the highest average (95%), followed by the cuttings of the median portion (90%).

Keywords: Soil Bioengineering; Biotechnical properties; Rooting.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Mapa de distribuição geográfica de Salix humboldtiana.....17
Figura 2 - Vista geral dos experimentos na casa de vegetação. 19
Figura 3 - Matrizes utilizadas no experimento 1. 20
Figura 4 – Aspecto geral das estacas utilizadas no experimento 2. 21
Figura 5 - Medições de raízes para o experimento 2.....22
Figura 6 - Estacas dos três tratamentos ao final do experimento. 26

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Resultados do experimento 1.. 25
Tabela 2 - Resultados da parte aérea do experimento 2 27
Tabela 3 - Resultados das Raizes do experimento 2.....28

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO 7
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA 9
2.1 ENGENHARIA NATURAL 9
2.2 PROPRIEDADES BIOTÉCNICAS DA VEGETAÇÃO 9
2.3 PROPAGAÇÃO VEGETATIVA POR ESTAQUIA 11
2.3.1 Aspectos gerais 11
2.3.2 Fatores que influenciam a propagação vegetativa 12
3 MATERIAL E MÉTODOS 15
3.1 CARACTERIZAÇÃO DA ESPÉCIE 15
3.2 LOCALIZAÇÃO E COLETA DO MATERIAL VEGETAL 17
3.3.1 Experimento 1 19
3.3.2 Experimento 2 21
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES 24
4.1 EXPERIMENTO 1 24
4.2 EXPERIMENTO 2 26
5 CONCLUSÕES 29
6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 30

1 INTRODUÇÃO

A modificação de paisagens, expressa pelas suas diferentes feições ao longo do tempo, é um fenômeno natural e que ocorre por diversos motivos. Especificamente em cursos d'água, o processo de remodelagem pode ser observado pelas lentas, mas constantes redefinições naturais dos canais e dos leitos, tanto em seu perfil longitudinal quanto transversal (MONTEIRO, 2009). Essas modificações, decorrentes do comportamento processual natural dos cursos d'água, por vezes são agravados ou resultantes das ações antrópicas de ocupação (SUTILI, 2007) e podem ser mitigadas e corrigidas com a utilização das técnicas de Engenharia Natural, a qual figura como uma alternativa concreta e específica para solução desses problemas.

A Engenharia Natural é uma disciplina construtiva que tem objetivos técnicos, ecológicos, estéticos e econômicos, que aproveita as múltiplas funções das plantas e utiliza técnicas de baixo impacto ambiental (ZEH, 2007). Essas técnicas caracterizam-se pelo uso de plantas ou suas partes como principal material de construção, podendo ser utilizadas sozinhas ou juntamente com materiais inertes (MENEGAZZI; PALMERI, 2013).

Neste campo da engenharia, as plantas exercem um papel fundamental para o sucesso da intervenção e devem apresentar uma série de características biotécnicas para atender a finalidade proposta, tais como: rápido crescimento, bom desenvolvimento radicular que permita a fixação do solo (talude), quer pelo comprimento, volume, distribuição e resistência das raízes, quer pela interação destas características, boa capacidade de brotação após injúrias mecânicas, flexibilidade de caules e ramos e que resistam à submersão temporária nos cursos d´água.

Por sua vez, o *Salix humboltidiana* é uma espécie que tem sido utilizada para obras de Engenharia Natural no Brasil, especificamente para estabilização hidráulica nas margens e leitos de cursos d'água, por ser naturalmente uma planta de ambientes úmidos, apresentar capacidade de propagação vegetativa e propriedades biotécnicas comprovadas por estudos anteriores (DENARDI, 2007; SUTILI, 2007; MONTEIRO, 2009; DURLO; SUTILI, 2014; SOUSA, 2015; KETTENHUBER et al., 2017).

A propagação vegetativa por estaquia é o método que mais vem sendo empregado para *S. humboltidiana.* A estaquia possui vantagens em relação a propagação seminal, como a possibilidade de obtenção do material vegetal de plantas

matrizes próximas ao local da intervenção, resultando em melhor adaptação às suas condições edafoclimáticas e menores custos, bem como a sua facilidade de plantio e maior rapidez no desenvolvimento do sistema radicial e parte aérea.

Diversos são os fatores atuantes sobre o sucesso da propagação de estacas, entre eles, pode-se fazer destaque aos que são inerentes à planta-matriz, como condições fisiológicas, balanço hormonal, a idade da planta matriz, a sanidade, a presença de folhas e de gemas e a posição de coleta das estacas no ramo.

Para Fachinello et al. (2005), a condição fisiológica da estaca possui grande importância no processo de propagação, pois ao longo do ramo o conteúdo de carboidratos e de substâncias promotoras e inibidoras do crescimento nos tecidos apresentam variação, sendo que estacas obtidas de diferentes porções do ramo tendem a diferir quanto ao potencial de enraizamento. Alguns estudos têm demonstrado que diferentes espécies apresentam melhores taxas de enraizamentos em diferentes posições do ramo. Carvalho et al., (2015) observaram maiores resultados nas porções basais e medianas para *Hyptis pectinata*, da mesma maneira, Nicoloso et al., (1999) e Frasseto et al. (2010) encontraram maiores resultados nas porções basais e medianas para as espécies *Pfaffia glomerata* (Spreng.) e *Sebastiania schottiana* Müll. Arg, respectivamente.

Deste modo, o presente estudo pretende avaliar especificamente a influência de diferentes matrizes e a posição da estaca no ramo no enraizamento e desenvolvimento inicial de estacas de *Salix humboldtiana* Willd.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 ENGENHARIA NATURAL

Entende-se por Engenharia Natural o conjunto de biotécnicas em que plantas ou partes de plantas são usadas como material de construção vivo, podendo ser utilizadas sozinhas ou acompanhadas de materiais inertes, como por exemplo madeira, estacas, biomantas, palha, pedra, ferro e outros (SCHIECHTL; STERN, 1992). Segundo Donat (1995), a Engenharia Natural baseia-se em conhecimentos da vegetação para construção de estruturas hidráulicas e para estabilização de taludes e margens de cursos de água.

A ação da Engenharia Natural é direcionada principalmente para limitar os efeitos gerados pela erosão, causada pelo intemperismo e a estabilização de encostas e superfícies danificadas por fatores hidrogeológicos ou antropogênicos (pedreiras, aterros, obras de infraestrutura) (MENEGAZZI; PALMERI, 2013).

Para Durlo e Sutili (2014), o conhecimento das exigências e características biológicas da vegetação e sua capacidade para solução de problemas técnicos em taludes fluviais e encostas, combinado com obras simples de engenharia, caracterizam a Engenharia Natural.

2.2 PROPRIEDADES BIOTÉCNICAS DA VEGETAÇÃO

As propriedades biotécnicas são definidas como propriedades do material construtivo vivo, que através de suas características morfológicas intrínsecas desempenham funções técnicas, que podem ser hidrológicas ou mecânicas (SOUSA, 2015). Essas propriedades podem ser utilizadas para controlar tecnicamente alguns processos fluviais como erosões (de fundo e das margens), deslizamentos e desmoronamentos, e transporte de sedimentos (DURLO; SUTILI, 2014).

Conforme os estudos de Gray e Sotir (1996), a vegetação promove importante e significativa proteção superficial e estabilização estrutural dos solos. Esses benefícios de proteção ou estabilização do solo proporcionados pelas plantas variam

conforme o tipo de vegetação e processo de degradação existente. Durlo e Sutili (2014) corroboram com essas informações, afirmando que é possível encontrar alternativas para controlar processos fluviais e manter e/ou recuperar a estabilidade das margens dos cursos de água utilizando as características biotécnicas da vegetação.

As plantas produzem diversos efeitos hidrológicos e mecânicos sobre os taludes fluviais, tais como a interceptação da água das chuvas, aumento da evapotranspiração, adição de peso, ancoragem e efeito de alavanca sobre o talude, bem como o recobrimento do solo pelo acúmulo de serapilheira na superfície, entre outros. Esses efeitos podem ser benéficos ou danosos para a estabilidade dos taludes, sendo necessária a escolha de espécies aptas para cada situação específica e o emprego de métodos adequados de plantio para se obter os efeitos de estabilização e proteção desejados (DURLO; SUTILI, 2014).

Menegazzi e Palmeri (2013) citam que as propriedades biotécnicas são resumidas na capacidade de desenvolver sistemas radiculares profundos e na elevada capacidade e velocidade de propagação vegetativa. Para esses autores, tais propriedades são funcionais na ação eficaz de retenção de partículas do solo e na rápida e ampla recolonização vegetal de ambientes degradados.

Denardi (2007), menciona a flexibilidade de caules e ramos como sendo uma importante propriedade biotécnica da vegetação, essencialmente quando utilizadas para estabilização hidráulica, pois plantas com esta característica, sob força da correnteza, promovem proteção dos taludes através da inclinação de sua parte aérea sobre o mesmo.

Durlo e Sutili (2014) ainda destacam como sendo características biotécnicas desejáveis: resistência à exposição parcial das raízes; resistência ao aterramento parcial; resistência ao apedrejamento (provindo de taludes declivosos); capacidade de brotar após quebra da parte aérea; crescimento rápido e sistema radicular que permita fixar o solo, seja pelo comprimento, volume ou resistência das raízes.

Segundo Stokes et al. (2014), as raízes das plantas alteram o ambiente de várias maneiras, seja através da modificação de suas propriedades biofísicas, químicas ou mecânicas. A compreensão desses processos é fundamental para a utilização das plantas na restauração ecológica e proteção do solo, uma vez que as raízes podem ser usadas com sucesso para reforçar e “fixar” o mesmo, em encostas, margens de rios e taludes artificiais.

2.3 PROPAGAÇÃO VEGETATIVA POR ESTAQUIA

2.3.1 Aspectos gerais

A reprodução assexuada de plantas, conhecida também como propagação vegetativa, é o tipo de reprodução que ocorre por meio de partes vegetativas da planta, tais como raízes, ramos ou folhas. Em muitas plantas isso é possível devido a capacidade das partes vegetativas formarem um novo sistema radicular, ou ramos, ou ambos, bem como a capacidade de unir-se com outra parte da planta (HARTMANN et al., 2002). Fachinello et al. (2005) descrevem a propagação vegetativa como sendo um processo de multiplicação que ocorre através de mecanismos de divisão e diferenciação celular, por meio da regeneração de partes da planta-mãe.

Em espécies florestais, arbustivas, frutíferas e ornamentais, um dos métodos mais utilizados é a propagação vegetativa feita por meio de estacas (HARTMANN et al., 2002; HOPPE et al., 1999).

Conforme Hartmann et al. (2002) e Fachinello et al. (2005), a propagação por estacas é o método em que uma parte do caule, raiz ou folha da planta mãe é colocada em certas condições ambientais favoráveis e induzida a formar raízes e ramos, produzindo assim uma nova planta independente. Ainda de acordo com os últimos autores, entende-se por estaca qualquer segmento da planta-mãe com pelo menos uma gema vegetativa, capaz de gerar uma nova planta, podendo ser confeccionadas estacas de ramos, raízes e folhas.

De acordo com Kevers et al. (1997), o processo de enraizamento adventício pode ser dividido em três fases:

1. Indução: Período em que ocorrem as primeiras modificações moleculares e bioquímicas, precedendo mudanças morfológicas.
2. Iniciação: As divisões celulares iniciam, formam-se os meristemas de raiz e são formados os primórdios radiculares
3. Expressão: Momento de crescimento e emergência das raízes na estaca.

Fachinello et al. (2005) afirmam que a localização das raízes adventícias na estaca é variável, em algumas espécies só se formam raízes na base da estaca, outras apenas em nós ao longo do caule, e outras nos nós e entrenós.

Os autores Keeley (1986) e Bell (2001) afirmam que os principais benefícios da utilização de espécies que apresentam capacidade de propagação por estaquia são: menor custo, facilidade de plantio, maior profundidade de plantio, ecótipo local e disponibilidade de material. Para Bitencourt (2006), a utilização da técnica de estaquia é uma alternativa viável para a reprodução de plantas que produzem poucas sementes, para aquelas cujas sementes germinam com dificuldade ou ainda para aquelas cuja propagação por sementes tenha alto custo.

Além disso, estudos têm demostrado que plantas propagadas vegetativamente via estaquia possuem sistemas radiciais enraizados profundamente, enquanto que plantas provenientes de sementes apresentam sistemas radiciais menos desenvolvidos e normalmente mais superficiais (KEELEY, 1986; BELL, 2001).

2.3.2 Fatores que influenciam a propagação vegetativa

Diversos fatores são relacionados com a maior ou menor facilidade de enraizamento de estacas, podendo ser divididos em internos e externos. Dentre os fatores internos destacam-se as condições fisiológicas da planta matriz, o balanço hormonal, a idade da planta matriz, posição de coleta das estacas, a sanidade e a presença de folhas e de gemas. Os fatores externos referem-se as condições ambientais proporcionadas ao enraizamento, tais como a época do ano em que é realizada a coleta e plantio, a disponibilidade de água, temperatura, luz e substrato (MONTEIRO, 2009; FACHINELLO et al., 2005; HARTMANN et al., 2002; KETTENHUBER, 2017).

O conteúdo de água e o teor de reservas e de nutrientes no momento da coleta das estacas afetam significativamente o enraizamento. Estacas retiradas de uma planta-matriz em déficit hídrico tenderão a enraizar menos do que aquelas obtidas sob adequado suprimento de água (FACHINELLO et al., 2005; HARTMANN et al., 2002).

Fachinello et al. (2005) afirmam que o teor de carboidratos varia conforme a época do ano. Em ramos maduros e mais lignificados (outono/inverno) o teor é mais elevado, e em ramos de crescimento ativo (primavera/verão) o teor é mais baixo. No que diz respeito a composição nutricional, sabe-se que um conteúdo equilibrado de nutrientes como fósforo, potássio, cálcio e magnésio favorece o enraizamento

A relação C/N também exerce um papel importante no enraizamento. Relações C/N elevadas induzem a um maior enraizamento, porém com formação de uma pequena parte aérea ao passo que baixas relações C/N (maior conteúdo de nitrogênio) induzem a um maior desenvolvimento da parte aérea em detrimento da formação de raízes (FACHINELLO et al., 2005; HARTMANN et al., 2002; HAISSIG et al., 1974).

Conforme Mayer et al. (2002), a condição nutricional relaciona-se diretamente com o tamanho da estaca utilizada. Os autores ainda afirmam que, em geral, estacas com maior comprimento podem apresentar maior teor de reservas e de auxinas endógenas e tendem a enraizar mais.

Segundo Hartmann et al. (2002), a formação de raízes adventícias deve-se a interação de fatores existentes nos tecidos e a translocação de substâncias localizadas nas folhas e gemas. Os fitohormônios que regulam o crescimento como auxinas, citocininas, giberelinas, etileno e inibidores, como ácido abscísico e compostos fenólicos exercem significativa influência sobre o enraizamento.

São as auxinas que compõem o grupo de fitohormônios com maior efeito na formação de raízes adventícias. Essas substâncias interferem na formação de raízes, na ativação das células do câmbio e na promoção do crescimento das plantas, além de influenciarem a inibição das gemas laterais e a abscisão de folhas e frutos (HARTMANN et al., 2002; FACHINELLO et al., 2005).

A medida que aumenta a idade da planta-matriz, a capacidade de enraizamento de estacas tende a diminuir. Estacas provenientes de plantas jovens tendem a enraizar com maior facilidade que as de plantas mais velhas, principalmente em espécies de difícil enraizamento. Muitos fatores estão relacionados com essa diminuição da capacidade de enraizamento, como por exemplo o aumento do conteúdo de inibidores, a diminuição do conteúdo de auxinas endógenas e de co-fatores do enraizamento e a diminuição da sensibilidade dos tecidos à ação das auxinas devido ao envelhecimento fisiológico do material (AMRI et al., 2010; HUSEN, 2004; FACHINELLO et al., 2005).

A posição da estaca no ramo em que é obtida também pode influenciar no enraizamento, uma vez que há uma variação da composição química do tecido ao longo dos ramos (OWUSU et al., 2014; AMRI et al., 2010; HUSEN; PAL, 2006). HARTMANN et al. (2002) afirmam que estacas apicais apresentam níveis mais elevados de auxinas, já que as auxinas são produzidas principalmente em tecidos

jovens e em desenvolvimento. Em estacas lenhosas, em geral, o uso da porção basal e mediana dos ramos na planta-mãe proporciona maiores taxas de enraizamento (FACHINELLO et al., 2005).

Fachinello et al. (2005), afirmam que a época do ano em que é realizada a coleta e plantio das estacas pode influenciar significativamente a capacidade de enraizamento de algumas espécies. O período de coleta das estacas está inteiramente relacionado com a sua consistência, sendo que estacas coletadas em um período de crescimento vegetativo intenso (primavera/verão) apresentam-se mais herbáceas e aquelas colhidas em um período de repouso vegetativo ou de dormência (inverno) apresentam-se mais lignificadas e, de modo geral, tendem a enraizar menos.

Segundo Bleasdale (1977), a época do ano em que é realizada a propagação vegetativa por estaquia também pode afetar diretamente a eficiência de enraizamento das estacas, devido às condições nutricionais da planta matriz, sendo que o balanço nutricional correto necessário ao enraizamento pode ser alterado pelas condições climáticas.

A temperatura e a umidade do ar durante a propagação vegetativa exercem forte influencia na porcentagem de enraizamento das estacas (FACHINELLO et al., 2005; HARTMANN et al., 2002). Temperaturas mais elevadas tendem a promover o desenvolvimento de brotações antes que ocorra o enraizamento, sendo prejudicial à formação das raíze se aumentando a perda de água (FACHINELLO et al., 2005). Hartmann et al. (2002) afirmam que a temperatura do ar adequada durante o enraizamento para a maioria das espécies situa-se entre 21ºC e 27ºC diurnos e próximo aos 15ºC noturnos.

A prevenção do murchamento é especialmente importante em espécies que exigem um longo tempo para formar raízes, pois para ocorrer a divisão celular é necessário que as células se mantenham túrgidas. O potencial de perda de água numa estaca é muito grande, sendo uma das principais causas de morte de estacas (FACHINELLO et al., 2005).

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 CARACTERIZAÇÃO DA ESPÉCIE

Salix humboldtiana é conhecido popularmente como salseiro, salgueiro, salso-salseiro (LORENZI, 2009), salso-crioulo (MARCHIORI, 2000) e pertence à família Salicaceae. Esta família tem cerca de 330 espécies de árvores e arbustos e distribui-se principalmente pelas regiões temperadas e frias do Hemisfério Norte, sendo raras as espécies encontradas em regiões tropicais ou do hemisfério sul, como é o caso do *Salix humboldtiana*.

Árvore de porte médio que atinge até 20 metros de altura, podendo o tronco ser reto, inclinado ou tortuoso, de até 90 centímetros de diâmetro. A casca é espessa, com fissuras, dura e de cor castanho-acinzentada. A copa é ampla e de ramificação ascendente (MARCHIORI, 2000).

As folhas são alternas espiraladas, simples, glabras, lineares a estreitamente oblongas, de margem serreada, com nervura central proeminente, de 3,5 a 8 centímetros de comprimento por 0,4 centímetros de largura, e pecíolo com aproximadamente 0,3 centímetros de comprimento (LORENZI, 2009). Para Marchiori (2000), as folhas são discolores e esbranquiçadas na face abaxial e apresentam 1 ou 2 glândulas engrossadas na parte inferior. As flores são de cor amarelada (LORENZI, 2009), unissexuais e aperiantadas, reúnem-se em amentilhos pendentes na extremidade dos ramos novos (MARCHIORI, 2000).O fruto é descrito por Santander e Gonzales (2007) como uma cápsula bivalva. As sementes são muito pequenas e apresentam um tufo de pelos brancos, responsáveis pela dispersão anemocórica (MARCHIORI, 2000).

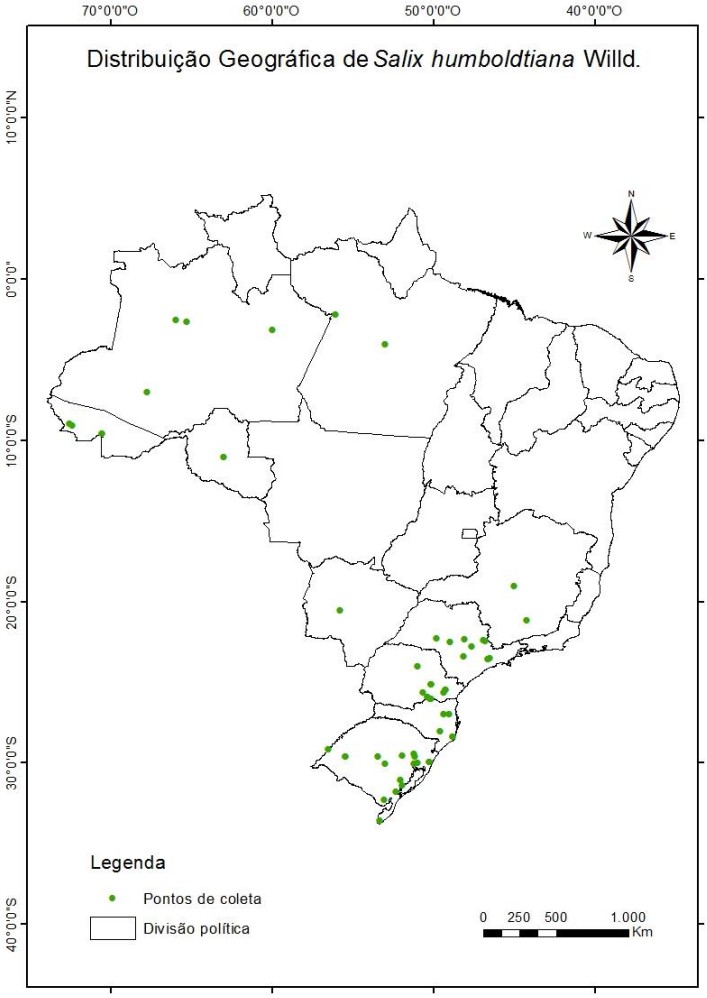
A espécie floresce durante os meses de setembro até outubro e a maturação dos frutos ocorre de fevereiro até abril (LORENZI, 2009). *S. humboldtiana* propaga-se facilmente por estaquia e também por via seminal, no entanto suas sementes apresentam dimensões reduzidas e são de difícil manuseio (SANTANDER; GONZALES, 2007). Segundo Lorenzi (2009) a melhor época para enraizamento de estacas ocorre entre os meses de julho e agosto. Em seu estudo, Sutili (2007) verificou ótimas taxas de sobrevivência, produção de brotos e raízes, conferindo à espécie

ótima aptidão para obras de Engenharia Natural. Todavia, o porte arbóreo da espécie limita o seu uso em taludes fluviais, devendo-se manter as plantas com porte arbustivo para eliminar os efeitos negativos de sobrecarga vertical e alavanca no talude.

A espécie é classificada como decídua, heliófita, pioneira e característica de matas ciliares de regiões de média altitude, ocorrendo em formações secundárias, sempre em solos muito úmidos e beiras de rios (LORENZI, 2009), suportando a submersão temporária (CARPANEZZI et al., 1999). O salseiro é uma das árvores mais características e de maior porte na mata ciliar, sendo indicada para reflorestamentos em margens de rios, barragens e açudes (MARCHIORI, 2000).

Sua área de dispersão é bastante abrangente, ocorrendo desde o México até o sul da América do Sul (SOBRAL et al., 2013). No Brasil, a espécie distribui-se nos domínios fitogeográficos Pampa, Mata Atlântica e Amazonia, como pode ser observado na Figura 1.

Figura 1 - Mapa de distribuição geográfica de Salix humboldtiana.



Fonte: Kettenhuber (2014).

3.2 LOCALIZAÇÃO E COLETA DO MATERIAL VEGETAL

A coleta do material vegetal (estacas) foi realizada em matrizes localizadas na região central do Estado do Rio Grande do Sul, Brasil, especificamente dentro da Universidade Federal de Santa Maria, em área adjacente ao Laboratório de Engenharia Natural, no município de Santa Maria (29° 43' 1.89" S, 53° 43' 35" O).

A Região Central do Rio Grande do Sul apresenta relevo levemente ondulado e altitudes inferiores a 100 metros, exceto nos tabuleiros, cuja altitude máxima está entre 250 e 300 metros (RAMBO, 2005). O clima da região é classificado como Cfa 2, segundo a classificação de Köppen, definido como subtropical. Os índices

pluviométricos anuais atingem valores entre 1.600 a 1.900 mm, com chuvas bem distribuídas ao longo do ano, porém, podem ocorrer períodos de déficit hídrico nos meses de verão. O município de Santa Maria apresenta temperatura do ar no mês mais frio entre -3 e 18°C e temperatura média do mês mais quente superior a 22ºC. (ALVARES, 2013).

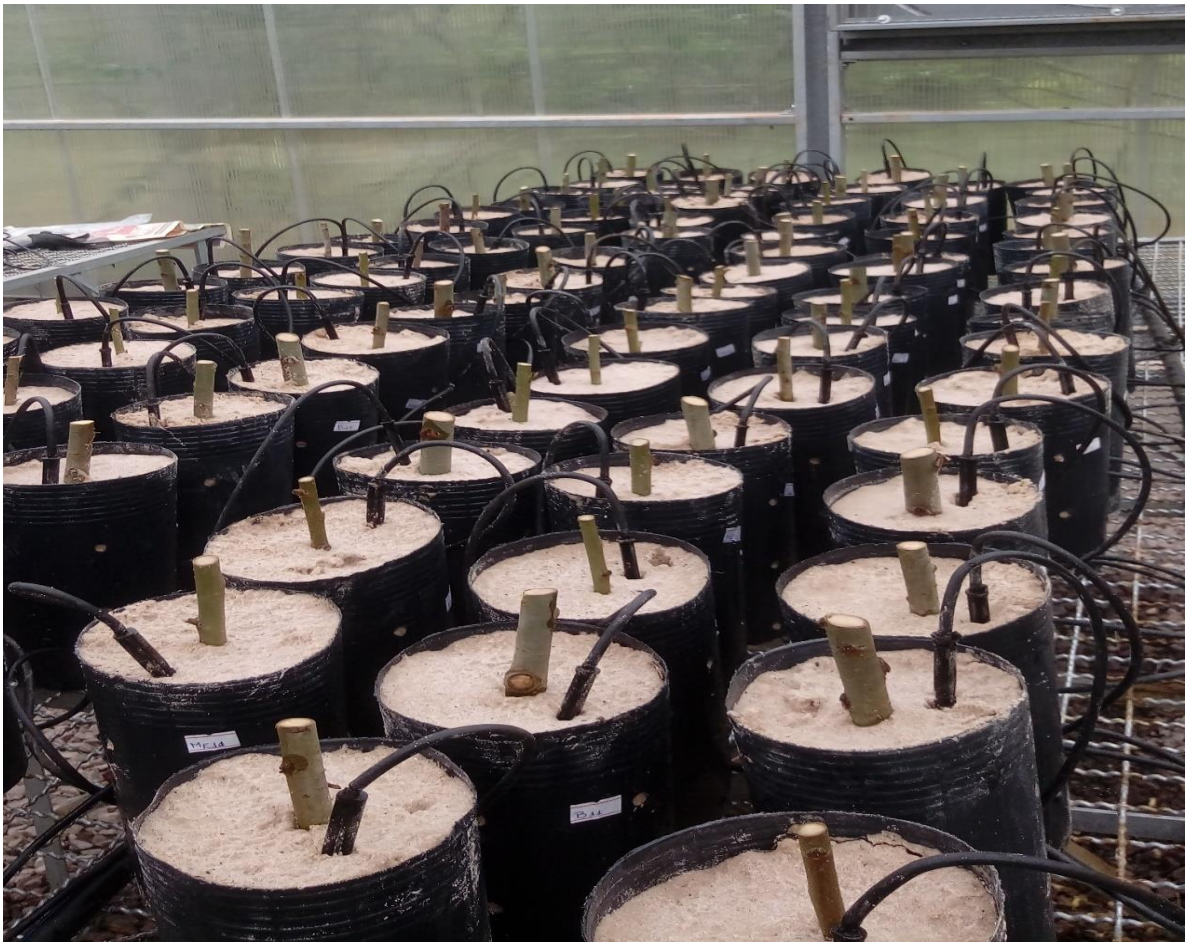
A coleta foi realizada no dia 25 de setembro de 2018. Para ambos os experimentos, as estacas foram confeccionadas medindo 20 centímetros de comprimento, com corte reto e sem folhas. No preparo das estacas não foi utilizado nenhum tipo de hormônio para estimular o enraizamento e a brotação, uma vez que o objetivo é conhecer o potencial inerente à espécie em produzir brotos e raízes.

3.3 INSTALAÇÃO E CONDUÇÃO DOS EXPERIMENTOS

Os experimentos foram conduzidos entre 26 de setembro de 2018 até 17 de dezembro de 2018, totalizando 76 dias. Para ambos, as estacas foram plantadas na proporção 2/3 enterradas, em vasos de 1,7 litros preenchidos com areia média peneirada. A utilização de areia como substrato é vantajosa por ser barata, de fácil disponibilidade e apresentar características positivas quanto à drenagem. Experimentos que visem avaliar o desenvolvimento vegetativo de plantas para Engenharia Natural devem utilizar substratos pobres em nutrientes para estimular o desenvolvimento de massa radicular, uma vez que o objetivo é conhecer o potencial natural do material vegetal em produzir brotos e raízes (FACHINELLO et al., 2005; SCHIECHTL, 1973).

Os experimentos foram conduzidos em casa de vegetação automatizada no Laboratório de Engenharia Natural da Universidade Federal de Santa Maria, com temperatura mantida entre 20 e 30ºC e irrigação por gotejamento programada por timer quatro vezes ao dia de 10 ml cada (08:00h, 11:00h, 14:00h e 17:00h), como pode ser observado na Figura 2.

Figura 2 - Vista geral dos experimentos na casa de vegetação.



Fonte: Daniel Petermann (2018).

3.3.1 Experimento 1

Para o experimento 1, a coleta de ramos para a confecção de estacas foi feita em três matrizes que apresentam ritmos de crescimento distintos, sendo coletados preferencialmente ramos do ultimo ciclo vegetativo. A matriz M1 apresenta a maior altura (aproximadamente 5 metros), enquanto as matrizes M2 e M3 apresentam aproximadamente 3,0 e 1,5 metros, respectivamente (Figura 3). As três matrizes foram plantadas no mesmo dia, em setembro de 2016.

O delineamento experimental foi inteiramente casualizaado, utilizando 4 repetições com 4 estacas, totalizando 16 estacas para cada matriz. O experimento foi conduzido entre 26 de setembro de 2018 até 17 de dezembro de 2018, totalizando 76 dias.

Figura 3 - Matrizes utilizadas no experimento 1.

Fonte: Daniel Petermann (2019).

O experimento foi avaliado com base no Protocolo para investigação de capacidade de propagação vegetativa em plantas para utilização em Engenharia Natural (SUTILI et al., 2013).

Primeiramente, foi calculada a taxa de sobrevivência, obtida pelo número de estacas vivas, multiplicado por 100 e dividido pelo número total de estacas plantadas (considerou-se estacas vivas aquelas que apresentavam raízes e brotos).

Da parte aérea foram avaliados comprimento de brotos primários, diâmetro de brotos primários e massa seca de todos os brotos. Das raízes foram avaliados a quantidade, o comprimento da maior raíz e massa seca de raízes.

Para obter os valores de massa seca de brotos e raízes, os mesmos foram retirados das estacas, colocados em embalagens feitas de papel kraft e levados à estufa com temperatura de 65ºC até atingirem peso constante. As variáveis de comprimento, diâmetro e massa seca foram obtidas com a utilização de uma régua graduada em centímetros, paquímetro e balança de precisão, respectivamente.

3.3.2 Experimento 2

Neste experimento, foram coletados ramos de 3 partes diferentes da matriz 1 do experimento 1, localizadas na parte basal (diâmetro maior que 14 mm), na parte mediana (diâmetro entre 10 e 14 mm), e parte apical (diâmetro menor que 10 mm), respectivamente (Figura 4). O delineamento experimental foi inteiramente casualizado, utilizando 4 repetições com 5 estacas, totalizando 20 estacas para cada tratamento.

Figura 4 – Aspecto geral das estacas utilizadas no experimento 2.

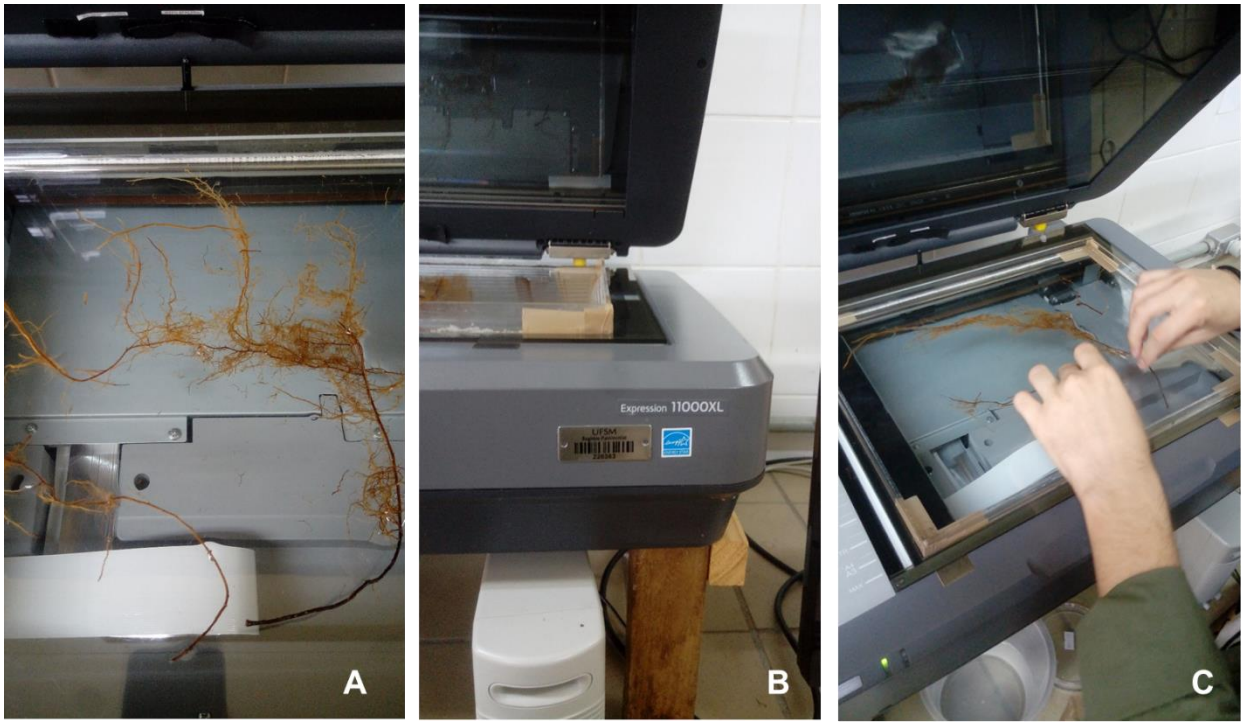
Fonte: Daniel Petermann (2019).

Exatamente da mesma maneira que no experimento 1, este experimento foi baseado no Protocolo para investigação de capacidade de propagação vegetativa em plantas para utilização em Engenharia Natural (SUTILI et al., 2013), sendo avaliadas as mesmas variáveis descritas anteriormente.

Neste experimento, todavia, houve a medição mais detalhada das raízes de 3 estacas de cada tratamento, sendo escolhidas as estacas com diâmetros próximos da média.

Como exposto na Figura 5, as raízes de cada planta foram suspensas em 0,5 cm de água em uma bandeja acrílica transparente de 30 x 40 cm² e depois escaneadas a 600 dpi em um scanner (EPSON Expression 11000 equipado com luz adcional TPU) no Laboratório de Fisiologia Vegetal, do Departamento de Biologia da UFSM. O software WinRHIZO© Pro 2007 (Regent Instruments, Quebec, Canadá) foi utilizado para analisar as imagens digitalizadas. Foram determinados o comprimento total da raiz (cm), área superficial radicular (cm²), diâmetro das raízes (mm) e volume de raízes (cm³).

Figura 5 - Medições de raízes para o experimento 2. A: Raiz submergida na bandeja de acrílico. B: Detalhe do Scanner. C:Disposição da raiz na bandeja.



Fonte: Daniel Petermann (2019).

3.5 ANÁLISE ESTATÍSTICA DOS DADOS

As análises estatísticas foram realizadas no software R versão 3.3.2 (R developement Core Team) e Excel (2013). As variáveis da parte aérea e sistema radicial foram analisadas separadamente. A normalidade dos dados foi verificada pelo teste de Shapiro-Wilk e a homogeneidade de variâncias pelo teste de Bartlett. Quando as pressuposições não foram atendidas, fato que ocorreu apenas no experimento 2, realizou-se a transformação dos dados, sendo comprimento, número e diâmetro de brotos transformados em $\sqrt{x}$ e os dados de sobrevivência das estacas em arcoseno $\sqrt{x}/100$. Nestes casos, x foi considerado como valor da variável observada. Após, os dados foram submetidos à analise de variância e as médias comparadas entre si pelo teste de Tukey em nível de 5% de probabilidade ($p<0,05$).

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 EXPERIMENTO 1

De acordo com a análise de variância, as taxas atribuídas à sobrevivência das estacas não diferiram significativamente e foram satisfatórias para o uso da espécie em obras de Engenharia Natural (≥70%) conforme Schiechtl (1973) e Cornelini; Ferrari (2008). Resultado semelhante foi obtido por Disarz (2011) ao avaliar o potencial de propagação vegetativa de espécies autóctones da Amazônia, o qual verificou taxa de sobrevivência superior a 87% para *S. humboldtiana* e conclui que a espécie apresenta aptidão biotécnica, sendo promissora para a restauração de ambientes degradados naquele Bioma.

As variáveis comprimento de brotos e diâmetro de brotos não apresentaram diferença significativa pela análise de variância. A variável número de brotos também não diferiu significativamente, apresentando as matrizes 2 e 3 médias iguais. Monteiro (2009) ao realizar um estudo sobre a influência de ângulos de plantio na propagação vegetativa da espécie *Salix humboldtiana*, também não encontrou diferença significativa para a variável número de brotos, atribuindo o bom desenvolvimento inicial de brotos destas espécies às características próprias das mesmas, tais como o potencial regenerativo natural e às quantidades de substâncias de reserva no momento da coleta das estacas.

Para a variável massa seca de brotos, as matrizes 2 e 3 diferem significativamente entre si, as quais apresentaram valores de 3,48g e 2,36g, porém, não diferem em relação à matriz 1, que apresentou o valor de 3,29g.

Monteiro (2009) ainda salienta que o indicado para Engenharia Natural seria o uso de espécies que produzam o maior número e comprimento de brotos possível, visto que, a associação destas duas variáveis resulta em um volume mais elevado da parte aérea. Porém, Sutili (2004) enfatiza que embora seja importante a obtenção de informações ligadas à parte aérea, as principais características a serem avaliadas para a utilização em intervenções de Engenharia Natural estão vinculadas ao sistema radicial das plantas.

Os resultados para número de raízes mostram que há diferença significativa entre as matrizes 1 e 3, entretanto não diferem da matriz 2. Para o comprimento da maior raiz, os valores não apresentaram diferença significativa, ficando na matriz 1 a maior média.

Por outro lado, a massa seca de raízes apresentou diferença significativa para a matriz 1 em relação as outras matrizes, sendo a média da mesma 1,86g. As matrizes 2 e 3 não diferem entre si (1,02g e 0,82g, respectivamente). Os valores descritos podem ser observados na Tabela 1.

O fato de tais matrizes apresentarem portes e ritmos de crescimento diferentes ainda que plantadas no mesmo dia, não é explicado pelas variáveis neste experimento estudadas.

A área onde foram plantadas (ao lado do laboratório de Engenharia Natural) foi altamente antropizada e modificada para a construção do referido laboratório. Sendo assim, é possível que o fenômeno de crescimento apresentado pela matriz 1 e não observado nas demais matrizes, possa ser explicado pela composição química e física do solo.

Tabela 1 - Resultados do experimento 1. Sobrevivência (Sob); Número de brotos (NBr); Soma do comprimento dos brotos (CBr); Soma do diâmetro dos brotos (DBr); Massa seca dos brotos (MSBr); Número de raízes (NR); Comprimento da maior raiz (CMR); Massa seca das raízes (MSR).

MATRIZ	Sob (%)	NBr	CBr (cm)	DBr (mm)	MSBr (g)	NR	CMR (cm)	MSR (g)
1	93,75^{ns}	3,75^{ns}	129,01^{ns}	9,3^{ns}	3,29ab	19,93b	42,25^{ns}	1,86a
2	100	4,68	136,82	11,41	3,48a	29,93ab	35,46	1,02b
3	100	4,68	111	9,51	2,36b	32,12a	34,65	0,82b
CV(%)	7,37	15,18	16,15	16,03	17,54	21,59	17,08	25,64

^{ns}: Não significativo. Médias seguidas da mesma letra na mesma coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey em nível de 5% de probabilidade.

4.2 EXPERIMENTO 2

Neste experimento, verificou-se que as taxas de sobrevivência apresentaram diferença significativa entre os tipos de estaca, sendo que as estacas basais e apicais diferem entre si, apresentando 70% e 95%, respectivamente. No entanto, as estacas medianas (90%) não diferem das basais e apicais. Esse resultado pode ser explicado pelos maiores níveis de auxinas presentes nos tecidos jovens e em desenvolvimento, como é o caso dos ápices dos ramos. Na Figura 6 podem ser observadas estacas enraizadas dos três tratamentos ao fim do experimento.

Figura 6 - Estacas dos três tratamentos ao final do experimento. A: Estaca apical; B: Estaca mediana; C: Estaca basal.

Fonte: Daniel Petermann (2019)

As variáveis da parte aérea número, comprimento, diâmetro e massa seca de brotos não diferiram estatisticamente. (Tabela 2). Estes resultados corroboram com De Lima et al. (2010), que não encontrou diferença significativa no crescimento inicial do pinhão-manso, levando em consideração a posição de corte de estaca nos ramos.

Salomão et al., (2002), por outro lado, encontraram maiores resultados para porções medianas e basais na propagação vegetativa de dois tipos de maracujazeiros (*Passiflora alata* Dryand. e *P. edulis f. flavicarpa* O. Deg.). Frasseto et al. (2010) ao

estudarem o enraizamento de estacas de *Sebastiania schottiana* Müll. Arg. encontraram maior potencial de enraizamento para estacas basais e medianas tratadas com 15mL L^{-1} de Orgasol® FTS. Foi verificado, também, fácil enraizamento em estacas apicais de *Piper arboreum* utilizando Plantmax® como substrato (RIOS, RIBEIRO; 2014).

Tabela 2 - Resultados da parte aérea e taxa de sobrevivência do experimento 2. Sobrevivência (Sob); Número de brotos (NB); Soma do comprimento dos brotos (CB); Soma do diâmetro dos brotos (DBr); Massa seca média dos brotos (MSBr).

POSIÇÃO	Sob (%)	NB	CB (cm)	DB (mm)	MSB (g)
BASAL	70b	$1,62^{ns}$	$9,9^{ns}$	$2,67^{ns}$	$2,51^{ns}$
MEDIANA	90ab	1,7	10,66	2,73	3,11
APICAL	95a	1,75	10,27	2,69	2,74
CV(%)	17,2	13,34	9,78	10,34	18,08

^{ns}: Não significativo. Médias seguidas da mesma letra na mesma coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey em nível de 5% de probabilidade.

Todas as variáveis atribuídas para as raízes (número, comprimento, área superficial, diâmetro, volume e massa seca) não apresentaram diferença significativa nas análises feitas (Tabela 3). Contudo, Carvalho et al. (2015) e Nicoloso et al. (1999) observaram maiores resultados nas porções basais e medianas para as espécies *Hyptis pectinata* e *Pfaffia glomerata* (Spreng.), respectivamente.

Tabela 3 - Resultados das Raizes do experimento 2. Número de raízes (Nr); Comprimento das raizes (Cr); Área superficial das raízes (As); Diâmetro das raízes (Dr); Volume (Vr); Massa seca das raízes (MSr).

POSIÇÃO	Nr	C (cm)	A (cm^2)	D (mm)	V (cm^3)	MS (g)
BASAL	$14,11^{ns}$	$7089,16^{ns}$	$668,43^{ns}$	$1,45^{ns}$	$5,07^{ns}$	$1,45^{ns}$
MEDIANA	14,23	8739,26	775,71	1,25	5,54	1,67
APICAL	18,17	10297,15	773,55	1,07	4,63	1,38
CV(%)	28,93	15,58	17,39	15,55	19,66	33,24

^{ns}: Não significativo. Médias seguidas da mesma letra na mesma coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey em nível de 5% de probabilidade.

Neste experimento, há de se notar que as estacas da porção apical do ramo apresentaram resultados interessantes se observados sob a ótica da Engenharia Natural, pois valores como número e comprimento de raízes foram os maiores, ao mesmo passo que o diâmetro deste mesmo tratamento foi o menor. Disarz (2011), confirma que *S. humboldtiana* apresenta um sistema radicular bastante fasciculado e expõe que essa característica garante maior agregação do solo pelas raízes e aumenta a estabilidade das plantas, diminuindo as chances das estacas serem desenterradas por efeito da ação erosiva. De Baets et al. (2007) afirmam que as propriedades arquitetônicas radiculares afetam o efeito redutor da erosão e que o diâmetro das raízes influencia significativamente as taxas de erosão.

O maior número de raízes juntamente com o maior comprimento e menor diâmetro, indicam que pode haver um melhor aproveitamento dessas estacas em locais cuja a estabilização do solo é o objetivo a ser alcançado. Gray e Sotir (1996), afirmam que sistemas radiculares com maior quantidade de raízes finas podem ser mais efetivos na estruturação e aumento da resistência ao cisalhamento do solo.

Genet et al. (2005), afirmam que o aumento do diâmetro das raízes ocasiona a diminuição da resistência à tração das mesmas. Tal efeito é explicado pela proporção de lignina e celulose presente na raiz. Enquanto a celulose contribui para o aumento da resistência à tração, a lignina aumenta a rigidez. Por isto, as raízes finas por apresentarem maiores teores de celulose em relação às raízes mais grossas irão contribuir de forma mais efetiva na coesão do solo.

5 CONCLUSÕES

Para o experimento 1, conclui-se que não há diferença significativa entre as matrizes. Recomenda-se uma análise complementar das características do solo do entorno das referidas matrizes.

A conclusão expressa no experimento 2 é de que, ainda que algumas características sejam diferentes conforme a posição da estaca no ramo, elas não diferenciam significativamente. Contudo, os resultados para sobrevivência de estacas mostram diferença significativa entre os tratamentos e apontam melhores resultados para as porções apicais, seguida das medianas. A partir disso, pode-se concluir que as estacas dessas porções são mais adequadas para obras de Engenharia Natural.

Deste modo, a tomada de decisão em relação ao tipo de estaca que deve ser usada em uma obra de Engenharia Natural é facilitada, para a espécie *S. humboltidiana.*

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVARES, C. A. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n. 6, 2013.

AMRI, E.; LYARUU, H.V.M.; NYOMORA, A.S.; KANYEKA, Z.L.Vegetative propagation of African Blackwood (*Dalbergia melanoxylon* Guill. & Perr.): effects of age of donor plant, IBA treatment and cutting position on rooting ability of stem cuttings. **New Forests**, v. 39, p. 183-194. 2010.

BELL, D.T. Ecological Response Syndromes in the Flora of Southwestern Western Australia: Fire Resprouters versus Reseeders. **Botanical Review**, New York, v. 67, n. 4, p. 417-440, 2001.

BITENCOURT, J. **Propagação vegetativa de *Ginkgo biloba* L. (ginkgoaceae).** 2006. 95 p. Dissertação (Mestrado em Botânica). Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2006.

BLEASDALE, J.K.A. **Fisiologia Vegetal**. São Paulo: Editora Pedagógica Universitária Ltda.; Editora da Universidade de São Paulo, 1977. 176 p.

CARPANEZZI, A.A; TAVARES, F.R.; SOUSA, V.A. **Informações sobre a estaquia do salseiro (*Salix humboltidiana* Willd.)** Colombo: Embrapa Florestas, Circular técnica 33, 1999.

CARVALHO, J.S.B.; NUNES, M.F.P.N; CAMPOS, G.P.A.; GOES, M.C.C. **Influência de diferentes tipos de estacas e substratos na propagação vegetativa de *Hyptis pectinata*.** Revista de Ciências Agroveterinárias, Lages, v.14, n.1, 2015.

CORNELINI, P.; FERRARI, R. **Manuale di Ingegneria Naturalistica per le Scuole Secondarie**. Roma, Itália: Regione Lazio, 2008. 223 p.

DE BAETS, S. et al. Impact of root architecture on the erosion-reducing potential of roots during concentrated flow. **Earth Surface Processes and Landforms**, v. 32, p. 1323-1345, 2007.

DE LIMA, R.L.S.; SEVERINO, L.S.; PEREIRA, W.E.; LUCENA, A.M.A; GHEYI, H.R.; ARRIEL, N.H.C. **Comprimento das estacas e parte do ramo para formação de mudas de pinhão-manso.** R. Bras. Eng. Agríc. Ambiental, v.14, n.11, p.1234-1239, 2010.

DENARDI, L. **Anatomia e flexibilidade do caule de quatro espécies lenhosas para o manejo biotécnico de cursos de água.** 2007. 111 p. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal). Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2007.

DISRAZ, R. **Desenvolvimento tecnológico em bioengenharia de solos aplicável a programas de restauração ecológica.** Dissertação de mestrado (Ciências de Florestas Tropicais)-INPA, Manaus, 2011.

DONAT, M. **Bioengineering Techniques for Streambank Restoration - A Review of Central European Practices:** Watershed Restoration Project Report 2. Canada: British Columbia, Watershed Restoration Program, Ministry of Environment, Lands and Parks and Ministry of Forests, 1995. 92 p.

DURLO, M.A.; SUTILI, F.J. **Bioengenharia: Manejo biotécnico de cursos de água.** 2 ed. Porto Alegre: Editora EST Edições. 2014. 192 p.

FACHINELLO, J. C.; HOFFMANN, A.; NACHTIGAL, J. C. **Propagação de plantas frutíferas.** Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2005, 221 p.

FRASSETO, E.G.; FRANCO, E.T.H.; KIELSE, P.; AMARAL, V.F.M. **Enraizamento de estacas de *Sebastiania schottiana* Müll. Arg.** Ciência Rural, v.40, n.12, dez, 2010.

GENET, M. et al. The Influence of Cellulose Content on Tensile Strength in Tree Roots. **Plant and Soil**, v. 278, p. 1-9, 2005.

GRAY, D.H.; SOTIR, R.B. **Biotechnical and soil bioengineering - Slope stabilization - A practical guide for erosion control.** New York, USA: Jonh Wiley and Sons, Inc., 1996. 378 p.

HAISSIG, B.E. Metabolism during adventitious root primordium initiation and development. **New Zealand Journal of Forestry Science**, v. 4, n.2, p. 324-337, 1974.

HARTMANN, H.T.; KESTER, D.E.; DAVIES Jr., F.T.; GENEVE, R.L. **Plant Propagation: Principles and Pratices**. 7 ed. New Jersey: Prentice Hall, 2002. 880 p.

HOPPE J.M.; SCHUMACHER M.V.; MIOLA, A.C.; OLIVEIRA, L.S. I**nfluência do diâmetro de estacas no desenvolvimento dos brotos de *Platanus* x *acerifoli*a.** Ciência Florestal, Santa Maria, v.9, n.1, p. 25-28, 1999.

HUSEN, A. Clonal propagation of Dalbergia sissoo Roxb. by softwood nodal cuttings: effects of genotypes, application of IBA and position of cuttings on shoots. **Silvae Genetica**, v. 53, p. 50-55, 2004.

HUSEN, A.; PAL, M. **Variation in shoot anatomy and rooting behaviour of stem cutting in relation to age of donor plants in teak (*Tectona grandis* Linn. F).** New Forests, v. 31, p. 57-73, 2006.

KEELEY, J.E. **Resilience of Mediterranean shrub communities to fires.** In: Dell B, Hopkins AJM, Lamont BB, editors. Resilience in Mediterranean-type ecosystems. Dordrecht: Dr W Junk Publishers, p. 95-112, 1986.

KETTENHUBER, P.L.W.; SOUSA, R.S., DENARDI, L.; SUTILI, F.J. **Plantas lenhosas com potencial biotécnico para uso em obras de Engenharia Natural no Brasil**. Ciência & Ambiente, 46/47: 95-110, 2017.

KETTENHUBER, P.L.W. **Distribuição geográfica de espécies do bioma Mata Atlântica com potencial de uso em obras de Engenharia Natural em travessias**

duto-viárias. 2014. 77 p. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Engenharia Florestal) - Universidade Federal de Santa Maria Santa Maria, Santa Maria, 2014.

KETTENHUBER, P.L.W. **Investigação biotécnica de espécies com potencial de uso em obras de engenharia natural.** 2017 122p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2017.

KEVERS, C. et al. Hormonal control of adventitious rooting progress and questions. **Angewandte Botanik**. Berlin, v. 71, n. 3-4, p. 71-79, Jule/Dez. 1997.

LORENZI, H. **Árvores brasileiras: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil.** Nova Odessa: Plantarum, 2009, 352 p.

MARCHIORI, J.N.C. **Dendrologia das angiospermas – das Bixáceas às Rosáceas.** Santa Maria: Editora da UFSM, 2000. 240 p.

MAYER, N.A., PEREIRA, F.M.; NACHTIGAL, J.C. Efeito do comprimento de estacas herbáceas de dois clones de umezeiro (*Prunus mume* Sieb & Zucc.) no enraizamento adventício. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 24, p. 500-504, 2002.

MENEGAZI, G.; PALMERI, F. **Il dimensionamento delle opera di ingegneria naturalística.** Direzione Regionale Infrastruture, Ambiente e Politiche abitative – Regione Lazio, Roma, 2013. 528 p.

MONTERIO, J.S. **Influência do ângulo de plantio na propagação vegetativa de espécies utilizadas em Engenharia Natural.** 2009. 111 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2009.

NICOLOSO, F.T.; FORTUNATO, R.P.; FOGAÇA, M.A.F. **influência da posição da estaca no ramo sobre o enraizamento de *Pfaffia glomerata* (spreng.) Pedersen em dois substratos.** Ciência Rural, v. 29, n. 2, 1999.

OWUSU, S.A.; OPUNI-FRIMPONG, E.; ANTWI-BOASIAKO, C. **Improving regeneration of mahogany: techniques for vegetative propagation of four African mahogany species using leafy stem cuttings.** New Forests, v.45, p. 687-697. 2014.

RAMBO, B. **A fisionomia do Rio Grande do Sul: ensaio de monografia natural.** 3. ed. São Leopoldo: Ed. UNISINOS, 2005. 473 p.

RIOS, M.N.S.; RIBEIRO, J.F.; **Enraizamento de estacas de cinco espécies de mata de galeria em diferentes épocas do ano.** ENCICLOPÉDIA BIOSFERA, Centro Científico Conhecer - Goiânia, v.10, n.18; p. 1525, 2014.

SALOMÃO, L.C.C.; PEREIRA, W.E.; DUARTE, R.C.C; SIQUEIRA, D.L. Propagação por estaquia dos maracujazeiros doce (*Passiflora alata* dryand.) e amarelo (*p. Edulis f. flavicarpa* o. deg.) **Rev. Bras. Frutic**., Jaboticabal - SP, v. 24, n. 1, p. 163-167, abril, 2002.

SANTANDER, C.A.B.; GONZÁLEZ, I.A.G. **Flora Arbórea Del Uruguay:** Com énfasis em las especies de Rivera y Tacuarembó. Montevideo: Editora COFUSA, 544 p, 2007.

SCHIECHTL, H. M.: **Bioingegneria Forestale.** basi – materiali da costruzioni vivi – metodi. Tipolitografia Castaldi-Feltre, 263 p., 1973.

SCHIECHTL, H. M.; STERN, R. **Handbuch für naturnahen Erdbau**: Eine Einleitung für ingenieurbiologische Bauweisen. Wien: Österreichischer Agrarverlag, Druck und Verlagsgesellschaft m.b.H., 1992.

SOBRAL, M. et al. **Flora arbórea e arborescente do Rio Grande do Sul**, Brasil. São Carlos: RiMa: Novo Ambiente, 2006.

SOUSA, R. S. **Metodologia para especificação de plantas com potencial biotécnico em engenharia natural.** 2015. 154 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2015.

STOKES, A. et al. Ecological mitigation of hillslope instability: Ten key issues facing researchers and practitioners. **Plant and Soil**, v. 377, p. 1-23, 2014.

SUTILI, F. J.; MAFRA, C.; SOUSA, R.; CADONÁ, S. **Protocolo para investigação da capacidade de propagação vegetativa.** Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria, 2013.

SUTILI, F.J**. Bioengenharia de solos no âmbito fluvial do Sul do Brasil – Espécies aptas, suas propriedades vegetativo-mecânicas e emprego na prática.** 2007. 94 p. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal). Universidade Rural de Viena, Viena, 2007.

SUTILI, F.J. **Manejo biotécnico do Arroio Guarda-Mor: princípios, processos e práticas.** 2004. 114 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2004.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal.** 5 ed. Porto Alegre: Artmed Editora, 2013, 918 p.

ZEH, H. **Ingenieurbiologie Handbuch Bautypen.** Zurich: vdf Hochschulverlag an der ETH, 2007.