

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA  
CENTRO DE CIÊNCIAS RURAIS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA  
FLORESTAL

Paula Letícia Wolff Kettenhuber

**INVESTIGAÇÃO BIOTÉCNICA DE ESPÉCIES COM POTENCIAL DE USO  
EM OBRAS DE ENGENHARIA NATURAL**

Santa Maria, RS  
2017



**Paula Letícia Wolff Kettenhuber**

**INVESTIGAÇÃO BIOTÉCNICA DE ESPÉCIES COM POTENCIAL DE USO  
EM OBRAS DE ENGENHARIA NATURAL**

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado do Programa de Pós-graduação em Engenharia Florestal, Área de Concentração em Manejo Florestal, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para a obtenção do grau de **Mestre em Engenharia Florestal**.

Orientador: Prof. Dr. Fabrício Jaques Sutil

Santa Maria, RS  
2017

Ficha catalográfica elaborada através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Central da UFSM, com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

Kettenhuber, Paula Letícia Wolff

Investigação Biotécnica de espécies com potencial de uso em obras de Engenharia Natural / Paula Letícia Wolff Kettenhuber.- 2017.

122 p.; 30 cm

Orientador: Fabrício Jaques Sutili

Coorientador: José Newton Cardoso Marchiori

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa Maria, Centro de Ciências Rurais, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, RS, 2017

1. Bioengenharia de solos 2. Propagação vegetativa 3. Propriedades biotécnicas 4. Anatomia da madeira 5. Flexibilidade do caule I. Jaques Sutili, Fabrício II. Cardoso Marchiori, José Newton III. Título.

---

© 2017

Todos os direitos autorais reservados a Paula Letícia Wolff Kettenhuber. A reprodução de partes ou do todo deste trabalho só poderá ser feita mediante a citação da fonte.

E-mail: paulakettenhuber@gmail.com

---

**Paula Letícia Wolff Kettenhuber**

**INVESTIGAÇÃO BIOTÉCNICA DE ESPÉCIES COM POTENCIAL DE USO  
EM OBRAS DE ENGENHARIA NATURAL**

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado do Programa de Pós-graduação em Engenharia Florestal, Área de Concentração em Manejo Florestal, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para a obtenção do grau de **Mestre em Engenharia Florestal**.

**Aprovado em 22 de fevereiro de 2017:**

---

**Prof. Dr. Fabrício Jaques Sutili (UFSM)  
(Presidente/Orientador)**

---

**Prof. Dr. Edner Baumhardt (UFSM)**

---

**Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Luciana Dias Thomaz (UFES)**

Santa Maria, RS  
2017



## **AGRADECIMENTOS**

A realização desse trabalho só foi possível graças à colaboração direta ou indireta de muitas pessoas. Manifesto minha sincera gratidão a todas elas, e de modo especial:

Aos meus pais, Dulce Kettenhuber e Walmir Kettenhuber pelo amor incondicional, e pela confiança que me fortalece todos os dias e aos meus irmãos, Volnei e Luis pelo apoio em todas as etapas da minha vida, por me mostrarem que a nossa união ultrapassa todos os obstáculos, amo vocês!

A Luis Augusto de Cezaro, por todos os momentos maravilhosos partilhados, por todo o amor, carinho, companheirismo e apoio incondicional na realização deste trabalho e em todos os momentos, e também à sua família – Neila, Augustinho, Ana Flávia e Léo Augusto - que me acolheram de forma excepcional, me deram todo apoio necessário e com os quais compartilhei momentos muito alegres nesses últimos anos;

Ao meu orientador, prof. Dr. Fabrício Jaques Sutili, pela oportunidade, confiança, ensinamentos e apoio na elaboração deste trabalho;

Ao professor e amigo Dr. Luciano Denardi, pelo auxílio e pelas valiosas sugestões e conselhos para o aprimoramento deste trabalho e por quem tenho grande admiração;

Ao professor João Marcelo Santos de Oliveira, por disponibilizar os equipamentos do Laboratório de Botânica Estrutural;

À Rita, Charles, Tássia, Dione, Júnior e Vinicius pela amizade, disponibilidade e colaboração neste trabalho;

Aos amigos Paulo Fernando e Cyro pelas sugestões e colaboração na realização deste trabalho;

À Camila Berger, pela amizade, convivência, paciência e pela ajuda em todos os momentos;

Aos meus familiares e amigos, pelo apoio e compreensão nas horas difíceis, nas horas de ausência e também pelos momentos alegres compartilhados;

À Universidade Federal de Santa Maria, por todas as oportunidades oferecidas e a CAPES, pela bolsa de estudos, sem a qual seria inviável a elaboração do presente trabalho.

**Muito obrigada a todos!**



## RESUMO

### INVESTIGAÇÃO BIOTÉCNICA DE ESPÉCIES COM POTENCIAL DE USO EM OBRAS DE ENGENHARIA NATURAL

AUTOR: Paula Letícia Wolff Kettenhuber  
ORIENTADOR: Fabrício Jaques Sutili

As plantas são consideradas como um importante componente estrutural das intervenções de Engenharia Natural e seu emprego como material construtivo vivo requer uma seleção adequada das espécies a serem utilizadas, constituindo-se em um fator determinante para o sucesso das intervenções. As espécies selecionadas devem possuir propriedades biotécnicas, considerando-se também alguns requisitos, nomeadamente os aspectos edafoclimáticos, ecológicos e de reprodução da espécie. A propagação vegetativa por estquia é a forma de reprodução preferencial na Engenharia Natural e sua capacidade é intrínseca para cada espécie, sendo influenciada por diversos fatores, destacando-se a época do ano de coleta e plantio. O presente estudo tem por objetivo investigar a propagação vegetativa por estquia e as propriedades biotécnicas das espécies *Allamanda cathartica* L., *Cephalanthus glabratus* (Spreng.) K. Schum., *Escallonia bifida* Link & Otto, *Ludwigia elegans* (Camb.) H. Hara, *Sambucus australis* Cham. & Schltl., *Sesbania virgata* (Cav.) Pers. e *Terminalia australis* Camb., a fim de subsidiar a seleção e emprego adequado dessas espécies em intervenções de Engenharia Natural. Para tal, foram utilizadas duas metodologias distintas, a primeira foi a condução de experimento em casa de vegetação automatizada no Laboratório de Engenharia Natural da Universidade Federal de Santa Maria em duas épocas do ano (outono/inverno e final do inverno/primavera), no qual estacas de 20 cm de comprimento das sete espécies foram plantadas em vasos preenchidos com areia média peneirada. O arranjo experimental foi inteiramente casualizado com 60 estacas para cada espécie em cada época do ano. Após 90 dias, foram avaliadas as seguintes variáveis: taxa de sobrevivência e enraizamento, número médio e soma do comprimento dos brotos por planta, número médio e soma do comprimento das raízes primárias por planta, massa seca média de brotos e raízes, número de raízes e soma do comprimento das raízes por metro de estaca enterrada. A segunda metodologia adotada foi a realização de estudos anatômicos a partir de amostras de estacas do experimento anterior das sete espécies para verificar a existência de barreiras anatômicas ao enraizamento e descrever de maneira preliminar o lenho, bem como através desta realizar uma análise com vistas à determinação da flexibilidade de seus caules. A descrição microscópica seguiu as recomendações do IAWA Committee. No primeiro experimento, todas as espécies apresentaram capacidade de propagação vegetativa, a qual variou de 23,3% a 100%, sendo que em geral as espécies apresentaram melhores taxas de sobrevivência, enraizamento e desenvolvimento da parte aérea e sistema radicial na época do final do inverno/primavera. Através da análise anatômica das espécies foi possível identificar tecido esclerenquimático nas espécies *S. virgata*, *S. australis* e *C. glabratus*. Quanto a flexibilidade dos caules foi possível inferir que as espécies *S. virgata*, *T. australis*, *C. glabratus* provavelmente possuem ramos flexíveis. Os resultados indicam o potencial biotécnico de *L. elegans*, *S. virgata*, *C. glabratus* e *A. cathartica*, sendo estas capazes de imprimir ritmo de desenvolvimento do sistema radicial e parte aérea esperado nas obras de Engenharia Natural. *T. australis*, *E. bifida* e *S. australis* apresentaram capacidade de propagação vegetativa, porém enraizamento mais lento, podendo ser aproveitadas quando houver interesse em aumentar a diversidade de espécies.

**Palavras-chave:** Bioengenharia de solos. Propagação vegetativa. Propriedades biotécnicas. Anatomia da Madeira. Flexibilidade do caule.



## ABSTRACT

### BIOTECHNICAL INVESTIGATION OF SPECIES WITH POTENTIAL FOR USE IN SOIL BIOENGINEERING WORKS

AUTHOR: Paula Letícia Wolff Kettenhuber  
ADVISER: Fabrício Jaques Sutili

Plants are considered as an important structural component of Soil Bioengineering interventions and their use as live construction material requires an adequate selection of the species to be used, constituting a determining factor for the success of the interventions. The selected species must possess biotechnical properties, considering also some requirements, namely the edaphoclimatic, ecological and reproduction aspects of the species. Vegetative propagation is the preferred form of reproduction in Soil Bioengineering and its capacity is intrinsic to each species, being influenced by several factors, especially the time of year of collection and planting. The present study aims to investigate the vegetative propagation by cuttings and the biotechnical properties of the species *Allamanda cathartica* L., *Cephalanthus glabratus* (Spreng.) K. Schum., *Escallonia bifida* Link & Otto, *Ludwigia elegans* (Camb.) H. Hara, *Sambucus australis* Cham. & Schltl., *Sesbania virgata* (Cav.) Pers. e *Terminalia australis* Camb., in order to subsidize the selection and appropriate use of these species in Soil Bioengineering interventions. Two different methodologies were used, the first was the conduction of an automated greenhouse experiment at the Laboratory of the Soil Bioengineering of Federal University of Santa Maria, at two period of the year (autumn/winter and late winter/spring). In which hardwood cuttings of 20 cm in length of the seven species were planted in pots filled with medium sand. Completely randomized experimental arrangement was used with 60 cuttings for each species and at each period of the year. After 90 days, the following variables were evaluated: survival and rooting rate, mean number and sum of shoot length per plant, mean number and sum of the length of primary roots per plant, mean dry shoot and root mass, number of roots and sum of root length per meter of buried cutting. The second methodology adopted was to perform anatomical studies from cuttings samples from the previous experiment of the seven species to verify the existence of anatomical barriers to rooting and to describe the wood in a preliminary way, as well as to perform an analysis with a view to the determination of the flexibility of their stems. The microscopic description followed the recommendations of the IAWA Committee. In the first experiment, all the species presented vegetative propagation capacity, which ranged from 23.3% to 100%. In general, the species showed better survival rates, rooting and development of the aerial part and root system at the end of the period later winter/spring. Through the anatomical analysis of the species it was possible to identify sclerenchymatic tissue in the species *S. virgata*, *S. australis* and *C. glabratus*. As for the flexibility of the stems, it was possible to infer that the species *S. virgata*, *T. australis* e *C. glabratus* probably have flexible branches. The results indicate the biotechnical potential of *L. elegans*, *S. virgata*, *C. glabratus* and *A. cathartica*, being able to print rhythm of development of the root system and expected aerial part in Soil Bioengineering works. *T. australis*, *E. bifida* and *S. australis* presented vegetative propagation capacity, but slower rooting, and can be used when there is interest in increasing species diversity.

**Keywords:** Soil Bioengineering. Vegetative propagation. Biotechnical properties. Woody anatomy. Stem flexibility.



## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – <i>Allamanda cathartica</i> . A – Aspecto geral da planta; B – Detalhe das flores.....	44
Figura 2 – <i>Cephalanthus glabratus</i> . A – Aspecto geral da planta; B – Detalhe dos botões florais .....	45
Figura 3 – <i>Escallonia bifida</i> . A – Aspecto geral da planta; B – Detalhe das flores. ....	47
Figura 4 – <i>Ludwigia elegans</i> . A – Aspecto geral da planta; B – Detalhe da flor. ....	48
Figura 5 – <i>Sambucus australis</i> . A – Aspecto geral da planta; B – Detalhe das flores.....	49
Figura 6 – <i>Sesbania virgata</i> . A – Aspecto geral da planta; B – Detalhe da inflorescência e frutos imaturos.....	51
Figura 7 – <i>Terminalia australis</i> . A – Aspecto geral da planta; B – Detalhe das flores e folhas.....	52
Figura 8 – Localização das matrizes das espécies utilizadas para confecção de estacas. ....	53
Figura 9 – Aspecto das estacas confeccionadas. ....	55
Figura 10 – Vista geral do experimento na casa de vegetação.....	56
Figura 11 – Metodologia utilizada no preparo de lâminas anatômicas de madeira... Figura 12 – Número médio de brotos por estaca das espécies nos dois períodos de avaliação, após 90 dias de plantio. ....	60
Figura 13 – Soma do comprimento brotos (cm) por estaca das espécies nos dois períodos de avaliação, após 90 dias de plantio. ....	68
Figura 14 – Média da massa seca de brotos (g) por estaca das espécies nos dois períodos de avaliação, após 90 dias de plantio. ....	69
Figura 15 – Número médio de raízes primárias por estaca das espécies nos dois períodos de avaliação, após 90 dias de plantio. ....	70
Figura 16 – Comprimento médio de raízes primárias (cm) por estaca das espécies nos dois períodos de avaliação, após 90 dias de plantio. ....	71
Figura 17 – Média da massa seca de raízes (g) por estaca das espécies nos dois períodos de avaliação, após 90 dias de plantio. ....	73
Figura 18 – Número de raízes primárias por metro de estaca enterrada das espécies nos dois períodos de avaliação após 90 dias de plantio. ....	74
Figura 19 – Soma do comprimento das raízes primárias por metro de estaca enterrada para as espécies nos dois períodos de avaliação após 90 dias de plantio. ....	75
Figura 20 – Distribuição de frequência absoluta do comprimento de raízes (cm) de <i>Allamanda cathartica</i> nas duas épocas do ano (outono/inverno e final do inverno/primavera) após 90 dias de plantio.....	76
Figura 21 – Distribuição de frequência absoluta do comprimento de raízes (cm) de <i>Cephalanthus glabratus</i> nas duas épocas do ano (outono/inverno e final do inverno/primavera) após 90 dias de plantio.....	77
	78

Figura 22 – Distribuição de frequência absoluta do comprimento de raízes (cm) de <i>Ludwigia elegans</i> nas duas épocas do ano (outono/inverno e final do inverno/primavera) após 90 dias de plantio.....	79
Figura 23 – Distribuição de frequência absoluta do comprimento de raízes (cm) de <i>Sesbania virgata</i> nas duas épocas do ano (outono/inverno e final do inverno/primavera) após 90 dias de plantio.....	80
Figura 24 – Aspecto geral das estacas das espécies <i>Allamanda cathartica</i> , <i>Cephalanthus glabratus</i> e <i>Escallonia bifida</i> nas duas épocas do ano (outono/inverno e final do inverno/primavera), após 90 dias de plantio.....	81
Figura 25 – Aspecto geral das estacas das espécies <i>Ludwigia elegans</i> , <i>Sambucus australis</i> e <i>Sesbania virgata</i> nas duas épocas do ano (outono/inverno e final do inverno/primavera), após 90 dias de plantio.....	82
Figura 26 – Aspecto geral das estacas da espécie <i>Terminalia australis</i> nas duas épocas do ano (outono/inverno e final do inverno/primavera), após 90 dias de plantio.....	83
Figura 27 – Seções transversais da base das estacas das espécies <i>Allamanda cathartica</i> , <i>Cephalanthus glabratus</i> , <i>Escallonia bifida</i> e <i>Ludwigia elegans</i> . .....	87
Figura 28 – Seções transversais da base das estacas das espécies <i>Sambucus australis</i> , <i>Sesbania virgata</i> e <i>Terminalia australis</i> .....	88
Figura 29 – Estaca enraizada de <i>Sesbania virgata</i> , destaque para o local de emergência das raízes adventícias, na direção da base da estaca. ....	89
Figura 30 – Detalhes anatômicos da madeira de <i>Allamanda cathartica</i> .....	91
Figura 31 – Detalhes anatômicos da madeira de <i>Cephalanthus glabratus</i> .....	92
Figura 32 – Detalhes anatômicos da madeira de <i>Escallonia bifida</i> .....	93
Figura 33 – Detalhes anatômicos da madeira de <i>Ludwigia elegans</i> .....	94
Figura 34 – Detalhes anatômicos da madeira de <i>Sambucus australis</i> .....	95
Figura 35 – Detalhes anatômicos da madeira de <i>Sesbania virgata</i> .....	97
Figura 36 – Detalhes anatômicos da madeira de <i>Terminalia australis</i> .....	98
Figura 37 – Volume percentual médio dos diferentes tecidos nas sete espécies presentemente investigadas. ....	100

## **LISTA DE QUADROS E TABELAS**

Quadro 1 – Características morfo-mecânicas das plantas a serem utilizadas em intervenções de EN e as funções técnicas que desempenham no solo. ....	27
Quadro 2 – Características morfo-mecânicas, formas de propagação e recomendações de uso das espécies estudadas.....	103
Tabela 1 – Resultados da taxa de sobrevivência e enraizamento das estacas das espécies estudadas obtidos nos dois períodos de avaliação, após 90 dias de plantio.....	63



## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>17</b>
1.1 OBJETIVOS .....	19
1.1.1 Objetivo Geral.....	19
1.1.2 Objetivos Específicos .....	19
<b>2 ENGENHARIA NATURAL .....</b>	<b>21</b>
2.1 CONCEITOS E APLICAÇÕES .....	21
2.2 IMPORTÂNCIA DAS PLANTAS .....	22
2.3 SELEÇÃO DAS ESPÉCIES VEGETAIS.....	23
2.3.1 Características morfo-mecânicas.....	25
2.3.2 Requisitos.....	29
<b>3 PROPAGAÇÃO VEGETATIVA POR ESTAQUIA .....</b>	<b>31</b>
3.1 CONSIDERAÇÕES GERAIS.....	31
3.2 INDUÇÃO E DESENVOLVIMENTO DAS RAÍZES .....	32
3.3 FATORES QUE AFETAM O ENRAIZAMENTO.....	33
3.3.1 Fatores internos .....	34
3.3.2 Fatores externos .....	37
<b>4 ANATOMIA DA MADEIRA .....</b>	<b>41</b>
4.1 IMPORTÂNCIA DE ESTUDOS EM ANATOMIA DA MADEIRA .....	41
<b>5 MATERIAL E MÉTODOS .....</b>	<b>43</b>
5.1 DESCRIÇÃO DAS ESPÉCIES .....	43
5.1.1 <i>Allamanda cathartica</i> L.....	43
5.1.2 <i>Cephaelanthus glabratus</i> (Spreng.) K. Schum. ....	44
5.1.3 <i>Escallonia bifida</i> Link & Otto.....	46
5.1.4 <i>Ludwigia elegans</i> (Camb.) H. Hara.....	47
5.1.5 <i>Sambucus australis</i> Cham. & Schltl.....	48
5.1.6 <i>Sesbania virgata</i> (Cav.) Pers. ....	49

<b>5.1.7 <i>Terminalia australis</i> Camb.</b> .....	<b>51</b>
5.2 LOCALIZAÇÃO E COLETA DO MATERIAL VEGETAL .....	52
5.3 EXPERIMENTO 1 – CAPACIDADE DE PROPAGAÇÃO VEGETATIVA.....	55
<b>5.3.1 Instalação e condução do experimento.....</b>	<b>55</b>
<b>5.3.2 Variáveis analisadas.....</b>	<b>57</b>
<b>5.3.3 Análise estatística dos dados.....</b>	<b>58</b>
5.4 EXPERIMENTO 2 - ANATOMIA DA MADEIRA.....	58
<b>5.4.1 Microtécnica.....</b>	<b>58</b>
<b>5.4.2 Fotomicrografias .....</b>	<b>59</b>
<b>5.4.3 Avaliação de barreiras anatômicas.....</b>	<b>59</b>
<b>5.4.4 Descrição preliminar do lenho .....</b>	<b>60</b>
<b>5.4.5 Mediçãoes e contagens microscópias .....</b>	<b>61</b>
<b>6 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>63</b>
6.1 CAPACIDADE DE PROPAGAÇÃO VEGETATIVA .....	63
<b>6.1.1 Sobrevidência e enraizamento .....</b>	<b>63</b>
<b>6.1.2 Variáveis da parte aérea.....</b>	<b>67</b>
<b>6.1.3 Variáveis do sistema radical.....</b>	<b>71</b>
6.2 ANATOMIA DA MADEIRA .....	85
<b>6.2.1 Avaliação de barreiras anatômicas ao enraizamento.....</b>	<b>85</b>
<b>6.2.2 Descrição preliminar da anatomia do lenho .....</b>	<b>90</b>
<b>6.2.3 Análise da estrutura anatômica sob o enfoque da flexibilidade do caule .....</b>	<b>99</b>
6.3 CARACTERÍSTICAS MORFO-MECÂNICAS.....	102
<b>7 CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>	<b>105</b>
<b>8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>107</b>

## 1 INTRODUÇÃO

A Engenharia Natural é uma disciplina construtiva que tem objetivos técnicos, ecológicos, estéticos e econômicos, aproveitando as múltiplas funções das plantas e utilizando técnicas de baixo impacto ambiental (ZEH, 2007). Nessa disciplina, plantas vivas ou suas partes são utilizadas como principal material de construção em intervenções altamente eficazes para a estabilização dos cursos de água e suas margens, encostas e outras situações. Sua ação objetiva principalmente limitar os efeitos da erosão causada pelas intempéries, da estabilização de encostas e superfícies degradadas por fatores naturais (hidrogeológicos) ou antropogênicos (pedreiras, aterros, obras de infraestrutura) (MENEGAZZI; PALMERI, 2013; VENTI et al., 2003).

As plantas são consideradas como um importante componente estrutural das intervenções de Engenharia Natural, desempenhando diversas funções técnicas (hidrológicas e mecânicas), as quais modificam e na maioria das vezes, melhoram as propriedades de engenharia dos solos e solucionam o problema existente. Do ponto de vista técnico, o emprego da vegetação como material construtivo vivo requer uma seleção adequada das espécies a serem utilizadas para seu correto aproveitamento.

A seleção do material vegetal é uma das etapas fundamentais na elaboração dos projetos de Engenharia Natural, constituindo-se em um fator determinante para o sucesso das intervenções. À vista disso, é imprescindível que as plantas selecionadas possuam propriedades biotécnicas, as quais dependem das características morfo-mecânicas inerentes da espécie e podem variar em cada situação particular de uso, considerando-se também alguns requisitos, nomeadamente os aspectos edafoclimáticos, ecológicos e de reprodução da espécie.

O aspecto reprodutivo tem grande importância na escolha das espécies para uma obra de Engenharia Natural e depende do tipo de solução construtiva empregada. Algumas técnicas como a estacaria viva, os feixes vivos, a esteira viva e os entrançados vivos, requerem a utilização das plantas na forma de estacas vivas, portanto, é requisito obrigatório que as plantas utilizadas possuam propagação vegetativa.

A propagação vegetativa por estaquia é a forma de reprodução preferencial na Engenharia Natural, uma vez que apresenta importantes vantagens técnicas quando

comparada ao uso de espécies que apenas se propagam por sementes. Dentre tais vantagens, destacam-se a possibilidade de obtenção do material vegetal (estacas vivas) de plantas matrizes próximas ao local da intervenção, sendo estas melhor adaptadas às suas condições edafoclimáticas, a sua facilidade de plantio e maior rapidez no desenvolvimento do sistema radicial e parte aérea, além disso, o uso de estacas com maiores dimensões tende a contribuir para o reforço físico imediato na estabilização do solo, aumentando a resistência do mesmo ao cisalhamento (ABATE; GROTTA, 2009; MENEGAZZI; PALMERI, 2013). Esses benefícios, consequentemente, reduzem os custos relacionados à obtenção, transporte e implantação do material vegetal, bem como aumentam as taxas de sucesso das obras de Engenharia Natural.

A capacidade de propagação vegetativa por estaquia é intrínseca para cada espécie, sendo influenciada por fatores internos como a condição fisiológica e o estado fitossanitário da planta matriz, seu balanço hormonal, a existência de barreiras anatômicas ao enraizamento e também por fatores externos como as condições ambientais do local e principalmente a época do ano de realização da coleta e plantio das estacas.

Contudo, informações relativas às características morfo-mecânicas e a capacidade de propagação vegetativa de espécies autóctones brasileiras ainda são incipientes, o que dificulta e limita a seleção de espécies para utilização em intervenções de Engenharia Natural no Brasil.

Neste sentido, este trabalho pretende contribuir para o conhecimento da capacidade de propagação vegetativa e das propriedades biotécnicas das espécies *Allamanda cathartica* L., *Cephalanthus glabratus* (Spreng.) K. Schum., *Escallonia bifida* Link & Otto, *Ludwigia elegans* (Camb.) H. Hara, *Sambucus australis* Cham. & Schltdl. *Sesbania virgata* (Cav.) Pers. e *Terminalia australis* Camb., a fim de subsidiar a seleção e o correto aproveitamento dessas em técnicas de Engenharia Natural.

## 1.1 OBJETIVOS

### 1.1.1 Objetivo Geral

O presente trabalho tem como objetivo geral investigar a capacidade de propagação vegetativa e as características morfo-mecânicas das espécies *Allamanda cathartica* L., *Cephalanthus glabratus* (Spreng.) K. Schum., *Escallonia bifida* Link & Otto, *Ludwigia elegans* (Camb.) H. Hara, *Sambucus australis* Cham. & Schltdl. *Sesbania virgata* (Cav.) Pers. e *Terminalia australis* Camb.

### 1.1.2 Objetivos Específicos

- Investigar a capacidade de propagação vegetativa por estquia das espécies em estudo, bem como a melhor época (outono/inverno ou final do inverno/primavera) para realizá-la;
- Obter informações quanto ao desenvolvimento inicial da parte aérea e sistema radicial;
- Verificar a existência de barreiras anatômicas ao enraizamento;
- Descrever preliminarmente e analisar a estrutura anatômica da madeira das espécies avaliadas, com vistas à determinação da flexibilidade de seus caules;
- Determinar as características morfo-mecânicas das espécies estudadas e suas recomendações de uso, com base nos resultados obtidos nesse estudo, em observações a campo e na literatura botânica.







## 2 ENGENHARIA NATURAL

### 2.1 CONCEITOS E APLICAÇÕES

A Engenharia Natural é uma disciplina transversal que se baseia essencialmente no conhecimento biológico das plantas para construção de estruturas hidráulicas e geotécnicas com objetivos de controlar a erosão superficial e estabilizar taludes e margens de cursos de água (DONAT, 1995; SAULI; CORNELINI; PRETI, 2003).

Segundo Schiechtl e Stern (1996), a Engenharia Natural se caracteriza por um conjunto de técnicas-biológicas (biotécnicas) em que plantas ou partes destas são usadas como material construtivo vivo. Tais materiais vivos podem ser utilizados sozinhos ou combinados com materiais inertes (madeira, estacas, fibras de coco, juta, palha, biomantas, pedra, ferro, geossintéticos e outros) e devem proporcionar estabilidade às áreas em tratamento.

Os campos de aplicação das técnicas de Engenharia Natural são variados e vão desde os problemas clássicos de erosão de encostas, deslizamentos de terra, regulação hidráulica em áreas montanhosas, reabilitação ambiental de infraestruturas lineares (aterros rodoviários e ferroviários, dutos terrestres e canais), pedreiras e aterros sanitários, margens de cursos de água de planícies, áreas industriais e outras obras de infraestrutura, consolidações costeiras, ou mesmo a simples restauração de habitat e reconstrução de elementos ecológicos (CORNELINI; SAULI, 2005; CORNELINI; FERRARI, 2008).

Sousa (2015) considera que a Engenharia Natural, de forma geral, pode ser empregada para resolver problemas técnicos de controle de erosão superficial, estabilização hidráulica e estabilização geotécnica, sendo estes os três grandes grupos em que todos os campos de aplicação estão incluídos, como por exemplo intervenções em taludes e encostas naturais, cursos de água, obras de infraestrutura (rodovias, ferrovias ou dutovias), aterros sanitários, áreas mineradas, zonas urbanas, rurais, costeiras ou áreas alteradas por incêndios, etc.

## 2.2 IMPORTÂNCIA DAS PLANTAS

As técnicas de Engenharia Natural são caracterizadas por terem baixo impacto ambiental e baseiam-se essencialmente nas características biotécnicas de algumas das espécies vegetais utilizadas (MENEGAZZI; PALMERI, 2013; VENTI et al., 2003; CORNELINI; SAULI, 2005). Nessas técnicas, as plantas têm caráter fundamental e não são consideradas apenas do ponto de vista estético e ecológico, mas também funcional e técnico, como materiais vivos eficazes para a construção. Esta peculiaridade é o que diferencia a disciplina daquelas que fazem uso apenas de materiais inertes - Engenharia Hidráulica e Geotécnica - ou que usam plantas apenas com fins paisagísticos e de restauração ecológica (CORNELINI; SAULI, 2005; CORNELINI; FERRARI, 2008).

As plantas devem ser consideradas como um importante componente estrutural das obras de Engenharia Natural (LEWIS, 2000). Segundo Gray e Sotir (1996), os materiais vegetais não se diferem de outros materiais de engenharia, uma vez que devem ser selecionados de acordo com o propósito da obra.

Conforme Gray e Leiser (1982); Begemann e Schiechtl (1994); Morgan e Rickson (1995); Florineth e Gerstgraser (2000 apud DURLO; SUTILI, 2014), a vegetação possui características biotécnicas essenciais à estabilidade das margens dos cursos de água. Para Durlo e Sutili (2014), essas características podem ser utilizadas para controlar tecnicamente alguns processos fluviais, como erosões do fundo e das margens, deslizamentos, desmoronamentos e transporte de sedimentos.

Menegazzi e Palmeri (2013) expõem que as características biotécnicas podem ser resumidas essencialmente na capacidade de desenvolver sistemas radiculares profundos e na elevada capacidade e velocidade de propagação vegetativa. Estas características são diretamente funcionais na ação eficaz de retenção de partículas do solo e na rápida e ampla recolonização vegetal de ambientes degradados.

Gray e Sotir (1996) discorrem que a vegetação promove importante e significativa proteção superficial e estabilização estrutural dos solos. Esses benefícios de proteção ou estabilização do solo proporcionados pelas plantas dependem do tipo de vegetação e do processo de degradação existente.

A vegetação exerce no solo uma função estabilizadora extremamente intensa e multifacetada, apresentando não só a vantagem de assegurar a proteção e a

estabilização dos solos, como também, dadas as suas características de sistema vivo, desenvolver um ecossistema em equilíbrio, adaptando-se às variações deste (FERNANDES; FREITAS, 2011).

As plantas podem desempenhar funções técnicas hidrológicas e mecânicas no solo (MENEGAZZI; PALMERI, 2013; COPPIN; RICHARDS, 2007; MORGAN; RICKSON, 1995; SCHIECHTL; STERN, 1996; DONAT, 1995; DURLO; SUTILI, 2014; CORNELINI; SAULI, 2005; CORNELINI; FERRARI, 2008; LEMES, 2001). Para Sousa (2015), as plantas desempenham um conjunto de funções técnicas hidrológicas e mecânicas, as quais têm ações que resultam em efeitos positivos ou negativos sobre o solo. Do ponto de vista hidrológico, as plantas modificam o balanço na hidrosfera (água superficial e subterrânea) e na atmosfera, a vegetação intercepta e evapotranspira a precipitação e também auxilia no processo de infiltração e drenagem da água no solo. Sob o ponto de vista mecânico, as plantas estruturam as partículas do solo, absorvem e encaminham os esforços das solicitações sobre o mesmo.

Conforme Durlo e Sutili (2014), as plantas, de modo geral, 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. Os autores salientam ainda que, esses efeitos nem sempre são benéficos 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.

### 2.3 SELEÇÃO DAS ESPÉCIES VEGETAIS

A escolha correta do material vegetal a ser utilizado em obras de Engenharia Natural é uma pré-condição essencial para o sucesso das intervenções. É necessário observar as características ecológicas da espécie, a capacidade de propagação vegetativa e disponibilidade de material, suas características biotécnicas e sua capacidade de crescimento. Além disso, deve-se levar em consideração os objetivos da intervenção, as formas de uso da vegetação e seus efeitos estéticos-paisagísticos (AIPIN, 2010).

Coppin e Richards (2007) mencionam que as funções de engenharia que as plantas devem cumprir em uma obra de Engenharia Natural são determinantes para a escolha do tipo de vegetação a ser utilizada. Por exemplo, a estabilização do solo requer plantas que possuem um sistema radicular bem desenvolvido, enquanto que, para o controle da erosão superficial e proteção do solo, a característica mais importante a ser considerada nas plantas é o desenvolvimento da parte aérea. Deste modo, a forma de crescimento, a estrutura do sistema radicular e o habitat das plantas são os principais determinantes para a escolha das espécies.

Conforme Durlo et al. (2010), as plantas selecionadas e utilizadas na recuperação e manejo dos cursos de água precisam não apenas sobreviver às condições adversas, mas ainda resolver o problema técnico existente, isto é, ter aptidão biotécnica.

Para Sousa (2015), a seleção de espécies vegetais como material construtivo em intervenções de Engenharia Natural deve recair sobre espécies que apresentem propriedades biotécnicas, a qual é definida como uma propriedade do material construtivo vivo, que através de características morfo-mecânicas inerentes desempenha uma função técnica (hidrológica ou mecânica), bem como alguns requisitos determinados pelos fatores edafoclimáticos, fitossociológicos, formas de uso das plantas, especificidades da solução construtiva e do local de aplicação.

De acordo com Durlo e Sutili (2014), além das características biotécnicas, devem ser considerados critérios ecológicos, fitossociológicos e reprodutivos na escolha das espécies.

Gray e Leiser (1982), Morgan e Rickson (1995) e Florineth e Gerstgraser (2000 apud DURLO e SUTILI, 2014) afirmam que devem ser escolhidas preferencialmente espécies nativas do local, que estão melhor adaptadas às condições edáficas e climáticas específicas do mesmo. Além disso, devem possuir um meio de reprodução fácil e de baixo custo.

Diversos autores como Morgan e Rickson (1995), Venti et al. (2003), Cornelini e Sauli (2005; 2012), Cornelini e Ferrari (2008), Menegazzi e Palmeri (2013), Gray e Sotir (1996), Lewis (2000), De Antonis e Molinari (2007) concordam que os materiais vegetais a serem utilizados nas intervenções de Engenharia Natural devem ser escolhidos, preferencialmente, dentre as espécies disponíveis no local ou nas suas proximidades, ou seja, deve-se dar preferência às espécies autóctones.

As vantagens da utilização de espécies autóctones são diversas, e vão além da adaptação edafoclimática à sua região de origem. Essas espécies são mais resistentes a pragas e doenças, exigem pouca manutenção, ajudam a manter o equilíbrio biológico da paisagem e a diversidade dos recursos genéticos. Também são locais de refúgio, reprodução e muitas vezes fornecem alimento para a avifauna local, gerando um habitat equilibrado e repleto de biodiversidade (SOUSA, 2013).

A seleção das plantas também deverá ser a mais heterogênea possível, evitando-se a formação de comunidades com uma só espécie, que pouco contribuem para a dinâmica da vegetação. Dessa forma, na seleção das espécies a serem utilizadas, deverão ser escolhidas diferentes tipos de plantas, as quais devem possuir sistemas radiculares com raízes superficiais e profundas de modo que o terreno fique com uma distribuição homogênea de raízes (MATOS, 2008).

A vegetação herbácea, especialmente gramíneas e ervas, oferece proteção contra a erosão superficial (água e vento) em taludes, auxilia na retenção de partículas de solo, redução do transporte de sedimentos, interceptação da precipitação, diminui a velocidade de escoamento e melhora a capacidade de infiltração de água no solo. Enquanto que a vegetação arbórea proporciona maior proteção contra os movimentos de massa, devido ao seu maior sistema radicial, reforço mecânico do solo, diminuição da água do solo através da transpiração e interceptação e ancoragem do solo (USDA, 1992).

A seleção de espécies apropriadas e, mais importante, de uma mistura complementar de espécies, requer um cuidadoso equilíbrio de considerações (MORGAN; RICKSON, 1995). Segundo Durlo e Sutili (2014), deverão ser eleitas, sempre que possível, plantas que além das funções técnicas, proporcionem o maior rendimento econômico possível (produção de madeira, frutos ou outros subprodutos) e que promovam a diversidade da fauna e da flora que se instalará futuramente. As plantas deverão ser ecologicamente apropriadas, economicamente aproveitáveis e possuir aspectos paisagísticos/estéticos desejáveis.

### **2.3.1 Características morfo-mecânicas**

Segundo Sousa (2015), as plantas através de suas características morfo-mecânicas inerentes (morfológicas, fisiológicas ou ecológicas) poderão desempenhar

várias funções técnicas (hidrológicas e mecânicas) e adicionais (ecológico-ambientais, estéticas e socio-econômicas). As funções técnicas modificam as propriedades de engenharia dos solos, influenciando a resistência do solo, ou a solicitação exercida sobre o mesmo, e atuam do ponto de vista mecânico, hidráulico e hidrológico.

O mesmo autor ainda divide as características morfo-mecânicas em características da parte aérea (copas) e da parte subterrânea (sistema radicular) e define quais características as plantas devem apresentar dependendo da tipologia de problema a ser solucionada. As características morfo-mecânicas e as funções técnicas que desempenham são apresentadas no Quadro 1.

Quadro 1 – Características morfo-mecânicas das plantas a serem utilizadas em intervenções de EN e as funções técnicas que desempenham no solo.

Controle da erosão superficial		Estabilização geotécnica		Estabilização hidráulica	
PARTE AÉREA					
Características morfo-mecânica	Funções técnicas	Características morfo-mecânica	Funções técnicas	Características morfo-mecânica	Funções técnicas
<b>Copa ramificada e densa</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Auxiliam na interceptação, evapotranspiração e infiltração da água proveniente da precipitação;</li> <li>- Aumentam a rugosidade superficial, diminuindo a velocidade de escoamento e aumentando a infiltração de parte do fluxo de água;</li> <li>- Absorvem e encaminham tensões provenientes da água, do vento e de ações antrópicas.</li> </ul>	<b>Copa ramificada e densa</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Copas densas interceptam e evapotranspiram, funções que têm ação na diminuição do volume de escoamento superficial e na redução do peso do solo;</li> <li>- As copas ramificadas são mais eficazes na absorção dos movimentos de massa (blocos, rochas, ou outros materiais instáveis), e também encaminham mecanicamente solicitações sobre o solo, provenientes da água, do vento e de ações antrópicas.</li> </ul>	<b>Copa flexível</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Copas com ramos flexíveis servem de barreira física e proteção do solo contra o fluxo de água;</li> <li>- Plantas flexíveis não obstruem tanto a seção de escoamento dos canais, que em caso de vazões elevadas em áreas urbanas poderá causar inundações nas áreas adjacentes.</li> </ul>
<b>Copa baixa</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Servem de barreira física, protegendo o solo através da absorção dos efeitos mecânicos do fluxo superficial de água.</li> </ul>	<b>Copa baixa</b>		<b>Copa ramificada e densa</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Interceptam e evapotranspiram a água proveniente da precipitação;</li> <li>- Absorvem e encaminham as tensões provenientes do fluxo de água, aumentando a rugosidade hidráulica, diminuindo a velocidade da água.</li> </ul>
<b>Copa com cobertura uniforme</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- As plantas devem proporcionar uma cobertura uniforme do solo, característica importante para interceptar a precipitação e absorver os impactos da água, do vento e de ações antrópicas.</li> </ul>	<b>Copa baixa</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Espécies com copas baixas evitam a transmissão de forças mecânicas solicitantes ao talude, pelo vento e/ou gravidade. Apesar disso não se exclui a utilização de árvores com copas altas, porém as mesmas requerem maiores cuidados na sua implantação e manutenção, ou seja, não devem ser plantadas no topo dos taludes pois causam aumento da sobrecarga e devem ser periodicamente podadas.</li> </ul>	<b>Copa com cobertura uniforme</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Interceptam e absorvem o impacto da precipitação no solo. Plantas isoladas além de não serem adequadas para interceptar, provocam fenômenos de turbulência localizada, particularmente graves no caso da estabilização hidráulica.</li> </ul>
<b>Copa perenifólia</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Espécies perenifólias são preferências, pois mantêm a cobertura do solo durante todo o ano.</li> </ul>			<b>Copa perenifólia<sup>1</sup></b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Plantas perenifólias potencializam a interceptação e evaporação e ainda, promovem valores mais altos de rugosidade, sendo mais eficientes na diminuição da velocidade do fluxo.</li> </ul>

PARTE SUBTERRÂNEA					
Característica morfo-mecânica	Funções técnicas	Característica morfo-mecânica	Funções técnicas	Característica morfo-mecânica	Funções técnicas
<b>Sistema radicular denso e lateral</b>	- Sistemas radiculares densos e laterais potencializam a infiltração da água superficial e a drenagem subsuperficial para áreas menos saturadas e ajudam a estruturar as camadas superficiais do solo, bem como a encaminhar forças mecânicas para que as mesmas sejam redistribuídas superficialmente para zonas sujeitas a menos esforços.	<b>Sistema radicular denso e profundo</b>	- Sistemas radiculares densos e profundos potencializam a drenagem subsuperficial e profunda para camadas mais profundas e áreas menos saturadas. As raízes densas e profundas também funcionam como tirantes, ajudando a estruturar as camadas de solo, através da ancoragem, arqueamento e escoramento do mesmo, bem como a encaminhar e redistribuir as forças mecânicas para zonas sujeitas a menos esforços e para camadas de solo profundas que são mais competentes que as camadas superficiais.	<b>Sistema radicular denso e lateral</b>	- Potencializam a drenagem subsuperficial para áreas menos saturadas. Ajudam a estruturar mecanicamente as camadas superficiais de solo, bem como a encaminhar forças mecânicas para que as mesmas sejam redistribuídas para zonas sujeitas a menos esforços. No caso particular de taludes fluviais, sistemas radiculares densos são muito importantes, pois funcionam como uma manta ou esteira que estrutura e confina o solo, e o protege absorvendo as forças hidráulicas do fluxo de água.
<b>Sistema radicular com maior quantidade de raízes finas</b>	- Espécies com sistema radicular com maior percentagem de área ocupada por raízes finas (até 5,0 mm de diâmetro) auxiliam na estruturação do solo e são mais eficientes na diminuição das taxas de erosão superficial e perda de solo do que sistemas radiculares pivotantes.	<b>Sistema radicular com alta resistência à tração</b>	- Sistemas radiculares devem ser compostos por raízes com alta resistência à tração, que funcionam como sistemas de reforço de solo, aumentando a resistência do solo ao cisalhamento.	<b>Sistema radicular com alta resistência à tração</b>	- Sistemas radiculares devem ser compostos por raízes com alta resistência à tração, que funcionam como sistemas de reforço de solo, aumentando a resistência do solo ao cisalhamento.

<sup>1</sup> plantas caducifólias não devem ser excluídas, uma vez que se apresentarem copas densas e ramificadas desempenham as mesmas funções técnicas que copas perenifólias.

### 2.3.2 Requisitos

De acordo com Sousa (2015), além de especificar o material vegetal quanto às suas características morfo-mecânicas, as plantas devem apresentar uma série de requisitos. Os requisitos podem ser edafoclimáticos, os quais definem o tipo de habitat que as diferentes espécies vegetais têm capacidade de colonizar, como a temperatura, precipitação, umidade, tipo de solo, radiação solar, relevo, entre outros; podem ser ecológicos, relacionados ao tipo de comunidade, sucessão vegetal, competição, alelopatia, entre outros; ou ainda podem ser determinados pelo tipo de solução construtiva de acordo com as formas de uso das plantas, ou seja, o tipo de reprodução da espécie. Outros requisitos também devem ser considerados de acordo com as especificidades do local de intervenção, tais como tolerância ao apedrejamento, aterramento ou exposição parcial das raízes, capacidade de rebrota e resistência à submersão. O autor salienta ainda que o cumprimento destes requisitos resulta no sucesso da implantação da vegetação.

Diversas técnicas de Engenharia Natural utilizam como material construtivo vivo estacas lenhosas de diferentes espécies, as quais posteriormente enraízam no solo e desenvolvem uma planta completa. Em países de clima temperado os salgueiros e populus são amplamente utilizados para esse fim. A capacidade de propagação via estaquia de uma espécie é um atributo valioso, pois significa que poderão ser utilizados materiais vegetais do local da intervenção, sem que seja necessário propagar o material em viveiro (MORGAN; RICKSON, 1995).

Durlo e Sutili (2014) mencionam que o tipo de propagação das espécies a serem empregadas desempenha um importante papel nas intervenções de Engenharia Natural, pois para vegetar certos habitats, principalmente em sítios extremos, com frequência torna-se imprescindível o uso de espécies com propagação vegetativa ao invés daquelas que só se propagam por sementes.

Segundo os mesmos autores, o processo de estabilização ou recuperação de certas áreas pode ser acelerado se forem conhecidos os principais meios de propagação das plantas. Desse modo, dependendo do tipo de técnica utilizada, pode-se dar preferência às plantas que se propagam por sementes, ou pode ser mais conveniente ou mesmo obrigatório, o uso de espécies que possuam propagação vegetativa. Para Durlo et al. (2010), na utilização de métodos que visam diretamente

a estabilização é mais interessante o aproveitamento de espécies com propagação vegetativa.

### **3 PROPAGAÇÃO VEGETATIVA POR ESTAQUIA**

#### **3.1 CONSIDERAÇÕES GERAIS**

A propagação vegetativa é o processo de multiplicação assexuada de partes de plantas (células, tecidos, órgãos ou propágulos), que ocorre por mecanismos de divisão e diferenciação celular originando indivíduos idênticos à planta-mãe. A propagação vegetativa baseia-se na capacidade de regeneração de parte da planta a partir de células somáticas, a qual depende de duas características básicas: a totipotência (informação genética que cada célula possui para a perpetuação da espécie) e a diferenciação (capacidade das células somáticas e dos tecidos de regenerar órgãos adventícios) (FERRARI et al., 2004; HARTMANN et al., 2002; FACHINELLO et al., 2005; SIMÃO, 1998).

A propagação vegetativa pode ser alcançada mediante as técnicas de macropropagação (estaquia, alporquia, enxertia e miniestaquia) ou através da micropropagação (por meio da técnica da cultura de tecidos) (Higashi et al., 2000). 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; HOPE et al., 1999).

A técnica de estaquia consiste em utilizar porções dos ramos, raízes ou folhas de uma planta matriz e induzir a formação de raízes adventícias e brotos através da manipulação mecânica, química e/ou ambiental (HARTMANN et al., 2002). Para Venti et al. (2003), estacas de espécies de arbustos ou árvores são segmentos dos ramos retirados da planta-mãe capazes de formar raízes adventícias e, assim, regenerar outro exemplar, às vezes com desenvolvimentos consideráveis em um curto período de tempo (como por exemplo as espécies de salgueiros, *populus* e aveleiras).

A capacidade de propagação vegetativa por estaquia é uma característica presente em algumas espécies de arbustos e árvores, geralmente rústicas e com grande capacidade de adaptação e, portanto, capazes de colonizar solos pobres em nutrientes (espécies pioneiras). Essas espécies iniciam o processo de recolonização e permitem a sucessão da vegetação a estágios mais avançados. Ao mesmo tempo a utilização de estacas vivas assegura, de modo geral, uma cobertura mais rápida do

solo e, portanto, aumentam os efeitos de consolidação e retenção de água do solo (DE ANTONIS; MOLINARI, 2007).

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. Além disso, estudos têm demonstrado 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).

A utilização da técnica de estaquia também 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, permite a multiplicação de indivíduos mais vigorosos e mais resistentes a determinadas doenças, características estas selecionadas a partir de uma matriz ideal (BITENCOURT, 2006).

### 3.2 INDUÇÃO E DESENVOLVIMENTO DAS RAÍZES

Conforme Hartmann et al. (2002), a indução das raízes adventícias ocorre quando as estacas são cortadas e suas células injuriadas e expostas na superfície do corte iniciam a cicatrização, subsequentemente o processo de regeneração das raízes ocorre em três etapas:

1. Necrose das células exteriores com posterior selamento com material adensado (suberina), tapando o xilema. Esta barreira ajuda a proteger a superfície do corte contra a dessecação e o ataque de patógenos;
2. As células vivas atrás desta barreira iniciam a divisão após poucos dias e uma camada de células parenquimáticas (calos) forma a periderme;
3. Células próximas do câmbio vascular e floema começam a divisão e iniciam a formação das raízes adventícias.

O local de emissão dos primórdios radiculares é bastante variável, conforme a espécie e o tipo de estaca. Em estacas herbáceas, que não possuem o câmbio desenvolvido, os primórdios podem surgir entre os feixes vasculares, ou ainda podem

ser formados a partir da epiderme e do periciclo. Nas estacas lenhosas os primórdios se formam a partir do xilema secundário jovem, geralmente em um ponto correspondente a entrada do raio vascular. Também podem ser formados a partir do câmbio, do floema, das lenticelas ou da medula (FACHINELLO et al., 2005; HARTMANN et al., 2002).

A formação de raízes em algumas espécies é precedida pelo surgimento de calos, que são massas irregulares de células parenquimáticas em diferentes estágios de diferenciação. O surgimento do calo serve para indicar o favorecimento das condições de enraizamento, uma vez que são influenciados pelos mesmos fatores e frequentemente ocorre a emergência das raízes a partir dos calos (HARTMANN et al., 2002). No entanto, a formação de calos não é um prenúncio seguro da formação de raízes adventícias, pois não há uma relação direta entre os mesmos. Enquanto que a formação do calo é essencial para o enraizamento de algumas espécies, para outras estes podem prejudicar a formação de raízes (FACHINELLO et al., 2005; HAMANN, 1998).

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 mesmos autores citam que, à medida que o ramo se torna mais lignificado, o local de formação das raízes parece se deslocar em direção centrípeta, ou seja, em estacas semilenhosas, originadas do floema, e em estacas lenhosas, do câmbio.

### 3.3 FATORES QUE AFETAM O ENRAIZAMENTO

Diversos fatores estão relacionados com a maior ou menor facilidade de enraizamento de estacas, podendo ser divididos em fatores internos e externos. Dentro 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 presença de barreiras anatômicas ao enraizamento, 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 (OWUSU et al., 2014; AMRI et

al., 2010; MONTEIRO et al., 2010; HUSEN; PAL, 2006; FACHINELLO et al., 2005; CORRÊA; FETT-NETO, 2004; HARTMANN et al., 2002; TCHOUNDJEU et al., 2002; SIMÃO, 1998; OFORI et al., 1996).

### 3.3.1 Fatores internos

#### 3.3.1.1 Condição fisiológica da planta matriz

As condições fisiológicas da planta-matriz no momento da coleta das estacas, nomeadamente o conteúdo de água, o teor de reservas e de nutrientes 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).

O teor de reservas de carboidratos presentes nas estacas também influência no processo de enraizamento, uma vez que as auxinas requerem uma fonte de carbono para a biossíntese dos ácidos nucléicos e uma fonte proteica para a formação das raízes. Diversos autores têm observado que reservas mais abundantes de carboidratos correlacionam-se com maiores percentuais de enraizamento e sobrevivência de estacas (DRUEGE et al., 2000; FACHINELLO et al., 1995; DICKMANN; HENDRICK, 1993; HAMBRICK et al., 1991; HAISSIG et al., 1974).

A relação carboidrato/nitrogênio 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, ou seja, um 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).

Segundo Fachinello et al. (2005) 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 alguns nutrientes como fósforo, potássio, cálcio e magnésio favorece o enraizamento (FACHINELLO et al., 2005). A condição nutricional relaciona-se

diretamente com o tamanho da estaca utilizada, visto que, em geral, estacas com maior comprimento podem apresentar maior teor de reservas e de auxinas endógenas e tendem a enraizar mais (MAYER et al., 2002).

### 3.3.1.2 *Balanço hormonal*

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 (HARTMANN et al., 2002).

As auxinas compõem o grupo de fitohormônios com maior efeito na formação de raízes adventícias. Tais substâncias agem 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).

Enquanto as auxinas estimulam o enraizamento adventício, as citocininas, que são produzidas nas raízes, estimulam a divisão celular, ou seja, há um estímulo a formação de calos e a iniciação de gemas. Porém, espécies com elevados teores de citocininas, normalmente, são mais difíceis de enraizar do que aquelas com menores quantidades. Outro importante fitohormônio são as giberelinas, sua principal ação é o estímulo ao crescimento do caule. No entanto, em concentrações mais elevadas as giberelinas inibem o enraizamento (FACHINELLO et al., 2005).

Os co-fatores do enraizamento são substâncias de ocorrência natural, como, por exemplo, ácido isoclorogênico, terpenóides oxigenados e compostos fenólicos (HARTMANN et al., 2002), os quais atuam sinergicamente com as auxinas, e são necessários para que se tenha o enraizamento. A maiores concentrações de co-fatores são observadas no estádio juvenil das plantas, explicando, o maior enraizamento obtido nesse estádio (FACHINELLO et al., 1995; HEUSER, 1976).

Quanto a influência do etileno no enraizamento, este pode reduzir, aumentar ou não interferir na formação de raízes adventícias. Há evidências de que o etileno endógeno não está diretamente envolvido no enraizamento induzido por auxinas nas estacas. Em relação ao ácido abscísico, sua influência no enraizamento de estacas

ainda não está bem esclarecida, no entanto, sua função, aparentemente, depende de sua concentração e das condições ambientais e nutricionais da planta (HARTMANN et al., 2002).

Os compostos fenólicos podem diminuir ou aumentar a capacidade de formação de raízes nas estacas. Os polifenóis diminuem a atividade do sistema auxina-oxidase/peroxidase, o que propicia o aumento na concentração de auxinas endógenas e maior sucesso no enraizamento. O contrário ocorre com os monofenóis, que aumentam a atividade desse sistema, diminuindo assim a concentração de auxina endógena, o que por sua vez prejudica o processo de enraizamento (JACKSON, 1986; ONO; RODRIGUES, 1996).

### 3.3.1.3 Idade da planta-matriz

A capacidade de enraizamento de estacas tende a diminuir à medida que aumenta a idade da planta-matriz. Estacas provenientes de plantas jovens tendem a enraizar com maior facilidade que as de plantas mais velhas, principalmente em espécies de difícil enraizamento. Vários fatores estão relacionados com essa diminuição da capacidade de enraizamento, tais como 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 do ramo no qual a estaca é obtida também pode influenciar no enraizamento, uma vez que há uma variação da composição química do tecido ao longo dos ramos. Variações na resposta ao enraizamento de estacas provenientes de diferentes posições do ramo foram observadas por diversos autores (OWUSU et al., 2014; AMRI et al., 2010; HUSEN; PAL, 2006; AGBO; OBI, 2007). Para HARTMANN et al. (2002), estacas apicais apresentam teores mais altos de auxinas endógenas, uma vez que essas são sintetizadas principalmente em tecidos jovens em divisão (TAIZ; ZEIGER, 2013). 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).

### 3.3.1.5 Barreiras anatômicas ao enraizamento

Em algumas espécies ocorre o desenvolvimento de um anel de fibras composto por células esclerenquimáticas, altamente lignificado, que tem como função a sustentação da planta. Esse anel desenvolve-se entre o floema e a região do córtex, local onde frequentemente é observada a origem das raízes adventícias, e, portanto, pode constituir-se como uma barreira anatômica para o enraizamento, principalmente em caules mais velhos (FACHINELLO et al., 2005; HARTMANN et al., 2002; BEAKBANE, 1961).

Alguns autores como Elbasheer e Elkalifa (2010), Mayer (2008), Hartmann et al. (2002), Haissig et al. (1974), Goodin (1965), Beakbane (1961) relacionam o baixo potencial de enraizamento de certas espécies a presença de tecidos com alto grau de lignificação, os quais frequentemente formam um anel contínuo bloqueando os raios do floema e dificultando a formação de raízes.

Contudo, segundo Amissah et al. (2008) e Davies (1984) expõem que algumas espécies apesar de possuírem um anel de fibras esclerenquimáticas apresentam um enraizamento eficiente, o que pode indicar que a capacidade de enraizamento de estacas está mais associada às condições fisiológicas e ao balanço hormonal da espécie do que à restrição mecânica da barreira de fibras.

### 3.3.2 Fatores externos

#### 3.3.2.1 Época do ano

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 estreitamente 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. Por outro lado, estacas menos lignificadas (herbáceas e semilenhosas) são mais propícias a desidratação e a morte, ao passo

que estacas lenhosas podem até mesmo ser enraizadas no campo (FACHINELLO et al., 2005; DUTRA et al., 2002; HARTMANN et al., 2002).

Segundo Bleasdale (1977) a época do ano em que é realizada a propagação vegetativa por estaquia pode influenciar diretamente na 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.

Komissarov (1968 apud REZENDE, 2007) relata que a época do ano em que a estaquia é realizada é fator determinante de sucesso, uma vez que está relacionada com o estádio do ramo e com o grau de atividade dos processos fisiológicos das plantas. Dessa forma, algumas plantas podem ser propagadas no período de crescimento e outras durante o repouso. A época ideal para a propagação de cada planta em especial deve ser determinada regionalmente e experimentalmente.

### *3.3.2.2 Temperatura e umidade*

A temperatura e a umidade do ar durante a propagação vegetativa influenciam na porcentagem de enraizamento das estacas (CORREA; FETT-NETO, 2004; FACHINELLO et al., 2005; HARTMANN et al., 2002; SEILER, 1998; McMICHAEL; BURKE, 1994; COOPER, 1973).

Temperaturas mais elevadas podem promover o desenvolvimento de brotações antes que ocorra o enraizamento, sendo prejudicial à formação das raízes adventícias e aumentando a perda de água (FACHINELLO et al., 2005). De acordo com Hartmann et al. (1997) a temperatura do ar adequada durante o enraizamento para a maioria das espécies situa-se entre 21°C e 27°C diurnos e próximo aos 15°C noturnos.

Para Simão (1998) temperaturas amenas, entre 12°C e 27°C, favorecem o aumento de carboidratos e o enraizamento das plantas. A estratificação das estacas a baixa temperatura inibe a formação de raízes e a brotação. Seiler (1998), em seu estudo concluiu que temperaturas na faixa de 20°C a 35°C favoreceram o crescimento e desenvolvimento de raízes laterais em espécies do gênero *Helianthus*.

Em relação a umidade, esta é de suma importância no enraizamento de estacas, principalmente nas herbáceas e com folhas, em que a perda de água é maior.

A manutenção das folhas constitui um importante estímulo para a emissão de raízes, porém, a perda de água por essas estruturas pode provocar a desidratação da estaca e causar sua morte antes que ocorra a formação de raízes (HARTMANN et al., 1997).

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

### 3.3.2.3 Substrato

O substrato é um dos fatores que condicionam o sucesso na propagação de plantas. Em geral, o substrato ideal para a estaqueia deve apresentar capacidade de sustentar as estacas durante todo o processo, proporcionar umidade, alto grau de porosidade para facilitar o crescimento radicular e permitir que a base da estaca obtenha oxigênio e ao mesmo tempo um bom suprimento de água (LACERDA et al., 2006; HARTMANN et al., 2002; KÄMPF, 2001; MING, 1998; PAIVA; GOMES, 1993; EDMOND et al., 1957).

HOFFMANN et al. (1996), menciona que o tipo de substrato a ser utilizado não afeta somente o enraizamento, mas também a qualidade do sistema radicular e tem fundamental importância em espécies de difícil enraizamento. Para HARTMANN et al. (1997), o substrato adequado para o enraizamento depende da espécie, do tipo de estaca, da época, do sistema de propagação, do custo e da disponibilidade de seus componentes.

Os substratos mais utilizados para enraizamento de estacas são: vermiculita, areia, casca de arroz carbonizada, turfa, serragem de madeira e solo (HARTMANN et al., 2002; PAIVA et al., 1996).



## 4 ANATOMIA DA MADEIRA

### 4.1 IMPORTÂNCIA DE ESTUDOS EM ANATOMIA DA MADEIRA

A Anatomia da Madeira é o ramo da ciência botânica que estuda os diferentes tipos celulares constituintes do lenho, bem como sua organização, função e as relações estabelecidas entre células da madeira com a atividade biológica vegetal (METCALFE; CHALK, 1983).

Através do estudo microscópio de madeiras é possível identificar diversas características que estão diretamente relacionadas ao uso comercial da espécie, além de constituir-se uma excelente ferramenta complementar para estudos botânicos (MADY, 2007).

Segundo Lima (1994), os estudos em anatomia da madeira no Brasil têm sido direcionados mais para o aspecto descritivo, voltado para o conhecimento de espécies alternativas à indústria, e estabelecendo relações entre a anatomia do lenho e suas propriedades físicas, mecânicas e biológicas.

No que tange à tecnologia e uso da madeira, sabe-se que a composição do lenho, bem como a estrutura e organização de seus elementos constituintes, são fatores determinantes para as propriedades da madeira e sua aptidão a determinados fins (EAMES; MACDANIELS, 1953; ESAU, 1959).

Denardi (2007) em seu estudo, realizou uma análise anatômica da madeira de *Phyllanthus sellowianus*, *Sebastiania schottiana*, *Salix humboldtiana* e *Salix x rubens*, com o objetivo de compreender o comportamento dos caules com relação a flexibilidade e a resistência quando submetidos a força das águas. E concluiu que a presença abundante de fibras gelatinosas é seguramente uma das principais características anatômicas relacionadas à elevada flexibilidade das plantas. O grau de flexibilidade dos ramos é uma característica morfo-mecânica extremamente importante no que tange ao uso de espécies para a estabilização hidráulica, visto que copas flexíveis funcionam como barreiras físicas e protegem o solo da força da correnteza.

As fibras gelatinosas se desenvolvem em áreas submetidas à pressões (lenho de tração) e distinguem-se das fibras normais pelos seguintes aspectos: a) presença da camada “G”, que é parte integrante da parede secundaria e cuja espessura pode

ser igual ou maior do que a camada S2; b) pelas fibrilas de celulose da camada G, que são orientadas paralelamente ao eixo da fibra; c) pelo elevado conteúdo de celulose e lignina praticamente ausente na camada G, responsável pela cor azul-esverdeada em lâminas tingidas com azul-de-astra e safranina (Kollmann e Cote, 1968; Burger e Richter, 1991).

Os estudos em anatomia da madeira também servem para verificar a presença de barreiras anatômicas ao enraizamento, sendo esta análise utilizada por diversos autores como Wandenkoken (2015), Santos et al. (2011), Elbasheer e Elkalifa (2010), Amissah et al. (2008), Bortolini et al. (2008), Mayer et al. (2008), Bitencourt (2006), Beakbane (1961).

## 5 MATERIAL E MÉTODOS

### 5.1 DESCRIÇÃO DAS ESPÉCIES

#### 5.1.1 *Allamanda cathartica* L.

*Allamanda cathartica* pertence à família Apocynaceae e é conhecida popularmente por alamanda amarela ou simplesmente alamanda. Possui hábito variado, desde arbusto lenhoso de 2 a 5 metros de altura a trepadeira latescente, é uma espécie perenifólia, com numerosas ramificações e copa densa (LORENZI; SOUZA, 1995).

As folhas são simples, com superfície brilhante, margens inteiras e onduladas, em número de 4 a 6 por nó. As flores são amarelas, grandes em forma de funil e perfumadas dispostas em cachos bastante longos, principalmente na extremidade dos ramos (Figura 1). Os frutos são cápsulas espinhosas que se abrem para liberar as sementes aladas (BÁEZ et al., 2011).

A alamanda é uma espécie de crescimento moderado, adaptando-se a todos os estados brasileiros. Multiplica-se principalmente por estquia de caule e apresenta altas taxas de propagação sob sistema de nebulização, mesmo sem uso de indutores adequados de enraizamento (LORENZI; SOUZA, 2001).

A espécie habita áreas degradadas ou abandonadas, bem como taludes fluviais, sendo praticamente intolerante ao sombreamento. Desenvolve-se preferencialmente em solos bem drenados, arenosos e ricos em matéria orgânica. A espécie não tolera solos salobros ou muito alcalinos e, apesar de resistente ao frio, morre em temperaturas inferiores a – 1 °C (MATOS et al., 2011).

Muito utilizada no paisagismo, é frequentemente cultivada em jardins para a composição de renques e formação de cercas vivas. Deve ser cultivada a pleno sol, em solo fértil e com regas regulares (LORENZI; SOUZA, 2001).

*Allamanda cathartica* é uma espécie nativa do Brasil e da América tropical (BÁEZ et al., 2011). No Brasil apresenta ocorrência em todos os Estados (KOCH et al., 2015).

Figura 1 – *Allamanda cathartica*. A – Aspecto geral da planta; B – Detalhe das flores.



Fonte: Paula Kettenhuber.

### 5.1.2 *Cephalanthus glabratus* (Spreng.) K. Schum.

Pertencente à família Rubiaceae é conhecido como sarandi, sarandi-branco, sarandi-mole, sarandi-de-vela e sarandi colorado (Uruguai). Trata-se de um arbusto ou arvoreta de 3-5 m de altura, caducifólio ou de folhagem semipersistente, com folhas lanceoladas, glabras, inteiras, dispostas em verticilos trifoliados. Siegloch et al. (2011) relata que as flores são brancas e com suave perfume de canela, dispõem-se em glomérulos globosos longamente pedunculados (Figura 2).

O fruto é seco e se separa em duas metades indeiscentes, angulosos e escuros (BRUSSA; GRELA, 2007). Para os mesmos autores a espécie floresce e frutifica na primavera e verão. No entanto, para Giehl (2012) esta planta floresce em janeiro e frutifica em fevereiro.

Segundo Siegloch et al. (2011) e Brussa e Grela (2007) *Cephalanthus glabratus* apresenta fácil propagação vegetativa.

Espécie heliófila ou de luz difusa e seletiva higrófila, desenvolve-se preferencialmente nas margens brejosas dos rios onde, por vezes, pode formar densos agrupamentos (DELPRETE et al., 2004). Vivem sempre as margens dos cursos de água ou em zonas de banhado, com suas raízes geralmente em contato com a água (BRUSSA; GRELA, 2007).

Conforme Marchiori (2004), *Cephalanthus glabratus* faz parte do grupo das espécies adaptadas à reofilia. O mesmo autor também cita que em várzeas arenosas,

não é rara a distribuição em mosaico de comunidades hidrófilas e xerófilas segundo variações do micro-relevo, alternando-se sarandis (*Cephalanthus glabratus* e *Phyllanthus sellowianus*).

As adaptações desta espécie em áreas úmidas e brejosas caracterizam-na como uma forte candidata para uso na restauração de áreas ciliares degradadas úmidas dentro da região natural de sua ocorrência (DELPRETE et al., 2004).

Siegloch et al. (2011) descreve anatomicamente a espécie, verificando a presença de fibras longas e de raios altos e estreitos, aspectos que aumentam a flexibilidade do caule, característica especialmente importante no caso de plantas submetidas à correnteza das águas.

A espécie apresenta ocorrência restrita na Mata Atlântica e Pantanal, ocorrendo nos Estados do Rio Grande do Sul, São Paulo, Paraná, Santa Catarina e Mato Grosso do Sul (KETTENHUBER, 2014).

Figura 2 – *Cephalanthus glabratus*. A – Aspecto geral da planta; B – Detalhe dos botões florais.



Fonte: Paula Kettenhuber.

### 5.1.3 *Escallonia bifida* Link & Otto

Pertencente à família Escalloniaceae, é popularmente conhecida como canudo-de-pito ou esponjeira. Para Marchiori (2000), a espécie é um arbusto de 2 a 3 metros de altura, muito ramificado, inerme, totalmente glabro, de copa globosa e folhagem persistente. Apresenta casca externa de cor ferrugem, com deiscência em tiras e casca interna marfim, de textura fibrosa e estrutura trançada. As folhas simples, alternas, subcoriáceas, variam de oblongas a obovoides, apresentando ápice obtuso ou emarginado, margem superior finamente serreada e base cuneada, inteira. Verde escuras e brilhantes na face superior e mais claras na inferior exibem nervuras peninérveas.

Ainda, segundo o mesmo autor as flores são brancas, pequenas e com estames amarelos, compõem densas panículas terminais (Figura 3). O fruto, que encerra numerosas sementes pequenas, é uma cápsula globosa, coroada pelas sépalas e o resto do estilete. A floração ocorre de dezembro a fevereiro, e a maturação dos frutos no outono.

A espécie multiplica-se tanto por estacas quanto por sementes (BRUSSA; GRELÀ, 2007; MARCHIORI, 2000). Para o último autor, habita lugares úmidos, como a margem de riachos e banhados. Schwirkowski (2009) cita que *Escallonia bifida* é uma planta pioneira, heliófita e seletiva higrófila. Cresce principalmente nas matas ciliares ralas ao longo de rios e córregos, sendo também abundante nas submatas dos pinhais.

Esta espécie ocorre com maior frequência nos Estados do Rio de Janeiro, Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul, e também nos Estados de Minas Gerais e São Paulo (KETTENHUBER, 2014).

Figura 3 – *Escallonia bifida*. A – Aspecto geral da planta; B – Detalhe das flores.



Fonte: Paula Kettenhuber.

#### 5.1.4 *Ludwigia elegans* (Camb.) H. Hara

Subarbustos com até 1,8 m de altura, eretos e ramificados. Caule não alado, com tricomas nos ramos jovens. Folhas elípticas a lanceoladas com 10-22 pares de nervuras secundárias, com aspecto opaco quando frescas e tricomas sobre ambas as faces, principalmente sobre as nervuras, pecíolo curto e densamente piloso. Flores tetrâmeras com pétalas amarelas, sépalas verdes densamente pilosas na face adaxial e pedúnculo densamente piloso (Figura 4). Fruto localizado no ápice, tetra-angulado, densamente piloso (BERTUZZI et al., 2011).

O período de floração e frutificação ocorre de outubro a junho. A espécie é encontrada em ambientes úmidos, abertos e ensolarados como campos, cultivados ou não, beira de rios e açudes, beira de caminhos e estradas (BERTUZZI et al., 2011).

A espécie apresenta distribuição na maioria dos países da América do Sul e Estados Unidos. No Brasil é encontrada nos Estados de Goiás, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Minas Gerais, Paraná, Rio de Janeiro, Rio Grande do Sul, Santa Catarina e São Paulo (RAMAMOORTHY; ZARDINI, 1987).

Figura 4 – *Ludwigia elegans*. A – Aspecto geral da planta; B – Detalhe da flor.



Fonte: Paula Kettenhuber.

#### **5.1.5 *Sambucus australis* Cham. & Schlehd.**

Conhecida popularmente como sabugueiro, esta espécie pertence à família Adoxaceae. Reitz et al. (1988) descreve-a como árvore perenifólia comumente de 5 a 10 m de altura. O tronco é curto de casca escura e rugosa encimado por densa ramificação flexível e pendente formando copa densa com folhagem verde-escura ou verde-clara, de forma alongada ou arredondada. As folhas com 5-6 pares de folíolos e um folíolo terminal, todos ovado-lanceolados, serrados, glabros (REITZ, 1985). Flores brancas e vistosas no ápice dos ramos, reunidas em cachos enormes muito atraentes (Figura 5). Os frutos são pequenas bagas, roxo-escuas, muito abundantes, que quando maduros contrastam vivamente com a densa folhagem. Apresenta densa ramificação flexível (REITZ et al. 1988).

Segundo Reitz (1985), floresce do mês de agosto até o mês de fevereiro, portanto iniciando no inverno e estendendo-se através da primavera e verão. Multiplica-se por sementes e estacas (BRUSSA; GRELA, 2007).

Recomendada ainda para o reflorestamento ao longo das margens de hidroelétricas para atrair a avifauna, com objetivo de disseminar esta e outras plantas frutíferas (REITZ, 1985).

Para Reitz (1985), a espécie caracteriza-se como heliófita, de luz difusa até esciófita e seletiva higrófita. Ocorre preferencialmente nas orlas e clareiras das florestas, sub-bosques dos pinhais, beira de rios, regatos e principalmente na vegetação secundária, ao longo das estradas, capoeiras e outros locais alterados pelo homem ou pelas tempestades.

Segundo o mesmo autor a espécie é característica e preferencial da Floresta Estacional do Alto Uruguai, estendendo-se ainda sob os sub-bosques dos pinhais e pela vegetação secundária da Floresta Ombrófila Densa da Costa Atlântica, apresentando, portanto, ampla dispersão.

*Sambucus australis* ocorre em toda a extensão da Mata Atlântica, desde o Rio Grande do Sul até o Rio Grande do Norte. E em alguns locais dos Estados do Mato Grosso do Sul, Mato Grosso, Goiás e Amazonas (KETTENHUBER, 2014).

Figura 5 – *Sambucus australis*. A – Aspecto geral da planta; B – Detalhe das flores.



Fonte: Paula Kettenhuber.

### 5.1.6 *Sesbania virgata* (Cav.) Pers.

Esta Fabaceae é conhecida popularmente por angiquinho-gigante, angiquinho-grande, sesbânia, ou ainda cambaí-amarelo.

Espécie arbustiva de 1,5 a 3 m de altura (FILARDI et al., 2007) de folhagem semipersistente, apresenta caule cilíndrico frequentemente de coloração ferrugínea,

lenticelado e pouco ramificado na base. Folhas alternadas helicoidais, compostas com até 24 pares de folólos de formato oblongo e mucronados e com margens inteiras. Inflorescência axilar do tipo cacho constituída por numerosas flores amarelas. Fruto do tipo legume tetrágono, indeiscente e inflado, o que permite sua dispersão por meio da água (Figura 6). Pode ser identificada a campo por meio dos frutos quadráticos e com aerênquima responsável pela flutuação e dispersão de suas sementes (MOREIRA; BRAGANÇA, 2010).

Santos et al. (1997) citam que a espécie tem vida curta, de 8 a 9 anos, com capacidade moderada de competir com gramíneas e rebrotar da cepa após corte ou fogo. Desenvolve-se naturalmente em terrenos úmidos e associa-se com Rhizobium. Trata-se de uma planta de interesse para revegetação de áreas degradadas. Pott e Pott (1994) também relatam o sucesso na utilização desta espécie em ambiente ciliar.

É uma espécie pioneira que apresenta capacidade moderada de competir com gramíneas e rebrotar da cepa após o corte ou fogo (ARAÚJO et al., 2004). Seus principais usos econômicos são o fornecimento de pasto apícola, lenha e forragem (POTT; POTT, 1994).

A espécie se desenvolve em áreas úmidas ou alagadas, a exemplo das margens de cursos de água onde suporta as cheias, canais de irrigação e drenagem, e várzeas encharcadas onde forma populações dominantes. Uma vez introduzida em um ambiente se dispersa rapidamente, pois, durante as inundações, as sementes são carregadas das áreas infestadas para áreas à jusante (MOREIRA; BRAGANÇA, 2010).

*Sesbania virgata* apresenta ocorrência na Mata Atlântica nas regiões Sul, Sudeste e Nordeste do Brasil (KETTENHUBER, 2014).

Figura 6 – *Sesbania virgata*. A – Aspecto geral da planta; B – Detalhe da inflorescência e frutos imaturos.



Fonte: Paula Kettenhuber.

### 5.1.7 *Terminalia australis* Camb.

Recebe os nomes populares de sarandi amarelo, amarelinho ou ainda amarilho. Pertencente à família Combretaceae é uma arvoreta decidua de 5 a 10 metros de altura, muito ramificada, ramos finos, flexíveis, copa irregular pouco densa, tronco curto coberto por casca bastante fina, levemente fissurada e escamosa. Reitz et al. (1988) relata que a espécie apresenta folhas simples elíptico-lanceoladas, comumente adensadas na ponta dos ramos e que flores se encontram em inflorescências de espigas axilares (Figura 7). Os frutos são providos de duas asas opostas (REITZ, 1967).

Segundo o mesmo autor esta arvoreta ou arbusto pode ser reconhecida na prática por ser semi-decídua, geralmente inclinada por sobre os rios, muito abundante ao longo dos mesmos, tendo ramos finos e compridos, pendentes a maneira dos salseiros.

Floresce em outubro e novembro, e frutifica de dezembro a março (REITZ, 1967; BRUSSA; GELLA, 2007). Em estudos preliminares, Sutili (2007) cita que *Terminalia australis* apresenta capacidade de reprodução por meio vegetativo, mas não imprime ritmo de crescimento para as obras de bioengenharia de solos. Assim

esta espécie pode ser aproveitada, quando houver o interesse de aumentar a diversidade nos locais de implantação das obras.

Espécie seletiva higrófila, é muito abundante ao longo das margens dos rios. Trata-se de espécie exclusiva dos barrancos dos rios, sujeitos às inundações periódicas, tornando-se juntamente com a *Pouteria salicifolia*, *Calliandra selloi*, *Phyllanthus sellowianus* e *Sebastiania schottiana*, uma das espécies mais características das associações existentes nos barrancos e ilhas dos rios do planalto (REITZ, 1967). Segundo Marchiori (2004), a espécie é adaptada à reofilía. Reitz et al. (1988) cita que a espécie apresenta flexibilidade.

Muito indicada para a implantação de reflorestamentos ao longo dos rios para evitar a demasiada erosão e prolongar a vitalidade das hidroelétricas da região (REITZ et al. 1988).

Esta espécie apresenta ocorrência restrita no Bioma Mata Atlântica, concentrando-se na Região Sul do Brasil (KETTENHUBER, 2014).

Figura 7 – *Terminalia australis*. A – Aspecto geral da planta; B – Detalhe das flores e folhas.



Fonte: Paula Kettenhuber.

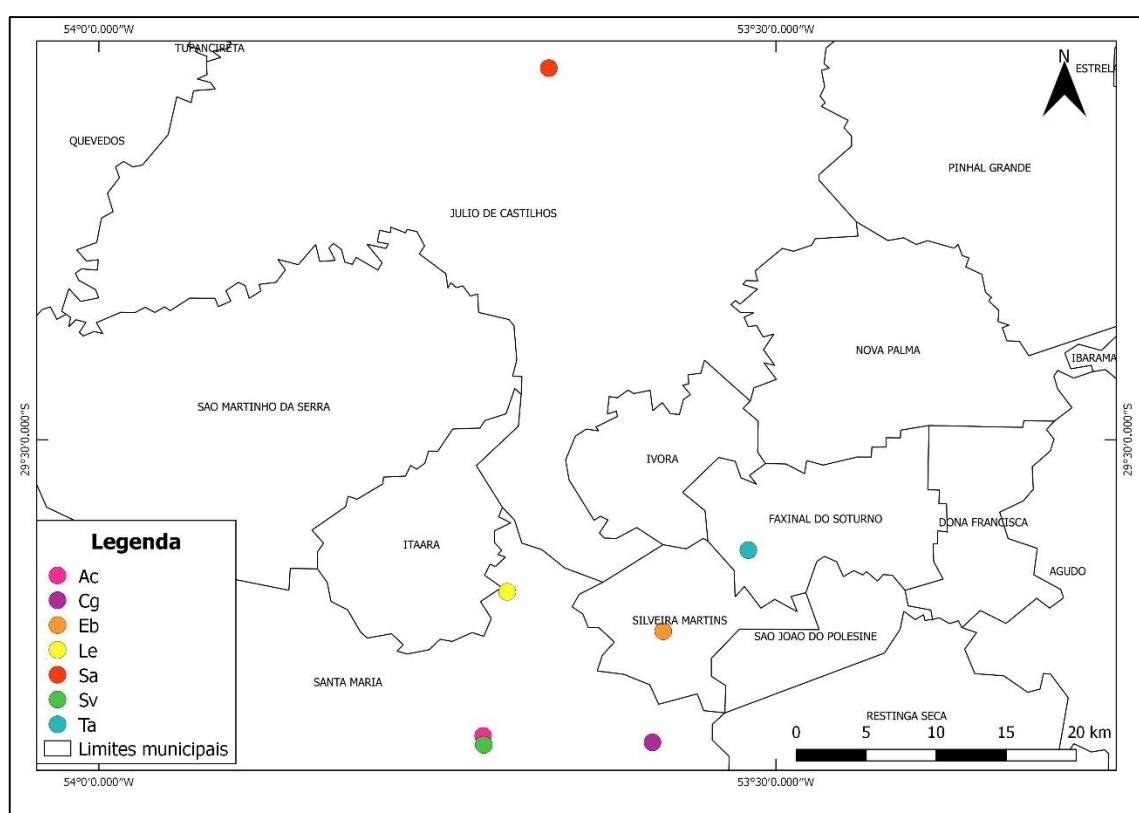
## 5.2 LOCALIZAÇÃO E COLETA DO MATERIAL VEGETAL

As coletas do material vegetal (estacas) foram realizadas em matrizes localizadas na região central do Estado do Rio Grande do Sul, Brasil, especificamente nos municípios

de Santa Maria, Faxinal do Soturno, Silveira Martins e Júlio de Castilhos. As matrizes foram georreferenciadas e sua localização é apresentada no mapa da Figura 8.

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 1.500 a 1.750 mm, com chuvas distribuídas ao longo do ano, porém, podem ocorrer períodos de déficit hídrico nos meses de verão. O município de Santa Maria apresenta temperatura média anual de 19°C, sendo a temperatura média do mês mais quente em torno de 24,8°C e a do mês mais frio de 14,1°C (MORENO, 1961).

Figura 8 – Localização das matrizes das espécies utilizadas para confecção de estacas.



As siglas utilizadas na legenda correspondem a: Ac – *Allamanda cathartica*; Cg – *Cephaelanthus glabratus*; Eb – *Escallonia bifida*; Le – *Ludwigia elegans*; Sa – *Sambucus australis*; Sv – *Sesbania virgata*; Ta – *Terminalia australis*. Fonte: Paula Kettenhuber.

A coleta do material vegetal de todas as espécies foi realizada no dia 02 de abril de 2016 para o experimento realizado durante o outono e dia 06 de setembro de 2016 para o final do inverno/primavera. Para manter o máximo de uniformidade, a coleta foi realizada em plantas matrizes que apresentavam boas condições fitossanitárias, idades e características semelhantes. Foram coletados preferencialmente ramos do último ciclo vegetativo. Após a coleta os ramos foram acondicionados em sacos plásticos e transportados para o Laboratório de Engenharia Natural da Universidade Federal de Santa Maria, onde foram confeccionadas as estacas. Também foi realizado a coleta de exsicatas para posterior confirmação da identificação das espécies com auxílio da literatura botânica e incorporação das mesmas no Herbário do Departamento de Ciências Florestais da Universidade Federal de Santa Maria (HDCF), com os respectivos registros: HDCF 7399 (*Sesbania virgata*), HDCF 7400 (*Sambucus australis*), HDCF 7401 (*Escallonia bifida*), HDCF 7407 (*Cephalanthus glabratus*), HDCF 7408 (*Allamanda cathartica*), HDCF 7409 e 7410 (*Ludwigia elegans*), HDCF 7411 (*Terminalia australis*).

As estacas lenhosas foram confeccionadas sem folhas, com comprimento de 20 cm e diâmetro variando de 5 a 15 mm, com corte reto e limpo, evitando danificar/macerar a estaca no corte e com pelo menos duas gemas/nós em cada estaca (Figura 9).

Figura 9 – Aspecto das estacas confeccionadas.



Fonte: Paula Kettenhuber.

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.

### 5.3 EXPERIMENTO 1 – CAPACIDADE DE PROPAGAÇÃO VEGETATIVA

#### 5.3.1 Instalação e condução do experimento

A capacidade de propagação vegetativa e o desenvolvimento da parte aérea e sistema radical das espécies estudadas foram avaliados em duas épocas: outono/inverno (02/04/2016 a 02/07/2016) e final do inverno/primavera (06/09/2016 a 06/12/2016).

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 possuir baixo custo, ser de fácil disponibilidade e apresentar características positivas quanto à drenagem, sendo seu uso adequado para

enraizamento de estacas (FACHINELLO et al., 1995). Além disso, segundo Schiechtel (1973), experimentos que visem avaliar o desenvolvimento vegetativo de plantas para Engenharia Natural devem preferencialmente 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.

O experimento foi conduzido em casa de vegetação automatizada no Laboratório de Engenharia Natural da Universidade Federal de Santa Maria, com temperatura mantida entre 20 e 30°C e irrigação por gotejamento programada por timer três vezes ao dia de 10 ml cada (09:00h, 13:00h e 17:00h), como pode ser observado na Figura 10.

Figura 10 – Vista geral do experimento na casa de vegetação.



Fonte: Paula Kettenhuber.

O delineamento experimental foi inteiramente casualizado, com 60 estacas para cada espécie em cada época do ano (outono/inverno e final do inverno/primavera), totalizando 120 estacas para cada espécie.

### 5.3.2 Variáveis analisadas

Após 90 dias, o experimento foi avaliado conforme o 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 (plantas) vivas, multiplicado por 100 e dividido pelo número total de estacas plantadas (vivas+mortas). Considerou-se estacas vivas aquelas que apresentavam raízes e/ou brotos. Também foi calculado o percentual de enraizamento, obtido pelo número de estacas enraizadas, multiplicado por 100 e dividido pelo número total de estacas plantadas.

Das plantas pegas (vivas) foram anotadas as seguintes informações:

- Estaca: diâmetro ao nível do solo;
- Brotos: número e comprimento dos brotos primários e massa seca;
- Raízes: número de raízes e comprimento das raízes primárias (diretamente ligadas à estaca) e massa seca.

A partir desses dados foram obtidas as seguintes variáveis para cada espécie:

- Número médio de brotos por planta;
- Soma do comprimento médio dos brotos por planta;
- Número médio de raízes primárias por planta;
- Soma do comprimento das raízes primárias por planta;
- Massa seca média de brotos e raízes;
- Número de raízes por metro de estaca enterrada, obtido pelo número total de raízes dividido pelo somatório do comprimento enterrado de todas as estacas vivas;
- Soma do comprimento das raízes por metro de estaca enterrada: média da soma do comprimento das raízes por metro de estaca enterrada, obtida pelo somatório do comprimento de todas as raízes primárias dividido pelo somatório do comprimento enterrado de todas as estacas vivas (a fim de facilitar comparações com estudos onde o tamanho da estaca utilizada não for o mesmo).

Para obtenção dos valores de massa seca dos brotos e raízes, esses foram destacados da estaca, colocados em embalagens de papel kraft e levados à estufa, a

temperatura de 65°C até atingirem peso constante. As variáveis de comprimento, diâmetro e massa seca foram determinadas com a utilização de uma régua graduada em centímetros, paquímetro e balança de precisão, respectivamente.

### **5.3.3 Análise estatística dos dados**

As análises estatísticas foram realizadas no software R versão 3.3.2. (R Development Core Team) e Excel (2013). As variáveis da parte aérea e sistema radicial foram analisadas separadamente para cada espécie, uma vez que o objetivo deste trabalho não é comparar as espécies e sim apresentar informações relevantes à utilização das mesmas em intervenções de Engenharia Natural, para que todas possam ser aproveitadas e assim aumentar a diversidade de espécies nas obras. Cada estaca viva foi considerada uma unidade experimental.

A normalidade dos dados foi verificada pelo teste de Kolmogorov-Smirnov e a homogeneidade de variâncias pelo teste de Bartlett. As taxas de sobrevivência e enraizamento, bem como as médias dos parâmetros da parte aérea (número, comprimento e massa seca dos brotos) e do sistema radicial (número, comprimento e massa seca das raízes) foram comparadas pelo teste de Mann-Whitney-Wilcoxon ao nível de 5% de probabilidade ( $p<0,05$ ).

## **5.4 EXPERIMENTO 2 - ANATOMIA DA MADEIRA**

### **5.4.1 Microtécnica**

Para confecção das lâminas histológicas, foram coletadas amostras da base de duas estacas por espécie no momento de cada instalação e da avaliação do experimento realizado no outono/inverno, com exceção das amostras de *Escallonia bifida*, que foram coletadas de estacas do experimento do final do inverno/primavera (Figura 11A). Posteriormente, foram extraídos três corpos de prova de cada amostra de madeira, com forma cúbica (aproximadamente 2 cm de lado) e devidamente

orientados para obtenção de cortes anatômicos nos planos transversal (X), longitudinal radial (R) e longitudinal tangencial (T) (Figura 11B).

A microtomia, realizada no Laboratório de Anatomia da Madeira da Universidade Federal de Santa Maria, seguiu a técnica padrão, recomendada por Burger e Richter (1991). Os blocos de madeira foram seccionados em micrótomo de deslizamento, modelo Spencer, regulado para a obtenção de cortes anatômicos com espessura nominal de 20-25 µm (Figura 11C); os cortes anatômicos foram tingidos com safra-blau (safranina 30% e azul de astra 70%). Na sequência, os cortes foram desidratados em série alcoólica-ascendente (30%, 50%, 70%, 90%, duas vezes em álcool absoluto) (Figura 11D), diafanizados em xilol e posteriormente montadas lâminas permanentes, com Entellan (Figura 11E).

#### **5.4.2 Fotomicrografias**

As fotomicrografias da estrutura anatômica foram tomadas em microscópio Zeiss Axiolmager A2 com sistema fotográfico digital Zeiss Axiocam RMc e software ZEN (Zeiss<sup>TM</sup>), no Laboratório de Botânica Estrutural da Universidade Federal de Santa Maria (Figura 11F).

#### **5.4.3 Avaliação de barreiras anatômicas**

Primeiramente, realizou-se uma análise de barreiras anatômicas presentes no lenho através de quatro fotomicrografias do plano transversal por espécie. Em cada microfotografia foi observada a presença e a organização do tecido esclerenquimático. Também se observou a formação das raízes adventícias através de fotomicrografias do plano transversal.

Figura 11 – Metodologia utilizada no preparo de lâminas anatômicas de madeira.



A e B – confecção dos corpos de prova; C – seccionamento dos corpos-de-prova em micrótomo; D – coloração e desidratação dos cortes; E – diafanização e montagem de lâminas permanentes; F – equipamento utilizado para obtenção de fotomicrografias. Fonte: Paula Kettenhuber.

#### 5.4.4 Descrição preliminar do lenho

A descrição microscópica preliminar das madeiras de *Allamanda cathartica*, *Cephalanthus glabratus*, *Escallonia bifida*, *Ludwigia elegans*, *Sambucus australis*, *Sesbania virgata* e *Terminalia australis* seguiu basicamente as recomendações do IAWA Committee (1989). Na descrição, incluiu-se também a porcentagem dos tecidos constituintes da madeira.

Para cada espécie foi realizada uma análise do ponto de vista tecnológico, na qual se observou alguns caracteres anatômicos da madeira que, de acordo com a literatura, podem ter influência no seu comportamento físico-mecânico, ou seja, na flexibilidade e resistência do caule: fração dos tecidos constituintes da madeira (vasos, parênquima axial, raios e fibras); tipo, comprimento e espessura de parede das fibras e dimensões dos raios.

Quanto ao tipo das fibras, procurou-se especialmente identificar a presença de fibras gelatinosas na constituição do lenho, a qual foi reconhecida pela coloração distinta (azul-esverdeada) das demais e pela espessura anormal de suas paredes.

#### **5.4.5 Mediçãoes e contagens microscópias**

A mensuração dos caracteres anatômicos da madeira foi realizada em microscópio binocular Carl Zeiss, provido de ocular com escala graduada.

O número de medições por característica anatômica seguiu as normas do IAWA Committee (1989), exceto para aquelas não contempladas na referida norma, tais como a percentagem dos tecidos da madeira.

Na determinação da percentagem dos tecidos constituintes da madeira, seguiu-se a metodologia proposta por Marchiori (1980). A cada movimento aleatório do *charriot*, em plano transversal, anotou-se o tipo de célula correspondente a um ponto predeterminado na escala graduada da lente ocular. O número dessas coincidências, em cada 100 determinações, expressa, diretamente, a porcentagem ocupada pelos diferentes tipos celulares no tecido lenhoso. Para cada indivíduo, foram feitas 3 amostragens, totalizando 300 determinações.



## 6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 6.1 CAPACIDADE DE PROPAGAÇÃO VEGETATIVA

#### 6.1.1 Sobrevida e enraizamento

Para avaliação do desenvolvimento vegetativo das espécies estudadas, considerou-se como valor da taxa de sobrevida satisfatório  $\geq 70\%$  (SCHIECHTL, 1973; CORNELINI; FERRARI, 2008). Com exceção de *E. bifida* e *T. australis*, todas as outras espécies obtiveram taxas de sobrevida superiores a este valor, sendo estas consideradas de boas a excelentes, conforme a Tabela 1.

Tabela 1 – Resultados da taxa de sobrevida e enraizamento das espécies estudadas obtidos nos dois períodos de avaliação, após 90 dias de plantio.

Espécie	Sobrevida (%)		Enraizamento (%)	
	P <sup>1</sup>	P <sup>2</sup>	P <sup>1</sup>	P <sup>2</sup>
<i>A. cathartica</i>	90,0a	93,3a	81,7a	13,3b
<i>C. glabratus</i>	58,3b	96,7a	48,3b	86,7a
<i>E. bifida</i>	0	60,0	0	36,7
<i>L. elegans</i>	98,3a	100,0a	98,3a	100,0a
<i>S. australis</i>	85,0a	70,0a	25,0a	6,7a
<i>S. virgata</i>	91,7a	40b	91,7a	40b
<i>T. australis</i>	23,3b	66,7a	5,0b	60a

<sup>1</sup> Experimento instalado no período do outono/inverno; <sup>2</sup> Experimento instalado no período do final do inverno/primavera.

Médias seguidas de mesma letra, para cada espécie, na mesma linha, não diferem entre si pelo teste de Mann-Whitney-Wilcoxon em nível de 5% de probabilidade.

Dentre as espécies testadas, *L. elegans* foi a que apresentou maiores taxas de sobrevida nas duas épocas do ano (98,3% e 100%), seguida de *C. glabratus* (96,7%) e *A. cathartica* (93,3%) no final do inverno/primavera e *S. virgata* (91,7%) no outono/inverno. *L. elegans* também foi a espécie que apresentou maiores percentuais

de enraizamento (98,3% e 100%), seguida de *S. virgata* (91,7%) e *C. glabratus* (86,7%).

Para a variável sobrevivência (porcentagem de estacas vivas) foi verificada diferença significativa ( $p<0,05$ ) entre as épocas do ano para *C. glabratus*, *S. virgata* e *T. australis*. As espécies *C. glabratus* e *T. australis* apresentaram taxas de sobrevivência significativamente maiores no período do final do inverno/primavera, com acréscimos na taxa de sobrevivência de 38,4% e 43,4%, respectivamente. Ao contrário destas, *S. virgata* apresentou melhores resultados no período do outono/inverno, sendo a taxa de sobrevivência 51,7% superior que no período seguinte. Quanto ao percentual de enraizamento, em geral, o comportamento dessas espécies entre as épocas avaliadas foi semelhante a sobrevivência, ou seja, espécies que apresentaram maior sobrevivência no final do inverno/primavera também obtiveram maior taxa de enraizamento nesse período e espécies que apresentaram maior sobrevivência no outono/inverno também o fizeram para a porcentagem de enraizamento.

Há de se considerar, entretanto, que a elevada mortalidade de estacas da espécie *S. virgata* no período do final inverno/primavera foi causada pelo ataque de larvas que se alimentaram do interior da estaca formando galerias. Sánchez-Soto et al. (2003) relataram a ocorrência do inseto *Neodiplogrammus quadrivittatus* (Olivier) em plantas de *S. virgata* no estado de São Paulo. Sua ocorrência também é citada para o Rio Grande do Sul, em plantas de *Sesbania punicea* e *Cassia corymbosa* (Fabaceae) (Silva et al., 1968). Segundo estes autores, a larva do inseto se alimenta no interior do caule e ramos da planta hospedeira, fazendo uma galeria longitudinal em direção à raiz, causando o depauperamento e a morte do ramo ou da planta. Possivelmente, no momento da coleta algumas matrizes de *S. virgata* já haviam sido atacadas pelo inseto, porém externamente ainda não apresentavam problemas fitossanitários.

Para as espécies *L. elegans*, *A. cathartica* e *S. australis* não houve diferença significativa ( $p>0,05$ ) na taxa de sobrevivência entre os períodos testados, o que também foi observado para a porcentagem de enraizamento de *L. elegans* e *S. australis*. Já para *A. cathartica* a porcentagem de enraizamento diferiu significativamente, apresentando elevada variação entre o outono/inverno (81,7%) e o final do inverno/primavera (13,3%).

A baixa porcentagem de enraizamento de *A. cathartica* no final do inverno/primavera provavelmente se deve ao fato de que as matrizes desta espécie se encontravam em floração no momento da coleta das estacas. Santos et al. (2011) também atribuíram os menores percentuais de enraizamento das estacas de *Cestrum laevigatum* (Solanaceae) coletadas na primavera à influência do florescimento das matrizes no momento da coleta. Resultado semelhante também foi obtido por Bortolini et al. (2008) em estacas de *Tibouchina sellowiana* (Melastomataceae) coletadas no outono de planta-matriz em floração.

Para Oliveira et al. (2001), quando as plantas estão no período de floração/frutificação, há o desvio de metabólitos para a formação de flores e frutos e os assimilados necessários para o enraizamento encontram-se em concentração mais reduzida quando comparados com outros períodos do ano, diminuindo assim o enraizamento neste período.

Não foi possível a realização de análise estatística para a espécie *E. bifida*, uma vez que não foram observadas estacas vivas no momento da avaliação no período do outono/inverno, devido ao apodrecimento de todas as estacas, possivelmente pela menor tolerância desta espécie ao excesso de umidade dentro da casa de vegetação neste período.

Conforme Xavier e Santos (2002), o excesso de água pode dificultar as trocas gasosas, favorecendo o desenvolvimento de doenças, dificultando o enraizamento e também levando a morte dos tecidos vegetais.

Patrício et al. (2013) também relataram incidência de fungos em estacas de *Dalbergia ecastophyllum* (Fabaceae), o que ocasionou o apodrecimento de diversos propágulos, sendo o ataque de patógenos atribuído à desidratação ou hiper-hidratação das estacas. Pinto et al. (2003) verificaram elevada mortalidade na época do outono (83,1%) em estacas da espécie *Rollinia rugulosa* (Annonaceae) devido ao apodrecimento das mesmas, o que provavelmente deveu-se à condição fisiológica das estacas, variabilidade genética do material utilizado ou ainda excesso de umidade para essa espécie dentro da casa de vegetação.

No período do final do inverno/primavera a taxa de sobrevivência de *E. bifida* foi de 60% e de enraizamento de apenas 36,7%. Essa baixa porcentagem de enraizamento da espécie *E. bifida* já foi relatada por Schafer et al. (2015), em experimento realizado durante o verão com o objetivo de verificar a viabilidade da propagação por estaquia desta espécie com a utilização de doses de ácido

indolbutírico (AIB), no qual a taxa de enraizamento verificada foi de apenas 16,4% para as testemunhas e não houve efeito do AIB no enraizamento desta espécie.

A porcentagem de enraizamento para a maioria das espécies estudadas foi menor que a sobrevivência. Esse padrão não foi observado nas espécies *L. elegans* e *S. virgata*, nas quais todas as estacas que se encontravam vivas ao final do experimento estavam enraizadas.

A maior diferença entre a taxa de sobrevivência e enraizamento foi observada na espécie *S. australis*, que apesar de apresentar taxas de sobrevivência consideradas boas a excelentes e intensa brotação, sua porcentagem de enraizamento foi baixa nos dois períodos do ano. A dificuldade de enraizamento desta espécie pode estar associada à presença de barreiras anatômicas ou ao balanço hormonal da espécie. Gratieri-Sossella et al. (2007) observaram comportamento semelhante em estacas da espécie *Erythrina crista-galli* (Fabaceae) e atribuíram o fato a intensa brotação das estacas, possivelmente consumindo mais reservas nutritivas, em detrimento da formação de raízes.

Segundo Hartmann et al. (2002), baixos níveis de auxinas e elevados níveis de citocinina tendem a favorecer a formação de brotos em detrimento da formação de raízes. Espécies com elevados teores de citocinina têm sido mais difíceis de enraizar do que aquelas com teores menores. Para os mesmos autores, concentrações elevadas de giberelinas e a ausência de co-fatores do enraizamento também podem dificultar o enraizamento. Altas concentrações de giberelinas aumentam a biossíntese de auxinas, as quais em elevadas concentrações podem causar efeito contrário, inibindo o enraizamento.

Em experimento realizado com *Terminalia bellirica* (Combretaceae), não foram observadas estacas enraizadas, independente da época de coleta. Os autores afirmam que a falha no enraizamento das estacas pode ter ocorrido pela presença de barreiras anatômicas, pela ausência de co-fatores do enraizamento ou ainda pela presença de inibidores do enraizamento nos ramos (BHARDWAJ et al., 1993).

A diferença entre as espécies quanto a melhor época para a realização da propagação vegetativa é explicada por Hartmann et al. (2002), os quais sugerem que algumas espécies apresentam boas taxas de enraizamento em qualquer época do ano, porém existem aquelas que enraízam melhor na primavera, por estarem em fase de crescimento ativo, com grande produção hormonal e assimilação de nutrientes.

Ainda segundo os mesmos autores, há espécies que enraízam melhor no período de outono/inverno, como por exemplo, algumas espécies caducifólias, que possuem reservas no caule suficientes para permitir a formação de raízes. No entanto, no presente estudo essa premissa não foi verificada, uma vez que *C. glabratus* e *T. australis*, espécies caducifólias, enraizaram significativamente melhor no período do final do inverno/primavera. Certamente, isso justifica-se pelo fato de que no momento da coleta no início do outono, estas ainda se encontravam com folhas, diferentemente do final do inverno, no qual as mesmas estavam sem folhas e possivelmente com acúmulo de reservas no caule devido à translocação de nutrientes para o mesmo antes da queda das folhas, o que pode ter favorecido o enraizamento das estacas, uma vez que havia disponibilidade de energia no caule para a produção de novas raízes.

Em geral, neste estudo, o período que apresentou maiores taxas de sobrevivência e enraizamento das espécies foi o final do inverno/primavera, coincidindo com o final do período de repouso vegetativo.

Esse resultado corrobora com Davies (1984), o qual verificou em *Ficus pumila* (Moraceae) que a primavera coincide com a época de maior atividade cambial e picos nas taxas de enraizamento. Ribas (1997) encontrou resultado semelhante em estacas de *Eucalyptus grandis* (Myrtaceae), as quais resultaram em um maior enraizamento quando coletadas na primavera, devido aos teores de proteínas e aminoácidos mais elevados nesta época do ano.

Murayama (1973) recomenda que as estacas sejam coletadas durante o período de repouso vegetativo, no final do inverno, quando os ramos estariam com maior acúmulo de reservas, visto que para que ocorra o enraizamento é necessária certa quantidade de substâncias de reserva concentradas nos tecidos cambiais.

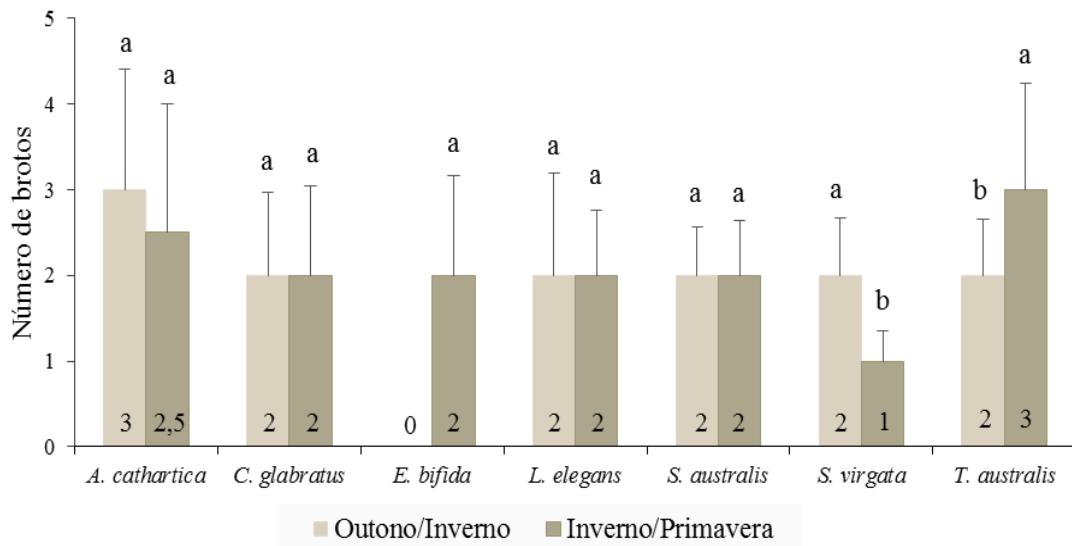
### **6.1.2 Variáveis da parte aérea**

Para a análise das variáveis da parte aérea (número, comprimento e massa seca de brotos) foram consideradas apenas as estacas vivas no momento da avaliação.

O número de brotos não apresentou diferença significativa entre os períodos de avaliação para *A. cathartica*, *C. glabratus*, *L. elegans* e *S. australis* (Figura 12).

Apenas *S. virgata* e *T. australis* apresentaram variação significativa para este parâmetro. As espécies que apresentaram maior produção de brotos foram *A. cathartica* e *T. australis*, ambas com média de 3 brotos por estaca.

Figura 12 – Número médio de brotos por estaca das espécies nos dois períodos de avaliação, após 90 dias de plantio.



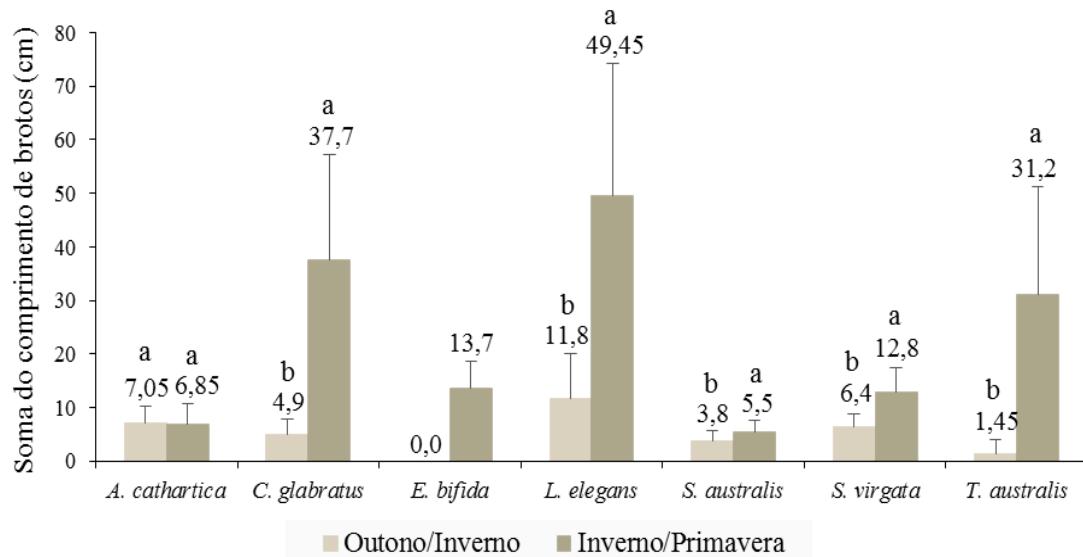
As barras seguidas de mesma letra, para cada espécie, não diferem entre si pelo teste de Mann-Whitney-Wilcoxon em nível de 5% de probabilidade.

Resultado semelhante foi observado por Wandekoken (2015) ao estudar a influência do diâmetro na propagação por estquia das espécies *Senna alata* (Fabaceae), *Cestrum laevigatum* (Solanaceae) e *Chromolaena odorata* (Asteraceae), as quais apresentaram de 1 a 2,9 brotos por estaca. Monteiro (2009) ao estudar a influência de ângulos de plantio na propagação vegetativa das espécies *Phyllanthus sellowianus* (Phyllantaceae) e *Salix humboldtiana* (Salicaceae), também não encontrou diferença significativa para a variável número de brotos e atribuiu 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.

Quanto ao comprimento dos brotos houve diferença significativa para *C. glabratus*, *L. elegans*, *S. australis*, *S. virgata* e *T. australis*, sendo que os maiores valores foram observados no período do final do inverno/primavera, variando de 5,5 cm para *S. australis* a 49,45 cm para *L. elegans*. No outono/inverno o comprimento

dos brotos variou de 1,45 cm em *T. australis* a 11,8 cm em *L. elegans*. Exceção foi observada na espécie *A. cathartica* que não apresentou diferença significativa para esta variável (Figura 13).

Figura 13 – Soma do comprimento brotos (cm) por estaca das espécies nos dois períodos de avaliação, após 90 dias de plantio.

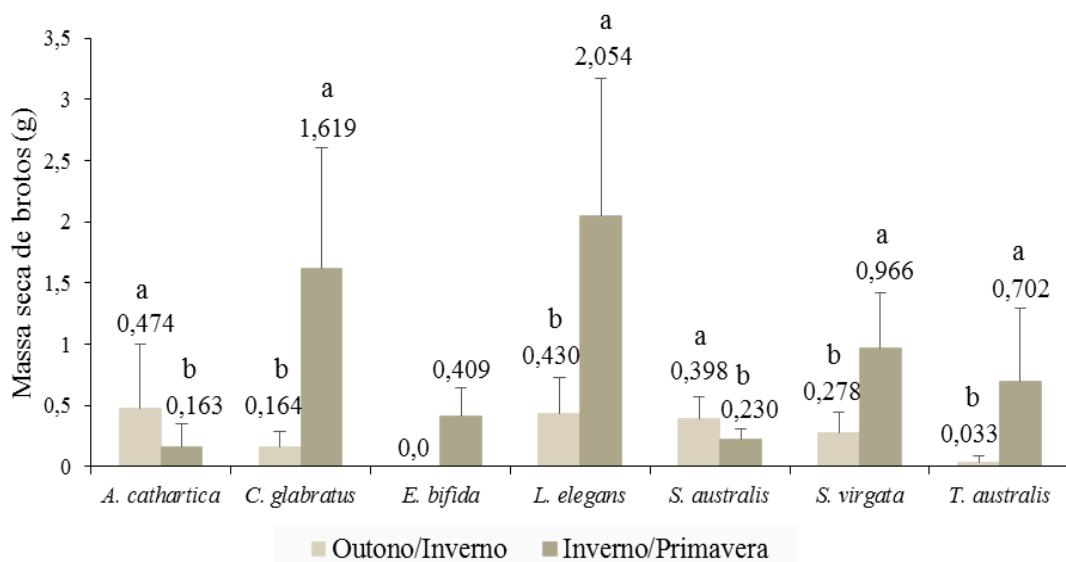


As barras seguidas de mesma letra, para cada espécie, não diferem entre si pelo teste de Mann-Whitney-Wilcoxon em nível de 5% de probabilidade.

Esse resultado concorda com Sutili (2007), que verificou maior soma do comprimento de brotos em *Phyllanthus sellowianus* e *Salix X rubens* após 150 dias do plantio no período do final do inverno/primavera.

A maior influência das épocas do ano nas variáveis da parte aérea foi verificada na massa seca dos brotos, visto que este parâmetro diferiu significativamente em todas as espécies estudadas, conforme a Figura 14. Para as espécies *C. glabratus*, *L. elegans*, *S. virgata* e *T. australis* a massa seca de brotos foi consideravelmente maior no período do final do inverno/primavera, coincidindo com a época em que essas espécies também apresentaram maior comprimento de brotos.

Figura 14 – Média da massa seca de brotos (g) por estaca das espécies nos dois períodos de avaliação, após 90 dias de plantio.



As barras seguidas de mesma letra, para cada espécie, não diferem entre si pelo teste de Mann-Whitney-Wilcoxon em nível de 5% de probabilidade.

Nota-se que apesar de *S. virgata* apresentar menor número de brotos no final do inverno/primavera, estes foram mais longos e com maior massa seca que no período anterior.

Monteiro (2009) 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.

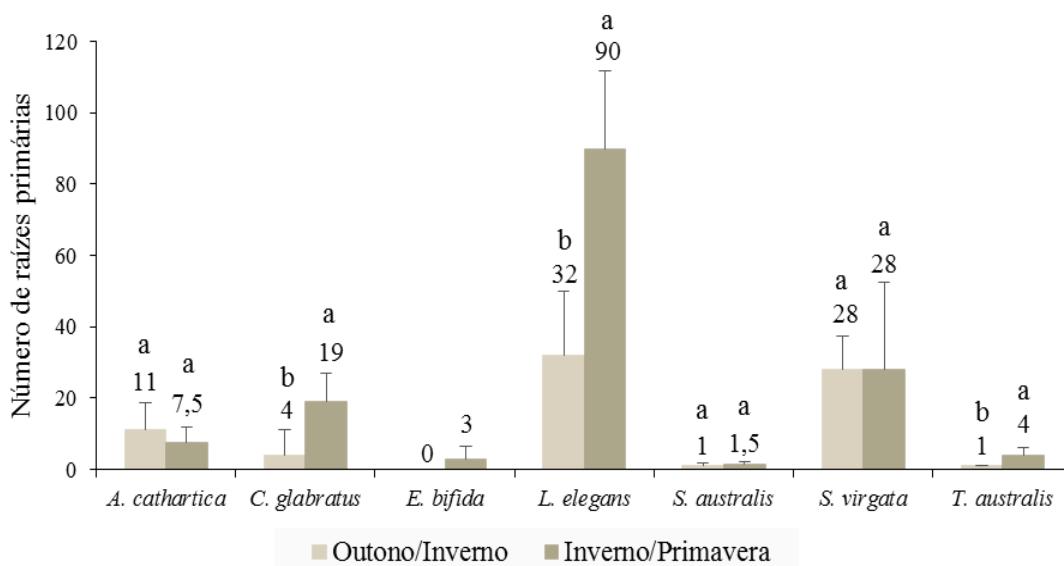
A análise simultânea dos parâmetros da parte aérea, considerando o número, comprimento e massa seca dos brotos, permite concluir que as espécies que desenvolveram maior volume da parte aérea no presente estudo foram *L. elegans*, *C. glaberratus*, *T. australis* e *S. virgata*.

Contudo, 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.

### 6.1.3 Variáveis do sistema radicial

O efeito das épocas do ano não influenciou a produção de raízes de *S. virgata*, a qual apresentou em média o mesmo número de raízes entre os dois períodos. Essa tendência também foi observada para *A. cathartica* e *S. australis* (Figura 15).

Figura 15 – Número médio de raízes primárias por estaca das espécies nos dois períodos de avaliação, após 90 dias de plantio.



As barras seguidas de mesma letra, para cada espécie, não diferem entre si pelo teste de Mann-Whitney-Wilcoxon em nível de 5% de probabilidade.

A quantidade de raízes produzidas por *L. elegans* nos dois períodos do ano foi superior a todas as outras espécies testadas, sendo que no final do inverno/primavera o número de raízes produzidas por esta espécie foi significativamente maior do que no período anterior. Para *C. glabratu* e *T. australis* também foi verificada diferença significativa entre os dois períodos avaliados, evidenciando a maior produção de raízes no período do final do inverno/primavera.

Esses resultados corroboram com Nicoloso et al. (1999) que ao estudar a propagação vegetativa de *Platanus acerifolia* (Platanaceae) em diferentes épocas do ano verificaram maior produção de raízes primárias na primavera. Para esses autores

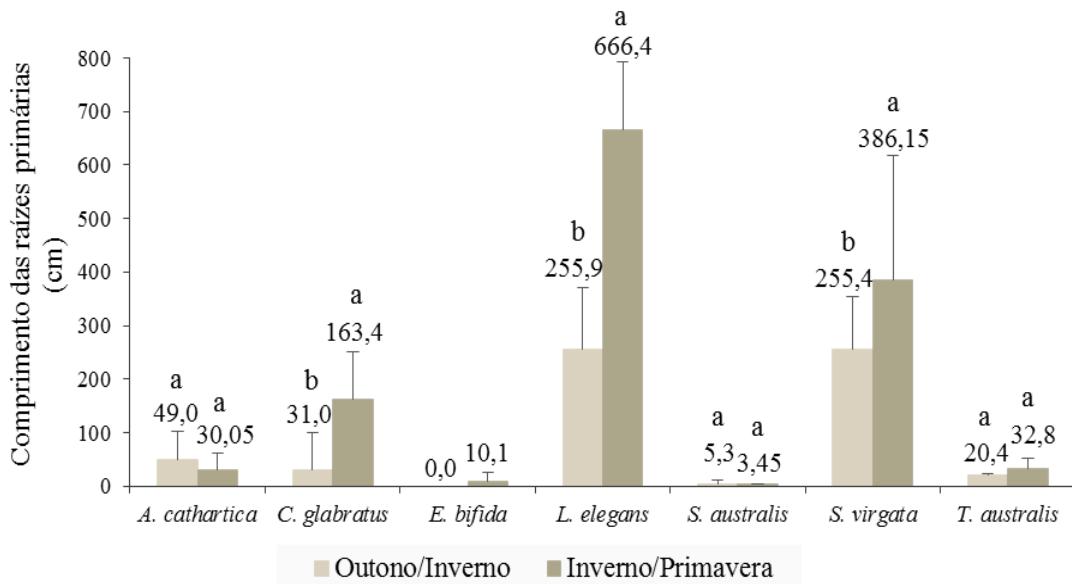
na estquia a produção de raízes primárias pode estar ligada ao teor endógeno de ácido indolacético (AIA). De acordo com Taiz & Zeiger (2013), a mais alta taxa de síntese de AIA, principal auxina nas plantas, ocorre nos pontos de crescimento da parte aérea (gemas e folhas jovens), sendo a produção desse fitohormônio maior na primavera, justificando a tendência do maior número de raízes observados nas estacas coletadas nessa época.

Pizzatto et al. (2011) obtiveram resultado semelhante na estquia de *Hibiscus rosa-sinensis* (Malvaceae), a qual apresentou maior número de raízes primárias na primavera quando comparado com o inverno. Para esses autores, as temperaturas mais baixas do inverno fazem com que a atividade metabólica das estacas seja baixa e o crescimento radical seja menor. Conforme Taiz & Zeiger (2013), a temperatura tem efeito direto sobre o metabolismo da planta, sendo que, quanto maior, mais aceleradas serão as reações químicas, o que pode ter favorecido o melhor desenvolvimento radical na primavera.

Segundo Nicoloso et al. (1999), a baixa produção de raízes no outono, possivelmente está associada com: temperaturas mais baixas e o alto teor de inibidores, comuns na fase de dormência.

As mesmas condições que possivelmente influenciaram na maior produção de raízes primárias no final do inverno/primavera, também o fizeram para o comprimento destas, que foi consideravelmente maior neste período para *L. elegans*, *S. virgata* e *C. glabratus* (Figura 16). Para as demais espécies não houve diferença significativa para este parâmetro.

Figura 16 – Comprimento médio de raízes primárias (cm) por estaca das espécies nos dois períodos de avaliação, após 90 dias de plantio.



As barras seguidas de mesma letra, para cada espécie, não diferem entre si pelo teste de Mann-Whitney-Wilcoxon em nível de 5% de probabilidade.

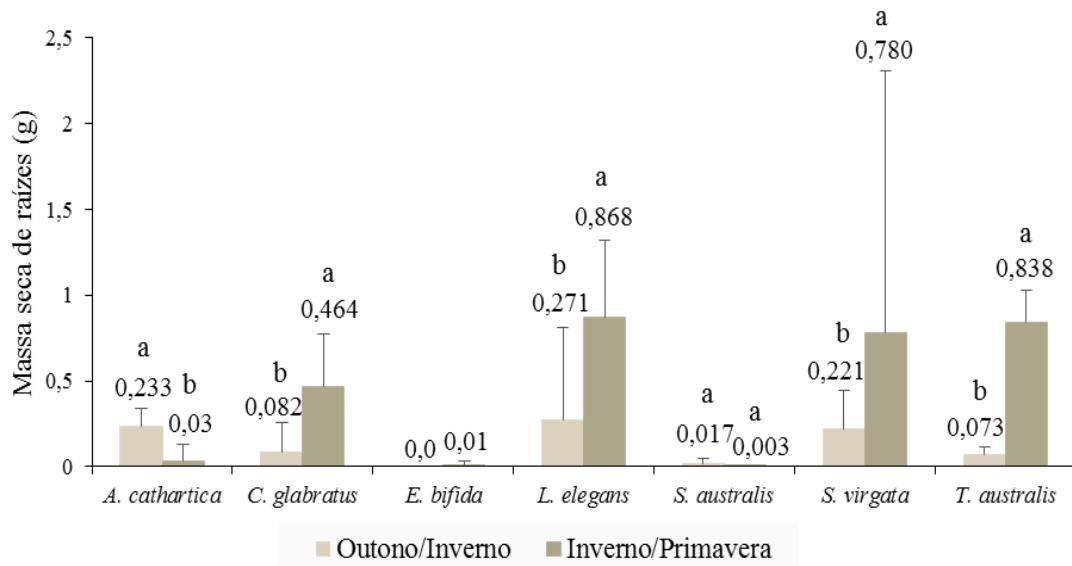
O desenvolvimento de raízes primárias significativamente melhor na primavera que no outono também foi observado por ONO et al. (1994) na estquia de *Platanus acerifolia*.

A massa seca de raízes foi a variável do sistema radicular que apresentou maior variação entre as épocas do ano avaliadas, sendo esta significativa para as espécies *A. cathartica*, *C. glabratu*, *L. elegans*, *S. virgata* e *T. australis*, como pode ser observado na Figura 17.

Em geral, comparando os dois períodos do ano, a massa seca de raízes foi superior no período do final do inverno/primavera. Resultado que está de acordo com Borges e Martins-Corder (2002), que ao compararem dois experimentos realizados com *Acacia mearnsii* (Fabaceae), um deles instalado no outono e outro na primavera, observaram um acréscimo de 35% no peso médio de massa seca de raiz na primavera.

Exceção foi observada em *A. cathartica* que apresentou maior massa seca de raízes no outono/inverno, possivelmente devido ao fato das plantas-matrizes encontrarem-se em floração no momento da coleta no período do final do inverno/primavera, como já explicado anteriormente.

Figura 17 – Média da massa seca de raízes (g) por estaca das espécies nos dois períodos de avaliação, após 90 dias de plantio.



As barras seguidas de mesma letra, para cada espécie, não diferem entre si pelo teste de Mann-Whitney-Wilcoxon em nível de 5% de probabilidade.

A massa seca de raízes de *S. australis*, ao contrário das demais, não diferiu significativamente entre os períodos do ano, sendo os valores praticamente nulos, uma vez que a produção de raízes desta espécie foi a menor dentre as espécies estudadas.

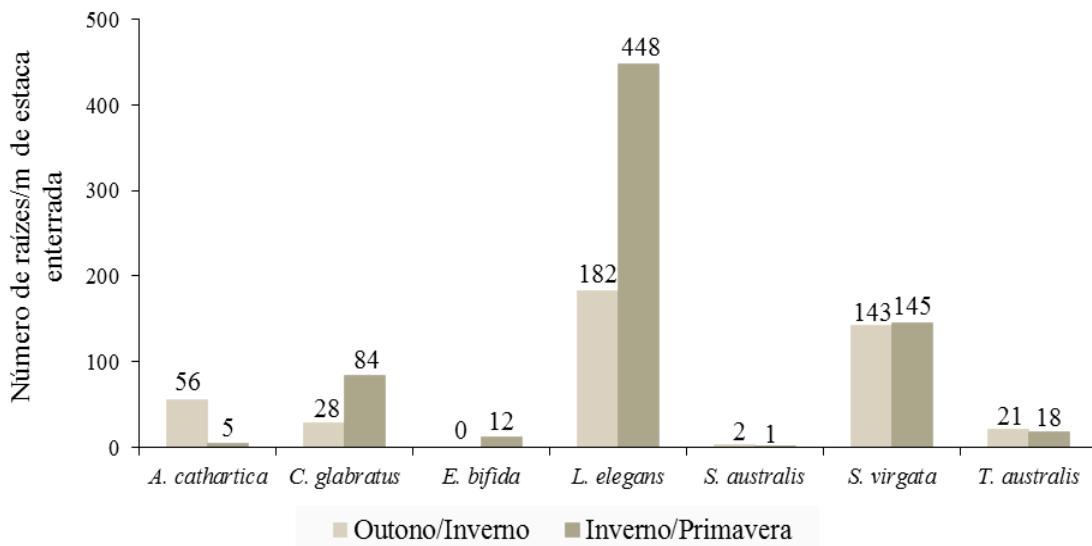
A partir dos valores do número médio e soma do comprimento das raízes primárias foi possível calcular o número de raízes e a soma do comprimento das raízes por metro de estaca enterrada, a fim de melhor comparar com estudos que utilizaram tamanhos de estacas diferentes.

Para Monteiro (2009), o conhecimento do número de raízes por metro de estaca é uma variável de fundamental importância, pois a quantidade de raízes, além do comprimento das mesmas, permite avaliar o potencial de regeneração das estacas, bem como a capacidade da espécie, em um primeiro momento, de auxiliar no ancoramento do solo e em seguida participar no processo de agregação do solo tendo por consequência, a estabilização de taludes.

Ao analisar o número de raízes primárias por metro de estaca enterrada fica ainda mais evidente a elevada produção de raízes de *L. elegans*, atingindo 448 raízes/m no final do inverno/primavera e 182 raízes/m no outono/inverno após 90 dias do plantio (Figura 18). Esses valores superam os observados por Sutili (2007) para

*Phyllanthus sellowianus* com 130 raízes/m e *Salix X rubens* com 144 raízes/m no período da primavera/verão e *Salix humboldtiana* com 74 raízes/m no outono/inverno após 150 dias de plantio.

Figura 18 – Número de raízes primárias por metro de estaca enterrada das espécies nos dois períodos de avaliação após 90 dias de plantio.

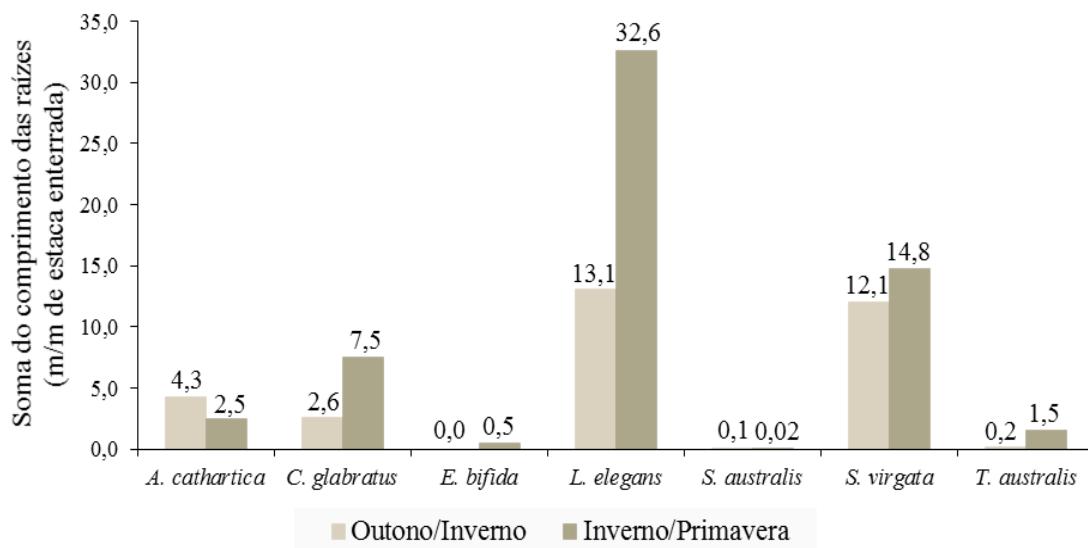


Vargas (2007) ao avaliar as espécies *Phyllanthus sellowianus*, *Salix X rubens* e *Sebastiania schottiana* (Euphorbiaceae), obteve valores para o número de raízes em torno de 120 raízes/m, 125 raízes/m e 20 raízes/m, respectivamente, aos três meses após o plantio.

Dentre as demais espécies pode-se considerar que *S. virgata*, *C. glabratu*, *A. cathartica* e *T. australis* produziram valores satisfatórios de raízes primárias, com 145 raízes/m, 84 raízes/m, 56 raízes/m e 21 raízes/m, respectivamente.

A soma do comprimento das raízes por metro de estaca enterrada seguiu a mesma tendência do número de raízes primárias, conforme a Figura 19. As espécies que desenvolveram maiores sistemas radiciais foram *L. elegans*, *S. virgata*, *C. glabratu* e *A. cathartica*.

Figura 19 – Soma do comprimento das raízes primárias por metro de estaca enterrada para as espécies nos dois períodos de avaliação após 90 dias de plantio.



Das espécies avaliadas por Sutili (2007), as que apresentaram raízes mais longas aos 150 dias foram *Salix X rubens* com aproximadamente 22 m, *P. sellowianus* com 20 m, *S. humboldtiana* em torno de 12 m e *S. schottiana* com 5 m. Já Monteiro (2009) observou valores mais elevados aos 90 dias após o plantio para *P. sellowianus* e *S. humboldtiana*, de aproximadamente 44,9 m e 35 m, respectivamente. Sendo o potencial biotécnico dessas espécies já comprovado e seu uso bastante consolidado em intervenções de Engenharia Natural.

Comparando-se com esses resultados é possível afirmar que *L. elegans*, *S. virgata*, *C. glabratu* e *A. cathartica* são capazes de imprimir ritmo de desenvolvimento do sistema radical esperado nas obras de Engenharia Natural. A utilização da espécie *T. australis* não deve ser descartada, pois apesar de não ter apresentado um sistema radical longo durante o período de avaliação esta espécie foi capaz de produzir um bom número de raízes e possivelmente necessita de um período maior para desenvolvimento do seu sistema radical.

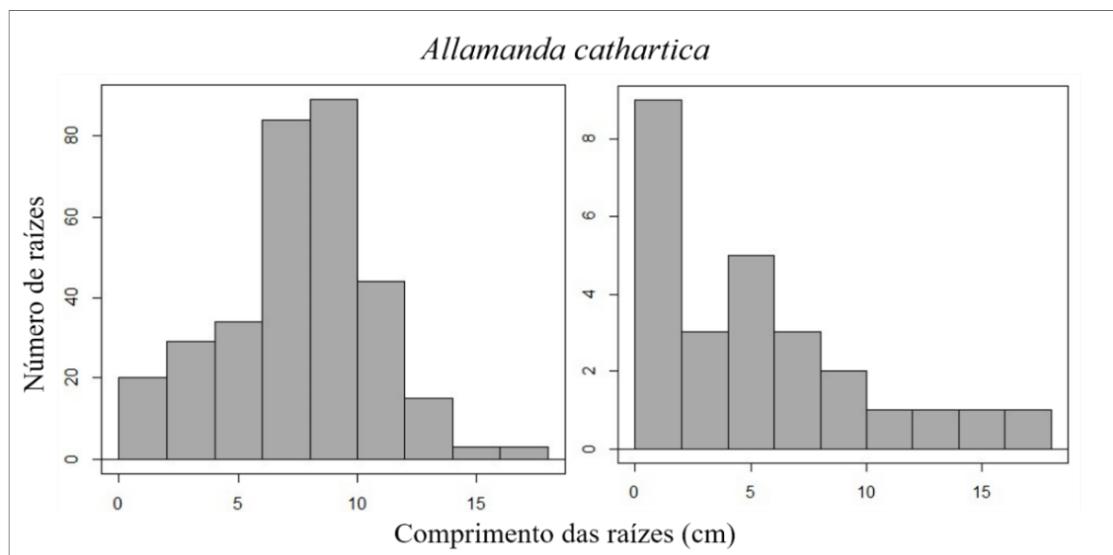
Cabe destacar que a espécie *S. virgata* apesar de ter apresentado taxas de sobrevivência e enraizamento menores no período do final do inverno/primavera do que no outono/inverno, apresentou neste período melhores resultados dos parâmetros da parte aérea e sistema radical, o que indica que a espécie apresenta excelente capacidade de propagação vegetativa nos dois períodos avaliados.

Contudo, para o melhor julgamento do desenvolvimento inicial do sistema radical destas espécies faz-se necessário uma análise da distribuição das raízes por classe de comprimento, sendo esta uma característica importante a ser avaliada para utilização das plantas em Engenharia Natural.

Esta análise foi realizada através da distribuição da frequência absoluta do comprimento das raízes das espécies que apresentaram melhor desenvolvimento dos parâmetros do sistema radical para as duas épocas do ano: *A. cathartica*, *C. glabratus*, *L. elegans* e *S. virgata*.

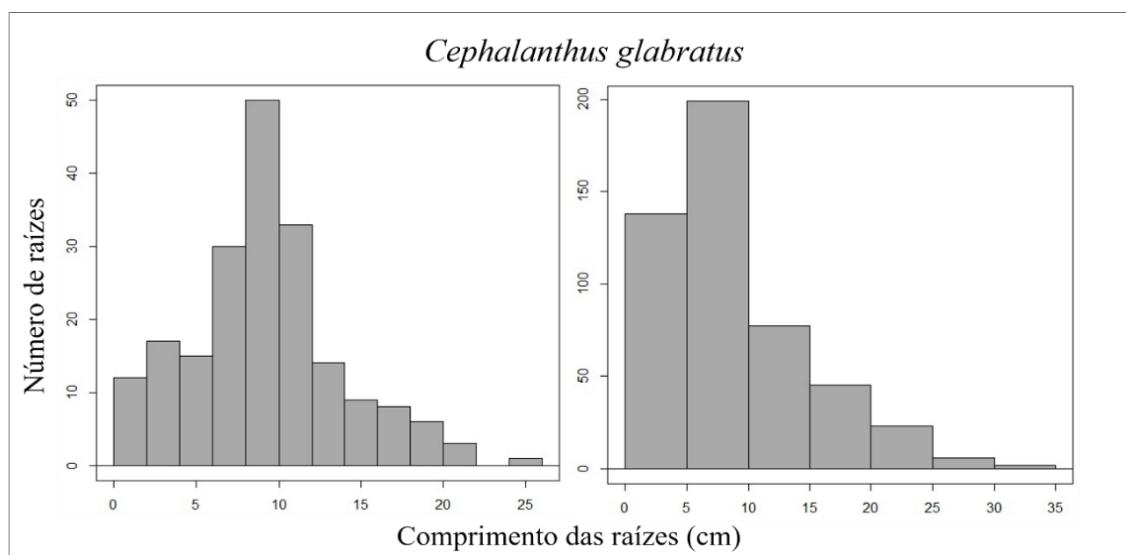
A maioria das raízes de *A. cathartica* apresentaram comprimento nas duas épocas do ano entre 0,6 e 10 cm, representando cerca de 80% das raízes. No outono/inverno cerca de 19% ultrapassaram os 10 cm e apenas 1% os 15 cm. No final do inverno/primavera aproximadamente 4% das raízes apresentaram comprimento superior a 15 cm. Em nenhum dos períodos o comprimento das raízes ultrapassou os 20 cm (Figura 20).

Figura 20 – Distribuição de frequência absoluta do comprimento de raízes (cm) de *Allamanda cathartica* nas duas épocas do ano (outono/inverno e final do inverno/primavera) após 90 dias de plantio.



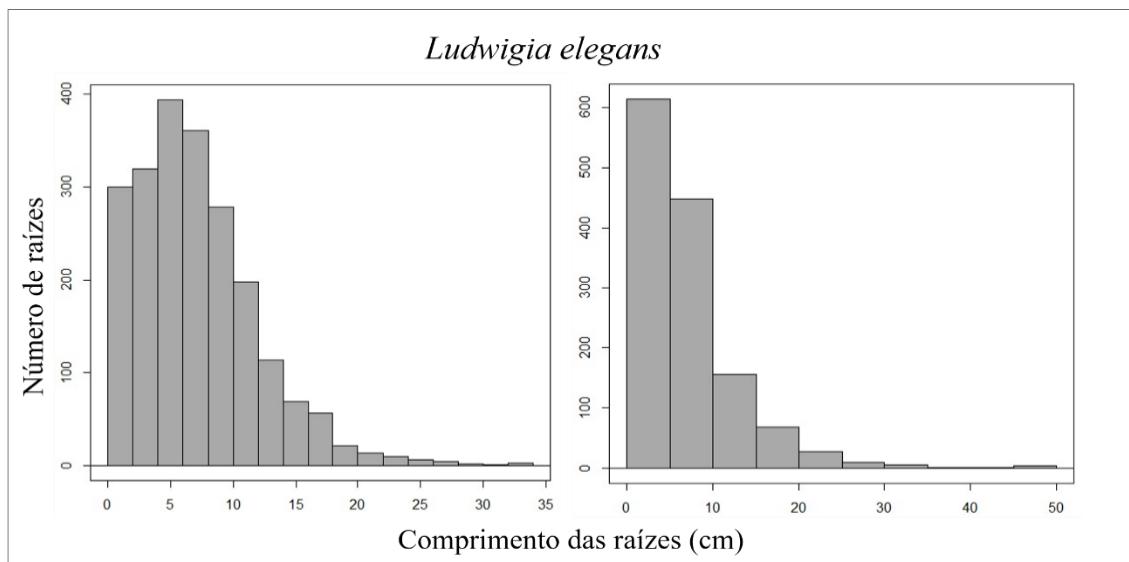
*C. glabratus* apresentou raízes mais longas no período do final do inverno/primavera, as quais chegaram aos 35 cm, no período anterior as raízes mais longas chegaram apenas aos 25 cm, como pode ser verificado na Figura 21. Nos dois períodos de avaliação a maioria das raízes apresentaram comprimento entre 5 e 10 cm, correspondendo a cerca de 45% e 40% do total de raízes, no primeiro e segundo período, respectivamente. No outono/inverno apenas 2% das raízes ultrapassaram os 20 cm de comprimento, enquanto que no final do inverno/primavera cerca de 6,3% das raízes ultrapassaram esse comprimento.

Figura 21 – Distribuição de frequência absoluta do comprimento de raízes (cm) de *Cephalanthus glabratus* nas duas épocas do ano (outono/inverno e final do inverno/primavera) após 90 dias de plantio.



A distribuição do comprimento das raízes de *L. elegans* foi semelhante nos dois períodos de avaliação (Figura 22), apresentando aproximadamente 78% das raízes com comprimento variando entre 0,4 e 10 cm; 21% do total das raízes entre 10 e 30 cm; e apenas 1% das raízes apresentaram comprimento entre 30 e 50 cm.

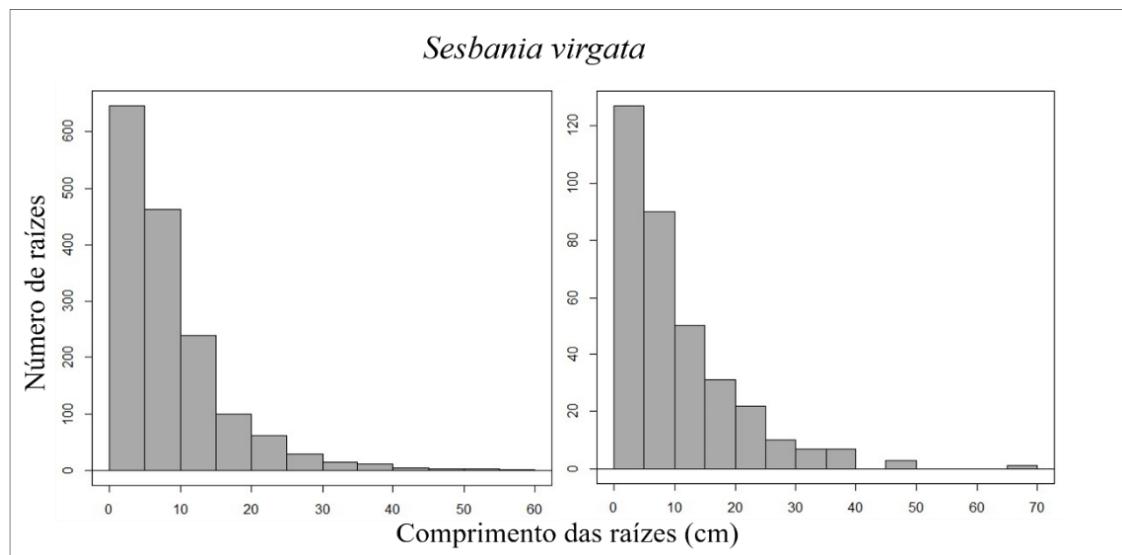
Figura 22 – Distribuição de frequência absoluta do comprimento de raízes (cm) de *Ludwigia elegans* nas duas épocas do ano (outono/inverno e final do inverno/primavera) após 90 dias de plantio.



Comparando com as demais espécies *S. virgata* foi a que apresentou raízes mais longas nos dois períodos de avaliação, ultrapassando os 50 cm no primeiro período e os 60 cm no segundo período, como pode ser observado na Figura 23. No período do outono/inverno, cerca de 70% do total de raízes apresentou comprimento entre 0,5 e 10 cm; 27% das raízes entre 10 e 30 cm de comprimento; 2,3% das raízes com comprimento entre 30 e 50 cm e somente 0,7% ultrapassaram os 50 cm de comprimento.

Já no período do final do inverno/primavera, aproximadamente 62% das raízes apresentaram comprimento entre 0,5 e 10 cm; 32% do total das raízes entre 10 e 30 cm; 5% das raízes ficaram entre 30 e 50 cm e 1% ultrapassaram os 60 cm de comprimento.

Figura 23 – Distribuição de frequência absoluta do comprimento de raízes (cm) de *Sesbania virgata* nas duas épocas do ano (outono/inverno e final do inverno/primavera) após 90 dias de plantio.



A fim de melhor ilustrar os resultados obtidos para os parâmetros da parte aérea e sistema radical das espécies estudadas, bem como as diferenças destes entre as épocas do ano avaliadas são apresentadas nas Figuras 24, 25 e 26, as estacas enraizadas que apresentaram os valores médios de cada uma das espécies nos dois períodos.

Figura 24 – Aspecto geral das estacas das espécies *Allamanda cathartica*, *Cephalanthus glabratus* e *Escallonia bifida* nas duas épocas do ano (outono/inverno e final do inverno/primavera), após 90 dias de plantio.



A e B – *Allamanda cathartica*; C e D – *Cephalanthus glabratus*; E e F – *Escallonia bifida* (apenas para a época do final do inverno/primavera). Fonte: Paula Kettenhuber.

Figura 25 – Aspecto geral das estacas das espécies *Ludwigia elegans*, *Sambucus australis* e *Sesbania virgata* nas duas épocas do ano (outono/inverno e final do inverno/primavera), após 90 dias de plantio.



A e B – *Ludwigia elegans*; C e D – *Sambucus australis*; E e F – *Sesbania virgata*. Fonte: Paula Kettenhuber.

Figura 26 – Aspecto geral das estacas da espécie *Terminalia australis* nas duas épocas do ano (outono/inverno e final do inverno/primavera), após 90 dias de plantio.



Fonte: Paula Kettenhuber.



## 6.2 ANATOMIA DA MADEIRA

### 6.2.1 Avaliação de barreiras anatômicas ao enraizamento

Analizando as seções transversais das bases das estacas (caule) das espécies estudadas (Figura 27 e Figura 28), pode-se observar uma camada de esclerênquima no córtex de *S. virgata*. Em *S. australis*, as fibras esclerenquimáticas tendem a formar pequenos agrupamentos, ao passo que em *C. glabratus* estas fibras dispõem-se isoladamente e de maneira difusa.

*A. cathartica*, *E. bifida*, *L. elegans* e *T. australis* não apresentaram nenhuma barreira anatômica ao enraizamento, não sendo esta a causa do baixo percentual de enraizamento de *T. australis* no período do outono/inverno, *A. cathartica* e *E. bifida* no período do final do inverno/primavera, com 5%, 13,3% e 37%, respectivamente.

Esses resultados estão de acordo com os obtidos por Ferriani et al. (2008), na estaquia de *Piptocarpha angustifolia* (Asteraceae), a qual não apresentou enraizamento algum e que também não apresentou barreira anatômica. Bortolini et al. (2008) não detectaram barreiras que poderiam dificultar a emissão de primórdios radiculares em *Tibouchina sellowiana* e os resultados obtidos se correlacionaram mais à época do ano em que foi realizada a estaquia da espécie e a condição fisiológica da planta matriz.

Em *Cephalanthus glabratus* foram observados apenas esclereídeos isolados no tecido cortical, não constituindo um impedimento para a emergência de raízes nesta espécie que apresentou porcentagens de até 87% de enraizamento. Bitencourt (2006), verificou resultado semelhante em *Ginkgo biloba*, no qual foram visualizados esclereídeos isolados uns dos outros, não apresentando impedimento para a emergência de raízes.

Nas seções transversais de *S. australis* foram identificados agrupamentos de células esclerenquimáticas descontínuos intercalados com parênquima cortical (Figura 28A e B), não formando um anel completo. Tais agrupamentos de células esclerenquimáticas podem ter influenciado de maneira negativa a emergência de raízes nesta espécie, uma vez que suas taxas de enraizamento foram baixas.

Ono e Rodrigues (1996), ressaltaram que o grau de continuidade da camada esclerenquimática é inversamente proporcional à capacidade de enraizamento das

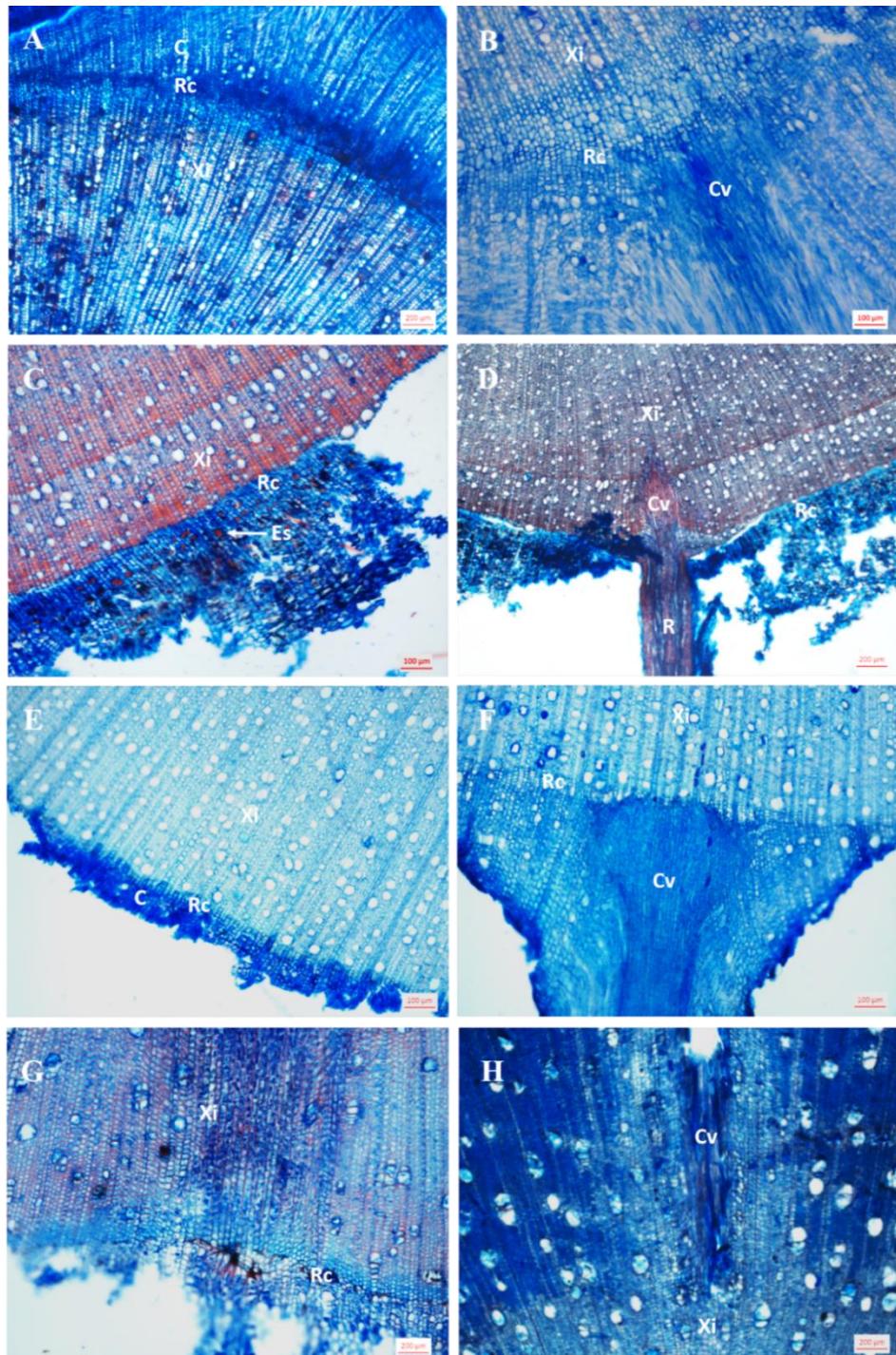
estacas. Para Beakbane (1961), a presença de tecidos esclerenquimáticos influencia a capacidade de formação de raízes em estacas de plantas frutíferas, uma vez que plantas de difícil enraizamento frequentemente apresentam alto grau de esclerificação. Santos (2009) cita que o tecido esclerenquimático pode afetar também as espécies em que esta não é continua, pois, o mesmo encontra-se em um maior número de células, provavelmente causando efeito sobre a rizogênese.

Entretanto, Wandekoken (2015), verificou enraizamento satisfatório em estacas de *Cestrum laevigatum* e *Senna alata* (Fabaceae) mesmo havendo um anel descontínuo de fibras e esclereídeos se alternando entre as células do córtex. Para Amissah et al. (2008) e Davies (1984), algumas espécies apesar de possuírem um anel de fibras esclerenquimáticas apresentam um enraizamento eficiente, o que pode indicar que a capacidade de enraizamento de estacas está mais associada às condições fisiológicas e ao balanço hormonal da espécie do que à restrição mecânica da barreira de fibras.

Ao que tudo indica, a influência de barreiras anatômicas ao enraizamento varia de uma espécie para outra e, portanto, não é possível afirmar que esta possa ser a única causa das baixas taxas de enraizamento de *S. australis*, que não ultrapassaram 25%, podendo este fato estar associado as baixas concentrações de auxinas nas estacas, ausência de cofatores ou presença de inibidores do enraizamento.

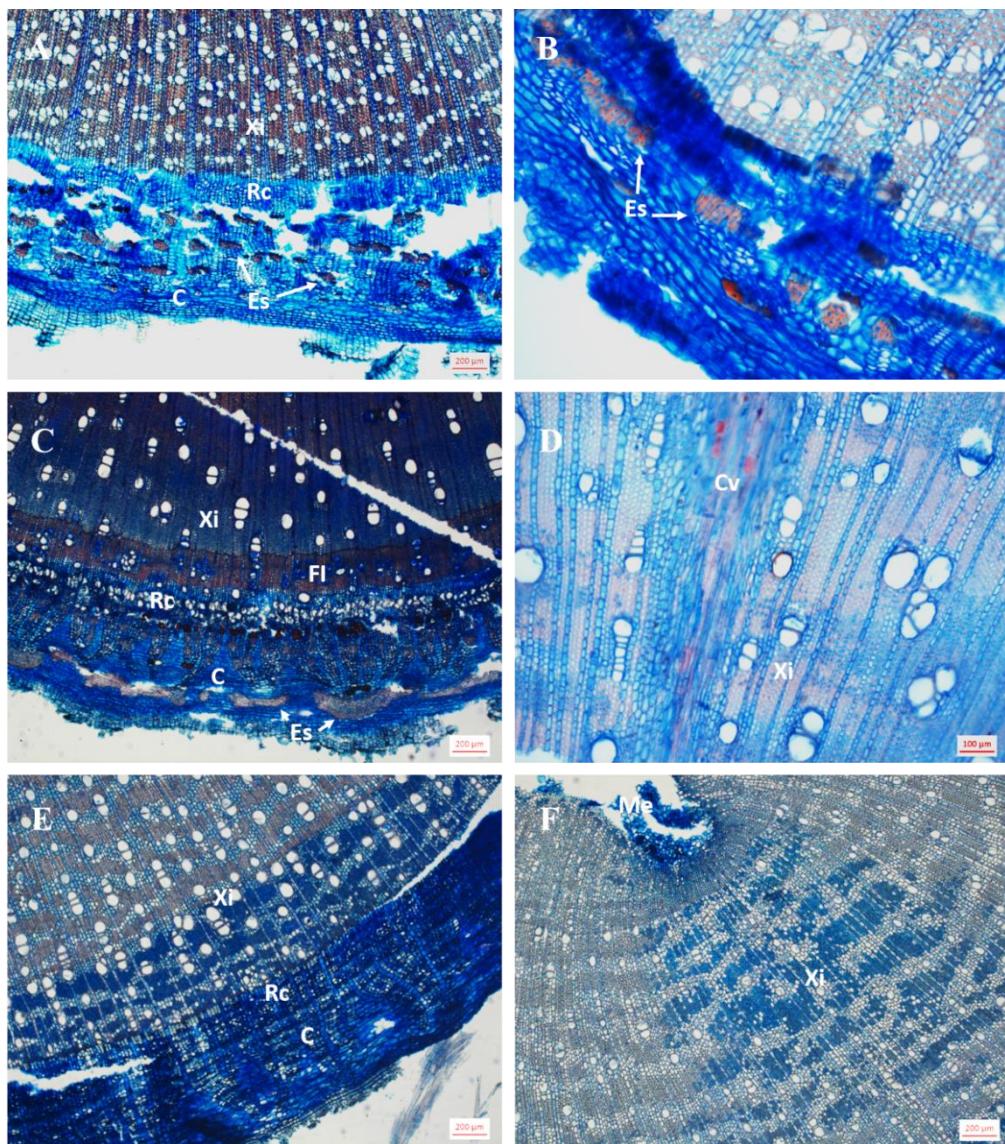
*S. virgata*, ao contrário das demais espécies, possui uma camada contínua de fibras de paredes espessas e lignificadas pertencentes ao xilema secundário. E um estrato mais externo, na região do córtex, formado por fibras esclerenquimáticas dispostas em faixas concêntricas constituindo um anel praticamente contínuo (Figura 28C). Todavia, a presença dessas barreiras anatômicas lignificadas aparentemente não influenciaram negativamente a formação de raízes adventícias nesta espécie (Figura 28D), as quais emergiram em direção a base da estaca, como pode ser observado na Figura 29, sendo que no presente estudo a porcentagem de enraizamento verificada nesta espécie foi de até 92%.

Figura 27 – Seções transversais da base das estacas das espécies *Allamanda cathartica*, *Cephalanthus glabratus*, *Escallonia bifida* e *Ludwigia elegans*.



A, E e G – Vista geral evidenciando a ausência de barreiras anatômicas ao enraizamento de *A. cathartica*, *E. bifida* e *L. elegans*. C – Vista geral evidenciando a presença de esclereídeos isolados na região do córtex de *C. glabratus*. B, D, F e H – Vista geral evidenciando a região de conexão de uma raiz adventícia com o caule de *A. cathartica*, *C. glabratus*, *E. bifida* e *L. elegans*, respectivamente. Visualizar o xilema secundário (Xi), região cambial (Rc), córtex (C), conexão vascular da raiz adventícia (Cv), fibras esclerenquimáticas (Es) e a raiz (R). Fonte: Paula Kettenhuber.

Figura 28 – Seções transversais da base das estacas das espécies *Sambucus australis*, *Sesbania virgata* e *Terminalia australis*.



A – Vista geral evidenciando a presença de agrupamentos descontínuos de esclereídeos na região cortical de *S. australis*. B – Mesmo aspecto, em maior aumento. C – Vista geral evidenciando a presença de camada contínua de fibras de paredes espessas e lignificadas no xilema secundário e de estrato mais externo, na região do córtex, formado por fibras esclerenquimáticas dispostas em faixas concêntricas constituindo um anel contínuo em *S. virgata*. D – Vista geral evidenciando a região de conexão de uma raiz adventícia com o caule em *S. virgata*. E – Vista geral evidenciando a ausência de barreiras anatômicas ao enraizamento em *T. australis*. F - Vista geral do lenho de *T. australis*, a qual não foi possível visualizar a formação desta. Visualizar o xilema (Xi), região cambial (Rc), córtex (C), conexão vascular da raiz adventícia (Cv), fibras esclerenquimáticas (Es) e a medula (Me). Fonte: Paula Kettenhuber.

Figura 29 – Estaca enraizada de *Sesbania virgata*, destaque para o local de emergência das raízes adventícias, na direção da base da estaca.



Fonte: Paula Kettenhuber.

Esse comportamento corrobora com Hartmann et al. (2002), que destacaram que as barreiras anatômicas não são o único impedimento para o enraizamento de estacas lenhosas, uma vez que em algumas plantas em que o anel de esclerênquima é impenetrável e pode bloquear a emergência da raiz, o crescimento da raiz adventícia pode ocorrer em direção a base da estaca, local da emergência da raiz, desviando-se da barreira física formada pelas fibras.

## 6.2.2 Descrição preliminar da anatomia do lenho

### 6.2.2.1 *Allamanda cathartica*

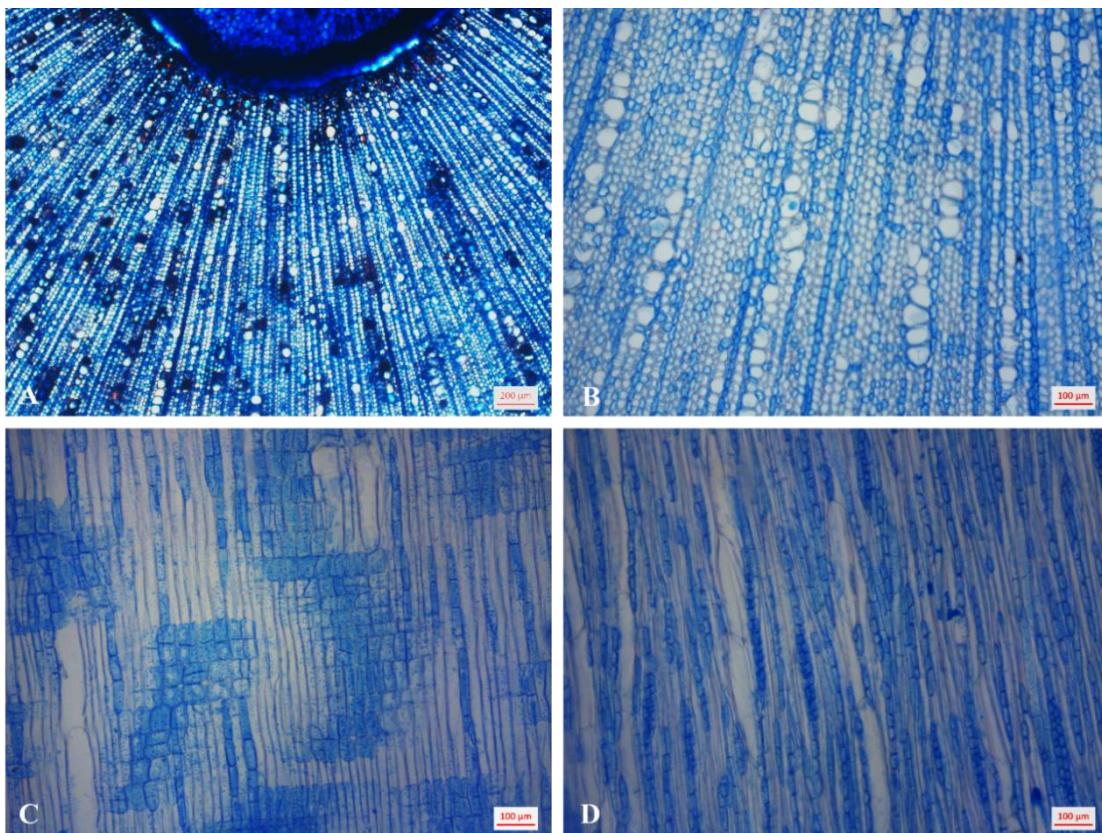
Vasos: compõe cerca de 9% do tecido lenhoso, em distribuição difusa, dispostos em múltiplos radiais de 2 – 4 e poucos solitários (Figura 30A e B). Elementos vasculares com placas de perfuração simples (Figura 30C).

Parênquima axial: do tipo seriado (Figura 30C e D), compondo 2% do tecido lenhoso, e apotraqueal, tendendo a formar pequenos agrupamentos de 2 a 3 células quando observado em plano longitudinal radial (Figura 30B).

Raios: compõe cerca de 31%, do tipo heterogêneo composto por células quadradas, eretas e procumbentes (Figura 30C). Raios unisseriados e bisseriados com 3 – 15 células de altura (Figura 30D).

Fibras: correspondem a 58% do tecido lenhoso (Figura 30C), com paredes muito estreitas (Figura 30B). Fibras gelatinosas ausentes.

Figura 30 – Detalhes anatômicos da madeira de *Allamanda cathartica*.



A – Porosidade difusa, poros em múltiplos radiais e solitários, em plano transversal. B – Mesmos aspectos, em maior aumento, com destaque para as fibras de parede muito estreita. C – Raio heterogêneo e placa de perfuração simples, em plano longitudinal radial. D – Raios unisseriados e bisseriados, em plano longitudinal tangencial. Fonte: Paula Kettenhuber.

#### 6.2.2.2 *Cephalanthus glabratus*

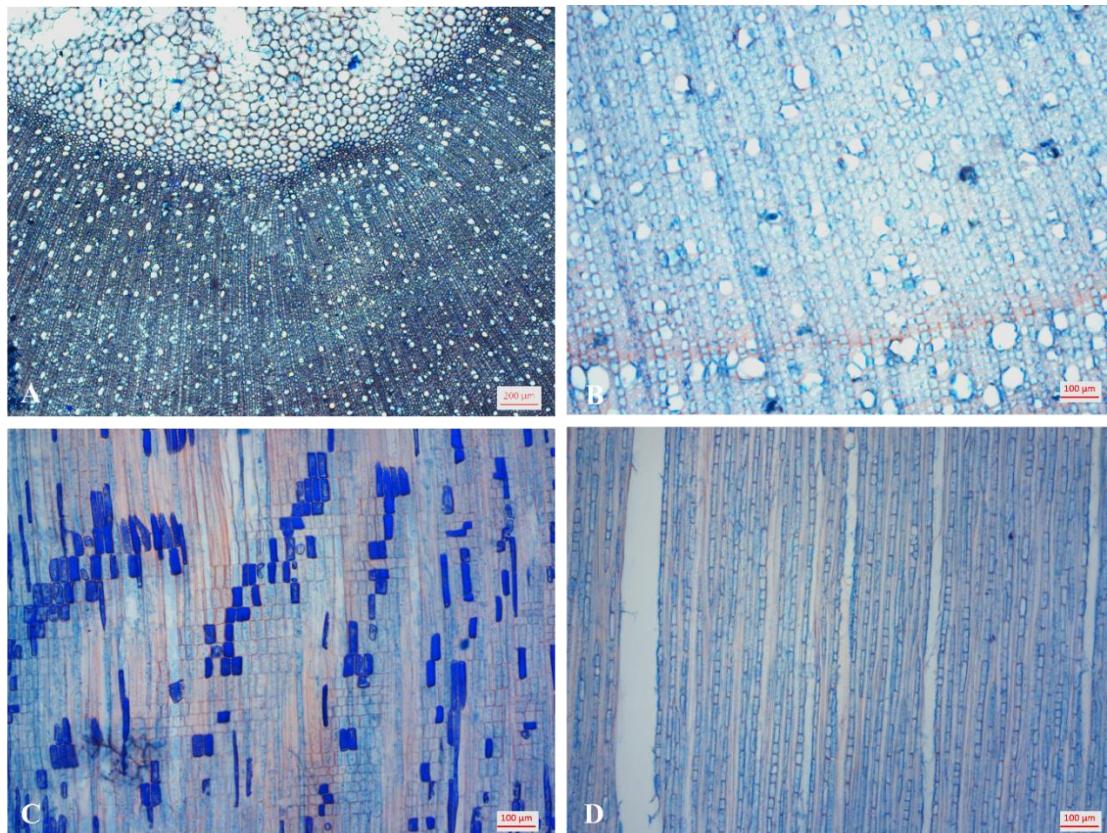
Vasos: compõe cerca de 19% do tecido lenhoso, em distribuição semi-difusa, solitários e em múltiplos radiais de 2 – 3 (Figura 31A e B). Elementos vasculares providos de placas de perfuração simples.

Parênquima axial: Em arranjo apotraqueal, representando cerca de 4% do volume da madeira, do tipo seriado.

Raios: compõe cerca de 27% do lenho, do tipo heterogêneo composto por células quadradas, eretas e procumbentes (Figura 31C). Raios predominantemente unisseriados e poucos bisseriados com 20 – 30 células de altura (Figura 31D).

Fibras: correspondem a 50% do tecido lenhoso, com paredes estreitas a espessas. Fibras gelatinosas ausentes (Figura 31B).

Figura 31 – Detalhes anatômicos da madeira de *Cephalanthus glabratus*.



A – Porosidade semi-difusa, poros solitários e em múltiplos radiais, em plano transversal. B – Mesmos aspectos, em maior aumento, com destaque para as fibras de parede estreitas a espessas. C – Raio heterogêneo, em plano longitudinal radial. D – Raios predominantemente unisseriados, em plano longitudinal tangencial. Fonte: Paula Kettenhuber.

#### 6.2.2.3 *Escallonia bifida*

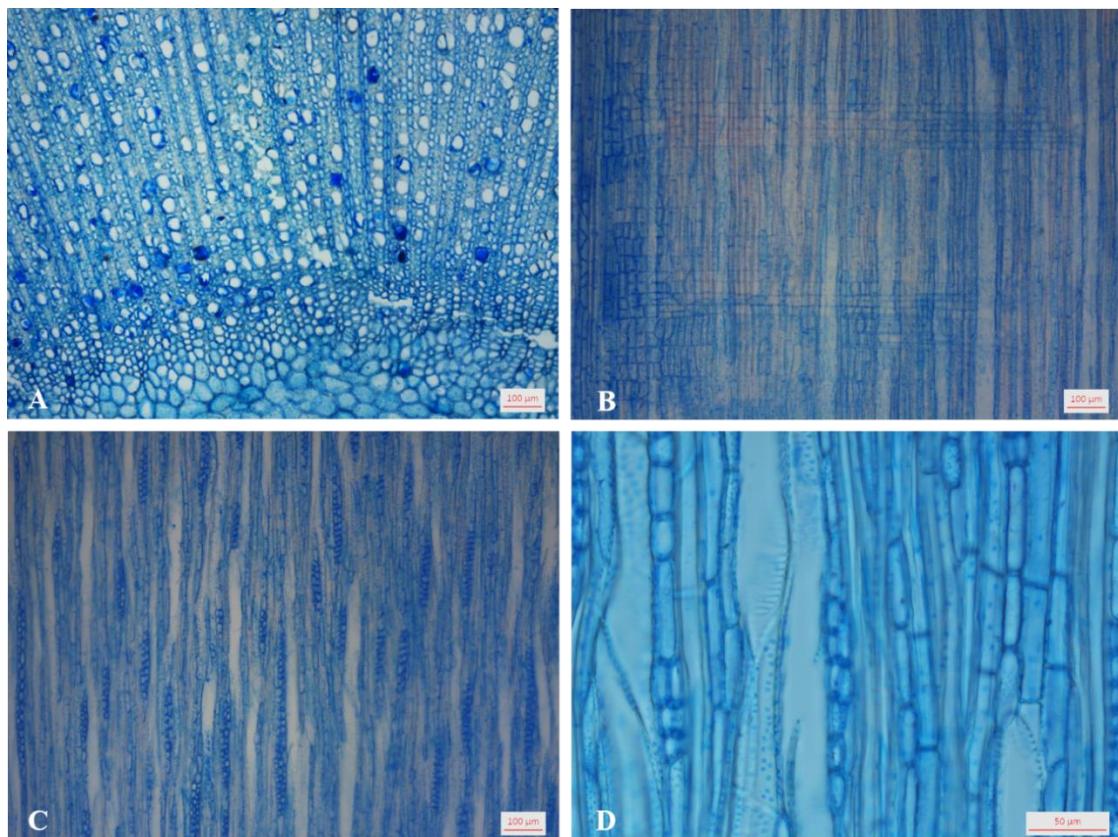
Vasos: compõe cerca de 17% do tecido lenhoso, em distribuição difusa, predominantemente solitários e em múltiplos radiais de 2 – 3 (Figura 32A). Elementos vasculares providos de placas de perfuração do tipo escalariforme (Figura 32D).

Parênquima axial: Em arranjo apotraqueal, representando cerca de 5% do volume da madeira, do tipo seriado.

Raios: compõe cerca de 16%, do tipo heterogêneo composto por células procumbentes, quadradas e eretas (Figura 32B). Raios predominantemente trisseriados e bisseriados com 3 – 20 células de altura (Figura 32C).

Fibras: correspondem a 62% do tecido lenhoso, com paredes estreitas a espessas (Figura 32A). Fibras gelatinosas ausentes.

Figura 32 – Detalhes anatômicos da madeira de *Escallonia bifida*.



A – Porosidade difusa, poros predominantemente solitários e em múltiplos radiais, em plano transversal. B - Raio heterogêneo, em plano radial. C – Raios predominantemente bisseriados e poucos trisseriados, em plano longitudinal tangencial. D – Placa de perfuração escalariforme, em plano longitudinal tangencial. Fonte: Paula Kettenhuber.

#### 6.2.2.4 *Ludwigia elegans*

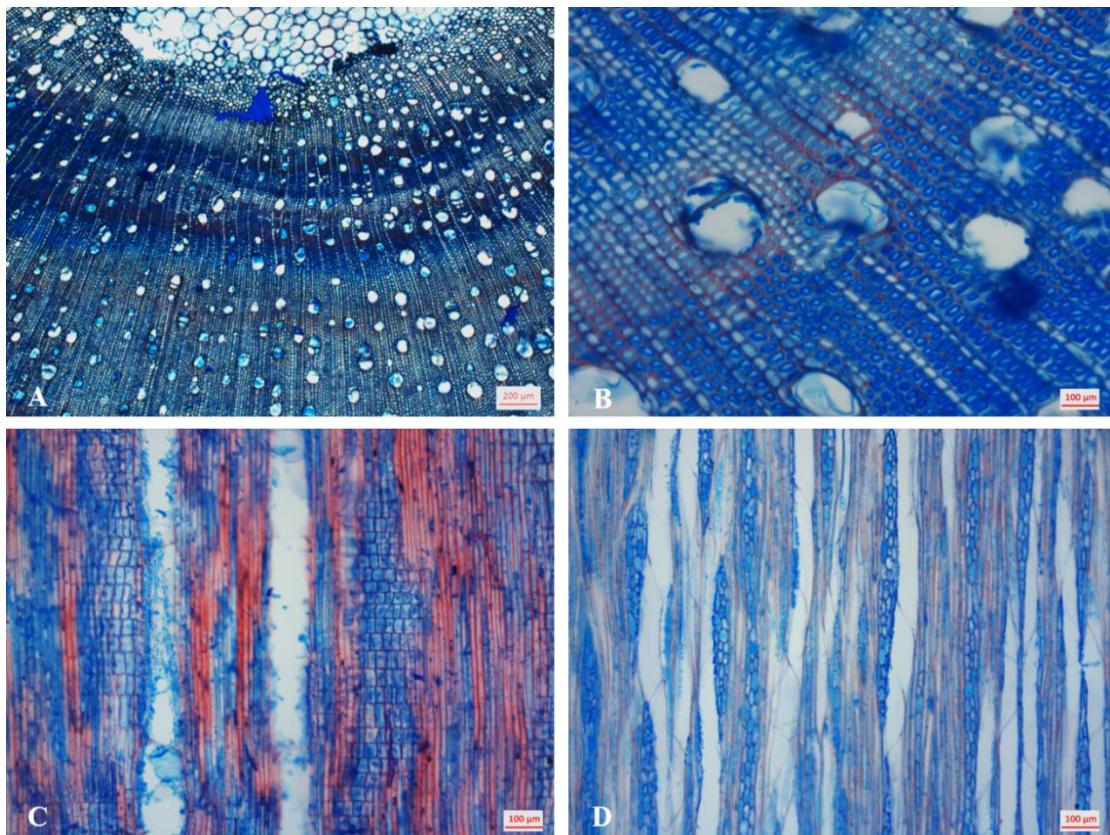
Vasos: compõe cerca de 19% do tecido lenhoso, em distribuição difusa não uniforme, predominantemente solitários e múltiplos radiais de 2 – 4 (Figura 33A e B). Elementos vasculares com placas de perfuração simples.

Parênquima axial: Em arranjo paratraqueal, representando cerca de 2% do volume da madeira, do tipo seriado.

Raios: compõe cerca de 8%, do tipo heterogêneo composto por células eretas e quadradas (Figura 33C). Raios multisseriados (bisseriados e trisseriados) e poucos unisseriados com 5 – 30 células de altura (Figura 33D). Raios fusionados presentes.

Fibras: correspondem a 71% do tecido lenhoso, com presença de fibras septadas e não septadas de paredes estreitas a espessas. Fibras gelatinosas muito abundantes formando faixas que se alternam com faixas de fibras não septadas (Figura 33B).

Figura 33 – Detalhes anatômicos da madeira de *Ludwigia elegans*.



A – Porosidade difusa não uniforme, poros predominantemente solitários e em múltiplos radiais, em plano transversal. B – Mesmos aspectos, em maior aumento, com destaque para as fibras de paredes estreitas a espessas e a abundante presença de fibras gelatinosas. C – Raio heterogêneo e presença de fibras septadas, em plano longitudinal radial. D – Raios predominantemente multisseriados, em plano longitudinal tangencial. Fonte: Paula Kettenhuber.

#### 6.2.2.5 *Sambucus australis*

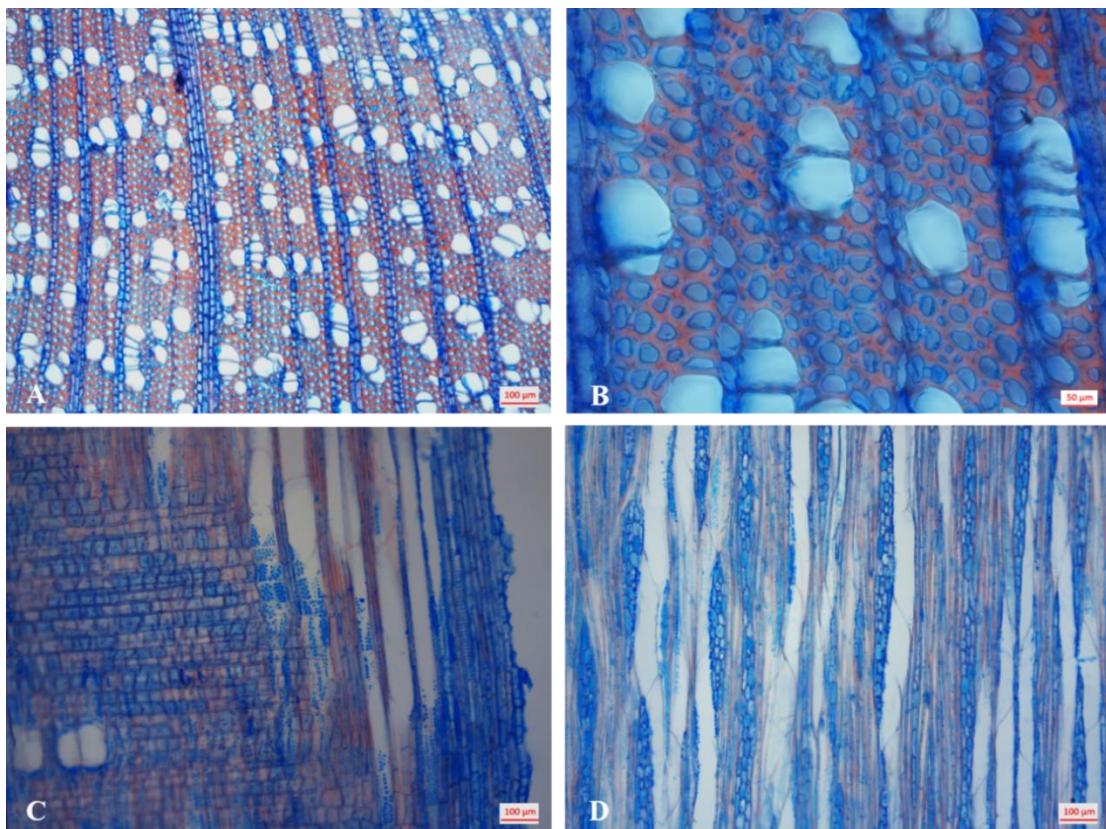
Vasos: compõe cerca de 22% do tecido lenhoso, em distribuição difusa, dispostos em múltiplos radiais de 2 – 6 e solitários (Figura 34A, B). Elementos vasculares providos de placas de perfuração simples.

Parênquima axial: Em arranjo apotraqueal, representando cerca de 2% do volume da madeira, do tipo seriado.

Raios: compõe cerca de 19%, do tipo heterogêneo composto por células procumbentes, quadradas e eretas (Figura 34C). Raios predominantemente trisseriados e bisseriados com 10 – 30 células de altura (Figura 34D).

Fibras: correspondem a 57% do tecido lenhoso, fibras septadas, de paredes estreitas a espessas (Figura 34B). Fibras gelatinosas ausentes.

Figura 34 – Detalhes anatômicos da madeira de *Sambucus australis*.



A – Porosidade difusa, poros em arranjos múltiplos radiais e solitários, em plano transversal. B – Mesmos aspectos, em maior aumento, com destaque para as fibras de paredes estreitas a espessas.

C – Raio heterogêneo, em plano longitudinal radial. D – Raios predominantemente multisseriados, em plano longitudinal tangencial. Fonte: Paula Kettenhuber.

#### 6.2.2.6 *Sesbania virgata*

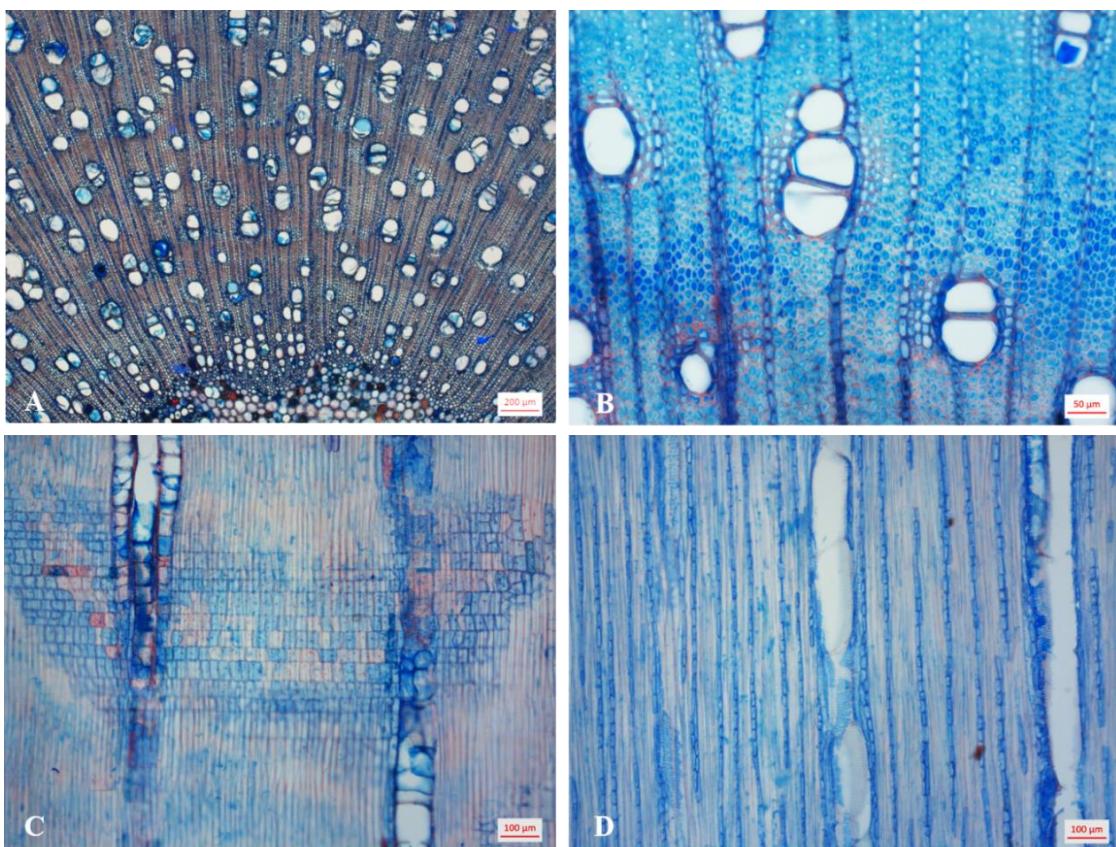
Vasos: compõe cerca de 14% do tecido lenhoso, em distribuição difusa não uniforme, em múltiplos radiais 2 – 4 e solitários (Figura 35A, B). Elementos vasculares com placas de perfuração simples.

Parênquima axial: Em arranjo paratraqueal vasicêntrico ou aliforme, representando cerca de 6% do volume da madeira, do tipo seriado.

Raios: compõe cerca de 26%, do tipo heterogêneo composto por células quadradas, eretas e procumbentes (Figura 35C). Raios predominantemente unisseriados e poucos bisseriados de 12 – 30 células de altura (Figura 35D).

Fibras: correspondem a 54% do tecido lenhoso, com paredes estreitas a espessas. Fibras gelatinosas presentes (Figura 35).

Figura 35 – Detalhes anatômicos da madeira de *Sesbania virgata*.



A – Porosidade difusa não uniforme, poros em arranjos múltiplos radiais e solitários, em plano transversal. B – Mesmos aspectos, em maior aumento, com destaque para as fibras de paredes estreitas a espessas e presença de fibras gelatinosas. C – Raio heterogêneo, em plano longitudinal radial. D – Raios predominantemente unisseriados, em plano longitudinal tangencial. Fonte: Paula Kettenhuber.

#### 6.2.2.7 *Terminalia australis*

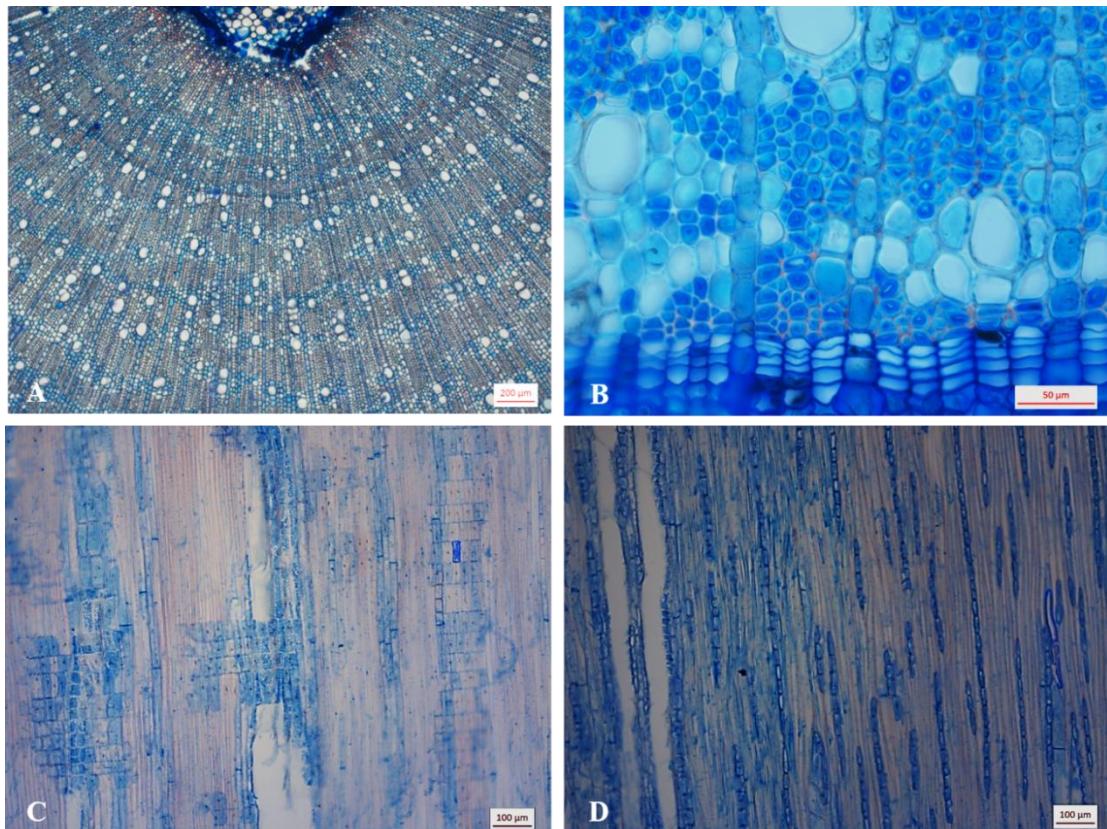
Vasos: compõe cerca de 12% do tecido lenhoso, em distribuição difusa, dispostos em arranjos predominantemente solitários e em múltiplos radiais 2 – 4 (Figura 36A, B). Elementos vasculares com placas de perfuração simples.

Parênquima axial: Em arranjo paratraqueal aliforme confluente de 3 a 5 células de largura, representando cerca de 22% do volume da madeira, do tipo seriado.

Raios: compõe cerca de 23%, do tipo heterogêneo composto por células procumbentes, quadradas e eretas (Figura 36C). Raios exclusivamente unisseriados com 3 – 25 células de altura (Figura 36D).

Fibras: correspondem a 43% do tecido lenhoso, de paredes estreitas a espessas, com presença de fibras septadas e não-septadas. Fibras gelatinosas abundantes (Figura 36B).

Figura 36 – Detalhes anatômicos da madeira de *Terminalia australis*.



A – Porosidade difusa, poros predominantemente solitários e em múltiplos radiais, em plano transversal. B – Mesmos aspectos, em maior aumento, com destaque para as fibras de paredes estreitas a espessas e abundante presença de fibras gelatinosas. C – Raio heterogêneo e presença de fibras septadas e não-septadas, em plano longitudinal radial. D – Raios exclusivamente unisseriados, em plano longitudinal tangencial. Fonte: Paula Kettenhuber.

### **6.2.3 Análise da estrutura anatômica sob o enfoque da flexibilidade do caule**

Tendo-se em vista a promissora utilização de *Allamanda cathartica*, *Cephalanthus glabratus*, *Escallonia bifida*, *Ludwigia elegans*, *Sambucus australis*, *Sesbania virgata* e *Terminalia australis* em futuras obras de Engenharia Natural, buscou-se investigar, ainda que prematuramente, a resistência e a flexibilidade de seus caules. A análise da estrutura anatômica da madeira, neste caso, permite antever, pelo menos em parte, o comportamento dos caules a respeito desta importante propriedade mecânica.

As espécies investigadas divergem com relação a fração dos tecidos que constituem o seu lenho (Figura 37). Observando-se conjuntamente as referidas espécies, vê-se que o percentual médio de vasos variou de 9 – 22%; parênquima axial (2 – 22%); raios (8 – 31%) e fibras (43 – 71%).

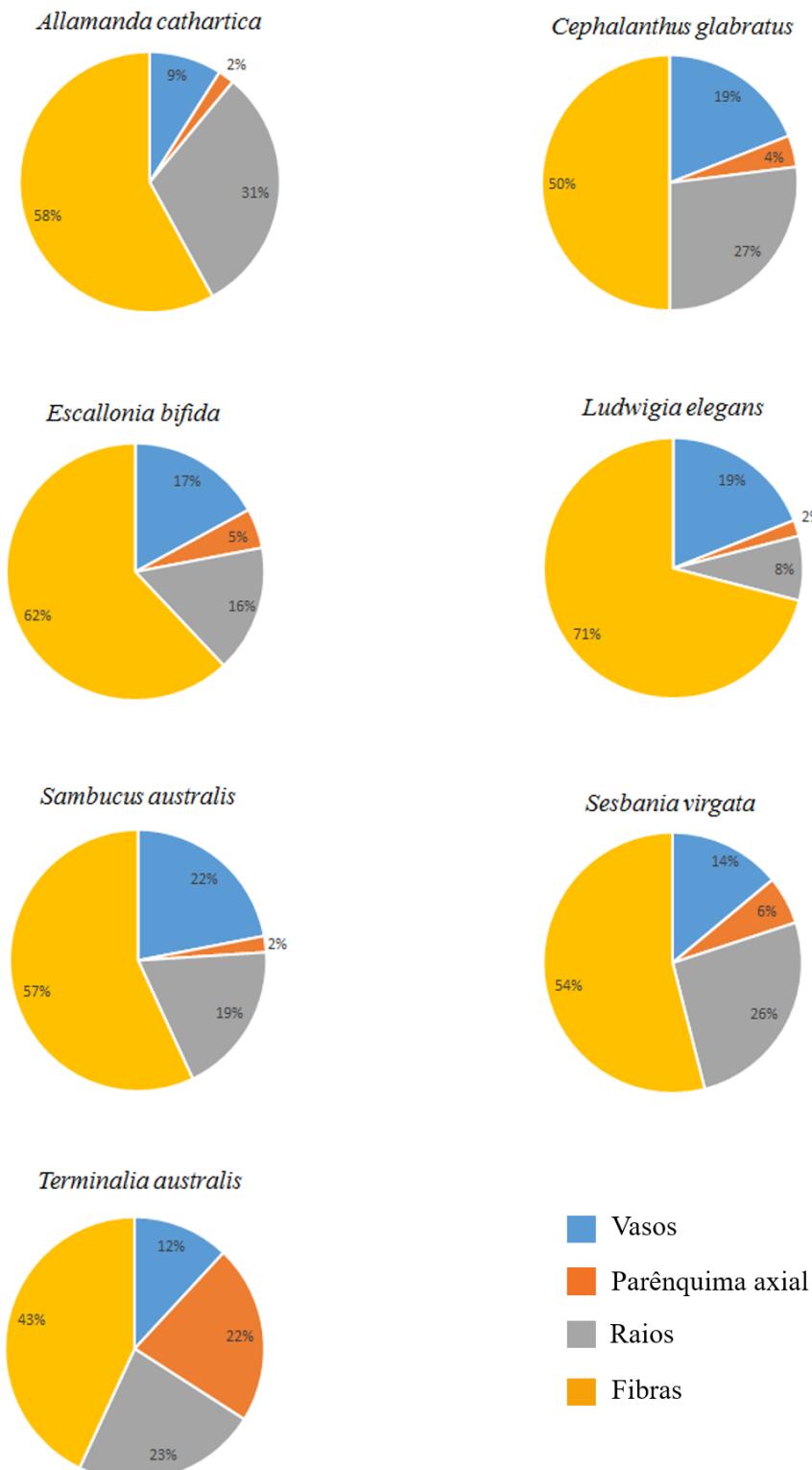
O percentual médio de vasos foi de 9%, em *A. cathartica*, 19% em *C. glabratus* e *L. elegans* a 22% em *S. australis*. *T. australis*, *S. virgata* e *E. bifida* apresentaram volumes percentuais de vasos intermediários, correspondendo a 12%, 14% e 17%, respectivamente.

A fração de parênquima radial apresenta valores médios de 8%, em *L. elegans*, e 16% em *E. bifida*. Para as demais espécies os valores percentuais foram mais elevados com 19%, 23%, 26%, 27% e 31%, em *S. australis*, *T. australis*, *S. virgata*, *C. glabratus* e *A. cathartica*, respectivamente.

Para *T. australis* verificou-se percentual mais elevado de parênquima axial, representando cerca de 22% do lenho, ao contrário das demais espécies, onde o parênquima axial é escasso, com valores médios de 2% a 6%.

Analizando o percentual de parênquima total (radial + axial), as espécies que apresentaram maiores valores médios foram *T. australis* (45%), seguida de *A. cathartica* (33%), *S. virgata* (32%) e *C. glabratus* (31%). Em *E. bifida* e *S. australis* contatou-se que o tecido parenquimático corresponde a cerca de 21% e em *L. elegans* a apenas 10%.

Figura 37 – Volume percentual médio dos diferentes tecidos nas sete espécies presentemente investigadas.



É importante ressaltar, que as fibras, conforme Burger e Richter (1991) e Eames e MacDaniels (1953), são os elementos mais importantes no que diz respeito à resistência da madeira de Angiospermas Eudicotiledôneas. Com relação a esse caráter, as principais diferenças encontradas entre as espécies ficaram por conta do percentual geral de fibras, da espessura da parede e da presença de fibras gelatinosas e septadas.

Entre as diferentes espécies o volume percentual de fibras variou de aproximadamente 43 a 71%, sendo o tipo celular predominante na estrutura anatômica de todas as espécies estudadas. A espécie que apresentou maior percentual médio de fibras no lenho foi *L. elegans* (71%) e o menor percentual foi observado em *T. australis* (43%). As demais espécies apresentaram valores percentuais médios entre 50% e 62%.

Embora avaliada de forma relativa, conforme recomendações do IAWA Committee (1989), a espessura da parede das fibras mostrou-se estreita a espessa em *C. glabratu*s, *E. bifida*, *S. australis*, *L. elegans*, *S. virgata* e *T. australis* e, ao contrário, muito estreita em *A. cathartica*.

Quanto a presença de fibras gelatinosas no lenho, estas foram observadas em *S. virgata*, *T. australis* e *L. elegans*, sendo muito abundantes nas duas últimas. Assim pode-se considerar que tais espécies têm predisposição a formação de fibras gelatinosas, quando submetidas constantemente a determinados esforços mecânicos (força da correnteza, ventos, entre outros).

Para Denardi (2007) a presença abundante de fibras gelatinosas é seguramente a principal característica anatômica relacionada à elevada flexibilidade das plantas. Ainda segundo o mesmo autor o efeito da presença das fibras gelatinosas sobre a flexibilidade do caule pode ser comparado, por analogia, ao efeito da presença do ferro em colunas de concreto. O qual é utilizado com a finalidade de conferir flexibilidade (deformabilidade) e ao mesmo tempo resistência ao concreto. Da mesma forma, as fibras gelatinosas conferem flexibilidade e resistência aos caules das plantas, uma vez que a camada G, presente nas fibras gelatinosas, caracteriza-se, segundo Burger e Richter (1991), por elevado conteúdo de celulose, ao passo que a lignina, que é responsável pela rigidez da parede celular e, consequentemente, da madeira como um todo, é praticamente ausente.

Em *T. australis*, *L. elegans* e *S. australis* também foi constatada a presença de fibras septadas, as quais geralmente desempenham papel de parênquima axial, armazenando substâncias nutritivas e apresentam elevado conteúdo de celulose.

Com base nas informações descritas é possível inferir sobre a possível flexibilidade e resistência dos caules das espécies estudadas. *L. elegans* apresenta o maior volume

de fibras em seu lenho, sendo que a grande maioria destas é do tipo gelatinosa e de paredes estreitas a espessas, característica que possivelmente atribuem boa flexibilidade aos seus ramos. Entretanto, esta espécie apresenta raios curtos e largos e grande proporção de medula no lenho, características que tornam seus ramos pouco resistentes.

O lenho de *S. virgata* e *T. australis* caracteriza-se pela presença de fibras gelatinosas, sendo estas de paredes estreitas a espessas, grande volume de tecido parenquimático (raios + parênquima axial), bem como raios altos e estreitos, características que tornam seus caules possivelmente flexíveis.

A espécie *C. glabratus* não apresenta fibras gelatinosas na constituição de seu lenho, o que segundo Siegloch et al. (2011) não implica, necessariamente, em menor flexibilidade do caule. O grande volume de tecido parenquimático, o baixo percentual de fibras e os raios altos e estreitos podem compensar, pelo menos em parte, o efeito da ausência de fibras gelatinosas na flexibilidade da madeira dessa espécie. Conforme Eames & McDaniels (1953), a presença de raios altos e estreitos, também aumentam a flexibilidade do caule.

Nas espécies *A. cathartica*, *E. bifida* e *S. australis* não foram observadas fibras gelatinosas, nem septadas. *E. bifida* e *S. australis*, distinguem-se de *A. cathartica* pelas paredes das fibras mais espessas, raios curtos e mais largos e menor percentual de tecido parenquimático, que é bastante significativo em *A. cathartica*. Segundo Putz e Holdbrook (1991 apud ARAÚJO, 2005) e Appezzato-da-Glória e Carmello-Guerreiro (2003) a presença de elevado percentual de tecido parenquimático, também é responsável pela flexibilidade de caules. Porém, a presença de fibras de paredes muito estreitas nos ramos de *A. cathartica* possivelmente os torna pouco resistentes.

### 6.3 CARACTERÍSTICAS MORFO-MECÂNICAS

A partir das informações obtidas no presente estudo, observações a campo e na literatura botânica foi possível elaborar um quadro-resumo com as características morfo-mecânicas das espécies estudadas, bem como suas recomendações de uso (Quadro 2).

Quadro 2 – Características morfo-mecânicas, formas de propagação e recomendações de uso das espécies estudadas.

Espécie	<i>Allamanda cathartica</i>	<i>Cephaelanthus glaberratus</i>	<i>Escallonia bifida</i>
Hábito/Altura	Arbusto lenhoso a trepadeira com 2 - 5 m de altura.	Arbusto ou arvoreta de 3 - 5 m de altura.	Arbusto de 2 - 3 m de altura.
Características da parte aérea	Especie perenifolia, com numerosas ramificações e copa densa.	Especie caducifólia ou folhagem semipersistente, apresenta copa ramificada e com ramos flexíveis, porém pouco densa.	Copa muito ramificada, densa e de folhagem persistente.
Características do sistema radicial	Sistema radicial denso e lateral, com maior quantidade de raízes finas, atingindo profundidade de até 20 cm com 90 dias após o plantio.	Sistema radicial lateral e denso constituído em sua maioria por raízes mais grossas, atingindo profundidade de até 35 cm com 90 dias após o plantio.	Sistema radicial denso, lateral e com maior quantidade de raízes finas.
Propagação vegetativa	Apresenta boa capacidade de propagação vegetativa por estacas, principalmente primavera ou outono.	Apresenta boa capacidade de propagação vegetativa estaquia, sendo esta mais favorável no inverno/primavera.	A espécie apresenta capacidade de propagação vegetativa, porém apresenta baixos percentuais de enraizamento, não imprimindo ritmo de crescimento para as obras de EN. Pode ser utilizada na forma de mudas, uma vez que sua propagação via semental é muito favorável.
Campos de aplicação			Espécie adequada para resolver problemas de erosão superficial. Também pode ser utilizada para resolver problemas de hidráulica nas margens de rios, áreas de várzeas e restingas.
			Espécie adequada para estabilização hidráulica nas margens e leito de cursos de água, preferencialmente em zonas com velocidades de fluxo baixas. Também pode ser utilizada para controlar a erosão superficial, devendo ser utilizadas densidades altas de plantio para garantir a cobertura uniforme do solo.

<i>Ludwigia elegans</i>	<i>Sambucus australis</i>	<i>Sesbania virgata</i>	<i>Terminalia australis</i>
Subarbusto com até 1,8 m de altura. Copa perenifólia e ramificada, porém, pouco densa.	Árvore de 5 - 10 m de altura. Copa perenifólia, ramificada e densa.	Arbusto de 1,5 - 3 m de altura. Copa pouco folhagem semipersistente e de ramos flexíveis.	Árvore de 5 - 10 m de altura. Copa muito ramificada, pouco densa, de folhagem decidual e de ramos flexíveis.
Sistema radicular denso e lateral, com maior quantidade de raízes finas, atingindo profundidade de até 50 cm com 90 dias após o plantio.	Não foi possível determinar.	Sistema radicular denso e lateral, e com maior quantidade de raízes finas, atingindo profundidade de mais de 60 cm com 90 dias após o plantio.	Sistema radicular lateral, pouco denso e constituído em sua maioria por raízes mais grossas.
Apresenta excelente capacidade de propagação vegetativa por meio de estação em qualquer época do ano, com índice de pega superior a 95%.	Apresenta capacidade de propagação vegetativa, porém o seu percentual de enraizamento é baixo, não imprimindo ritmo de crescimento para as obras de EN. Pode ser utilizada na forma de mudas, uma vez que sua propagação via sementes é muito favorável.	A espécie apresenta excelente capacidade de propagação vegetativa por meio de estação em qualquer época do ano, pois emite vigorosas brotações de partes aéreas e do sistema radicular.	Apresenta capacidade de propagação vegetativa, sendo esta mais favorável no final do inverno/primavera, porém seu desenvolvimento inicial é lento.
Espécie adequada para resolver problemas de estabilização hidráulica, nas margens de cursos de água, principalmente em áreas alagadas. Também pode ser utilizada para controlar a erosão superficial, devendo ser utilizadas densidades altas de plantio para garantir a cobertura uniforme do solo.	Espécie adequada para resolver problemas de estabilização hidráulica, nas margens de cursos de água. Também pode ser utilizada para resolver problemas de erosão superficial.	Espécie adequada para resolver problemas de estabilização hidráulica, nas margens de cursos de água. Também pode ser utilizada para controlar a erosão superficial, devendo ser utilizadas densidades altas de plantio para garantir a cobertura uniforme do solo.	Espécie adequada para resolver problemas de estabilização hidráulica, nas margens de cursos de água. Também pode ser utilizada para controlar a erosão superficial, devendo ser utilizadas densidades altas de plantio para garantir a cobertura uniforme do solo.

## 7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com os resultados obtidos na investigação da capacidade de propagação vegetativa e das propriedades biotécnicas das espécies *Allamanda cathartica*, *Cephalanthus glabratus*, *Escallonia bifida*, *Ludwigia elegans*, *Sambucus australis*, *Sesbania virgata* e *Terminalia australis* foi possível ampliar os conhecimentos sobre espécies autóctones para uso em intervenções de Engenharia Natural no Brasil, aumentando assim a lista de espécies aptas para este uso.

Em relação à capacidade de propagação vegetativa pode-se agrupar as espécies em três grupos distintos, aquelas que apresentam boa a excelente capacidade de propagação vegetativa independente da época do ano, como *L. elegans*, *S. virgata* e *A. cathartica*, aquelas que também apresentam boa capacidade de propagação vegetativa, no entanto, esta varia significativamente entre as épocas do ano, como *C. glabratus* e *T. australis* e ainda temos aquelas que apresentam capacidade de propagação vegetativa, porém, difícil enraizamento independente da época do ano, como em *S. australis* e *E. bifida*.

Quanto às espécies *S. australis* e *E. bifida* são necessários estudos complementares para verificar os fatores que afetam a propagação por estauquia destas espécies a fim de se obter melhores taxas de enraizamento.

A respeito da influência de barreiras anatômicas ao enraizamento, esta parece variar entre as espécies e para a maioria das espécies presentemente investigadas não constitui fator determinante para o enraizamento. No entanto, o desenvolvimento e crescimento dos primórdios radiculares em estacas de espécies que não possuam barreiras anatômicas possivelmente é facilitado. Os resultados obtidos neste estudo revelam que se analisada de maneira isolada a presença ou ausência de tecidos esclerenquimáticos não constitui um bom parâmetro para explicar o enraizamento de espécies.

A partir da descrição e análise da estrutura anatômica da madeira das espécies estudadas foi possível inferir sobre a flexibilidade de seus caules, entretanto, para confirmar seguramente tal informação é necessário a realização de testes físico-mecânicos.

Dentre as espécies estudadas é possível afirmar que *L. elegans*, *S. virgata*, *C. glabratus* e *A. cathartica* são capazes de imprimir ritmo de desenvolvimento do

sistema radicial e parte aérea esperado nas obras de Engenharia Natural, ao passo que, a espécie *T. australis* apresenta um desenvolvimento inicial mais lento, devendo ser utilizada em conjunto com espécies de rápido crescimento.

As espécies *E. bifida* e *S. australis* não apresentaram desenvolvimento satisfatório para sua utilização na forma de estacas, contudo, apresentam características morfo-mecânicas que as qualificam para utilização em intervenções de Engenharia Natural, podendo estas ser utilizadas na forma de mudas, uma vez que apresentam boas taxas de germinação.

## 8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABATE, I.; GROTTA, M. **Ingegneria Naturalistica - Costruire con le Piante - Linee guida all'impiego delle piante negli interventi di ingegneria naturalistica in ambito mediterraneo.** Benevento: Edizione Lume, 2009, 265p.

AMISSAH, J. N.; PAOLILLO, JR. D. J.; BASSUK, N. **Adventitious Root Formation in Stem Cuttings of *Quercus bicolor* and *Quercus macrocarpa* and its Relationship to Stem Anatomy.** American Society for Horticultural Science, v. 133, n. 4, p. 479–486. 2008.

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.

APPEZZATO-DA-GLÓRIA, B.; CARMELLO-GUERREIRO, S. M. **Anatomia vegetal.** Viçosa: UFV, 2003, 438 p.

ASSOCIAZIONE ITALIANA PER INGEGNERIA NATURALISTICA **Linee guida alla progettazione degli interventi di ingegneria naturalistica nelle Marche.** Itália: AIPIN, 2010, 120 p.

ARAUJO, E.C. et al. **Caracterização morfológica de frutos, sementes e plântulas de *Sesbania virgata* (Cav.) Pers.** Revista Brasileira de Sementes, Londrina, v. 26, n.1, p. 105-110, 2004.

ARAÚJO, G. U. C. **Aspectos anatômicos do desenvolvimento do caule de *Serjania corrugata* Radlk. (Sapindaceae).** 2005. 64 p. Dissertação (Mestrado em Botânica) – Instituto de Pesquisas Jardim Botânico do Rio de Janeiro – Escola Nacional de Botânica Tropical, Rio de Janeiro, 2005.

BÁEZ, D.; PINO, J.A.; MORALES, D. **Scent composition from Flowers of Allamanda cathartica L. From Cuba.** Habana: Journal of Essential Oil Bearing Plants, 2011.

BEAKBANE, A. B. **Structure of the plant stem in relation to adventitious rooting.** Nature, London, v. 192, n. 1, p. 954-955, 1961.

BEGEMANN, W.; SCHIECHTL, H. M. **Ingenieurbiologie – Handbuch zum ökologischen Wasser und Erdbau.** 2. Neubearbeitete Auflage. Wiesbaden und Berlin: Bauverlag GMBH, 1994.

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.

BERTUZZI, T.; GRIGOLLOTO, D.; CANTO-DOROW, T. S.; EISINGER, S. M. **O gênero Ludwigia L. (Onagraceae) no município de Santa Maria, Rio Grande do Sul, Brasil.** Ciência e Natura, UFSM: Santa Maria, v. 33, n. 1, p. 43-73, 2011.

BHARDWAJ, S. D.; CHAKRABORTY, A. K.; JOSHI, N. K. **Vegetative propagation of Terminalia billirica Roxb. And Terminalia chebula Retz. by stem cuttings.** Indian Forester, Dehra Dun, v. 119, n. 5, p.361-365, 1993.

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.

BORGES JUNIOR, N.; MARTINS-CORDER, M. P. **Efeito do ácido indolbutírico no enraizamento de estacas de acácia negra (Acacia mearnsii De Wild.).** Revista Árvore, v. 26, n. 2, p. 223-227, 2002.

BORTOLINI, M.F.; ZUFFELLATO-RIBAS, K.C.; KOEHLER, H.S.; CARPANEZZI A.A.; DESCHAMPS, C.; OLIVEIRA, M.C.; BONA, C.; MAYER, J.L. **Tibouchina sellowiana (Cham.) Cogn.: enraizamento, anatomia e análises bioquímicas nas quatro estações do ano.** Ciência Florestal, Santa Maria, v.18, n.2, p.159-171, 2008.

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

BURGER, L. M.; RICHTER, H. G. **Anatomia da Madeira.** São Paulo: Ed. Nobel, 1991. 154 p.

COOPER, A. J. **Root temperature and plant growth.** Research Review: Commonwealth Bureau of Horticulture and Plantation Crops. East Malling, Maidstone, Kent. CAB, Slough, UK. n. 4, 1973.

COPPIN, N. J.; RICHARDS, I. G. (EDS.). **Use of Vegetation in Civil Engineering.** 2 ed. London, UK: Construction Industry Research and Information Association (CIRIA), 2007. 292 p.

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

CORNELINI, P.; SAULI, G. **Manuale di indirizzo delle scelte progettuali per interventi di ingegneria naturalistica.** 1 ed. Roma: Ministerio dell' ambiente e della tutela del territorio-Progetto Operativo Difesa Suolo, Istituto Poligrafico e Zecca dello Stato S.p.A. - Salario, 2005. 409 p.

CORNELINI, P.; SAULI, G. **Principi, metodi e deontologia dell'ingegneria naturalistica.** Roma, Itália: Regione Lazio, 2012. 203 p.

CORREA, L. D. da R.; FETT-NETO, A. G. **Effects of temperature on adventitious root development in microcuttings of *Eucalyptus saligna* Smith and *Eucalyptus globulus* Labill.** Journal of Thermal Biology, Oxfod, v. 29, n. 6, p. 315-324, 2004.

DAVIES, Jr. F. T. **Shoot RNA, cambial activity and indolebutyric acid effectivity in seasonal rooting of juvenile and mature *Ficus pumila* cuttings.** Physiologia Plantarum: Copenhagen, v. 62, n. 4, p.571-575, 1984.

DE ANTONIS, L.; MOLINARI, V. **Ingenheria Naturalistica - Nozione e Tecniche di Base.** Itália: Società Consortile per Azione, Regione Piemonte, 2007. 115 p.

DELPRETE, P.G.; SMITH, L.B.; KLEIN, R.M. **Rubiáceas.** In: REITZ, P.R. (Org.). Flora Ilustrada Catarinense. Itajaí: Herbário Barbosa Rodrigues, 2004. 22 p.

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.

DICKMANN, D. I.; HENDRICK, R. L. **Modeling adventitious root system development in trees: clonal poplars.** In: DAVIS, T. D.; HAISSIG, B. E. Biology of Adventitious Root Formation. Dallas, Texas: Springer US, 1994, 344 p.

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.

DRUEGE, U.; ZERCHE, S.; KADNER, R.; ERNST, M. **Relation between nitrogen status, carbohydrate, distribution and subsequent rooting of *Chrysanthemum* cuttings as affected by pre-harvest nitrogen supply and cold-storage.** Annals of Botany, v. 85, p. 687-701, 2000.

DURLO, M. A.; BRESSAN, D. A.; SUTILI, F. S. **Biotécnicas no manejo de cursos de água - Rios da América.** Ciência & Ambiente/ Universidade Federal de Santa Maria: Santa Maria, v. 41. p. 69, 2010.

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

EAMES, A.J.; MACDANIELS, L.H. **An introduction to plant anatomy.** 2 ed. Bombay – New Delhi, 1953. 427 p.

EDMOND, J. B.; SENN, T. L.; ANDREWS, F. S.; HALFACRE, R. G. **Fundamentals of horticulture.** 4 ed. New York: McGraw-Hill Book Company, 1957. 560 p.

ELBASHEER, Y. H. A.; ELKALIFA, A. A. **Anatomy of stem cuttings in relation to adventitious rooting of some forest trees.** University of Africa Journal of Science, v. 1, n. 1, p. 62-76. 2010.

ESAU, E. **Anatomia vegetal.** Barcelona: Omega, 1959. 729 p.

FACHINELLO, J.C.; HOFFMANN, A.; NACHTIGAL, J.C.; KERSTEN, E.; FORTES, G.RL. **Propagação de plantas frutíferas de clima temperado.** Pelotas: UFPEL, 1995. 179 p.

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

FERNANDES, J.; FREITAS, A. **Introdução à Engenharia Natural.** Portugal: EPAL - Empresa Portuguesa das Águas Livres, S.A., 2011. 108 p.

FERRARI, M. P.; GROSSI, F.; WENDLING, I. **Propagação vegetativa de espécies florestais.** 1. ed. Colombo: Embrapa Florestas, 2004.

FERRIANI, A. P.; MAYER, J. L. S.; ZUFFELLATO-RIBAS, K. C.; BONA, C.; KOEHLER, H. S.; DESCHAMPS, C.; CARPANEZZI, A. A.; OLIVEIRA, M. de C. **Estquia e anatomia de vassourão-branco.** Scientia Agraria, Curitiba, v.9, n.2, p.159-166, 2008.

FILARDI, F. L. R.; GARCIA, F.C. P. & CARVALHO-OKANO, R. M. **Espécies lenhosas de papilionoideae (leguminosae) na estação ambiental de Volta Grande, Minas Gerais, Brasil.** Rodriguésia. Rio de Janeiro, V 58, n 2, p. 363-378, 2007.

GIEHL, E.L.H. (coordenador) 2012. **Flora digital do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina.** Disponível em: <<http://ufrgs.br/floradigital>>. Acesso em 28 out. 2016.

GRAY, D. H.; LEISER, A.T. **Biotechnical Slope Protection and Erosion Control.** Florida: Krieger Publishing Company Malabar, 1982.

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.

GRATIERI-SOSSELLA, A.; PETRY, C.; NIENOW, A. A. **Propagação da corticeira do banhado (*Erythrina crista-galli* L.) (Fabaceae) pelo processo de estaquia.** Revista Árvore, Viçosa-MG, v.32, n.1, p.163-171, 2008.

GOODIN, J. R. **Anatomical changes associated with juvenile-to-mature growth phase transition in *Hedera*.** Nature, v. 208, n. 5009, p. 504-505, 1965.

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.

HAMANN, A. **Adventitious root formation in cuttings of loblolly pine (*Pinus taeda* L.): developmental sequence and effects of maturation.** Trees, v. 12, p.175-180, 1998.

HAMBRICK, C. E.; DAVIES, F. T., PEMBERTON, H. B. **Seasonal changes in carbohydrate/nitrogen levels during field rooting of *Rosa multiflora* "Brooks 56" hardwood cuttings.** Scientia Horticulturae. Amsterdam, v.46, p.137-146, 1991.

HARTMANN, H.T.; KESTER, D.E.; DAVIES JUNIOR, F.T.; GENEVE, R.L. **Plant propagation: principles and practices.** 6.ed. New Jersey: Prentice-Hall International, 1997. p. 276-501.

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

HIGASHI, E.N.; SILVEIRA, R.L.V.A.; GONÇALVES, A.N. **Monitoramento nutricional e fertilização em macro, mini e microjardim clonal de *Eucalyptus*.** In: GONÇALVES, J.L.M.; BENEDETTI, V. Nutrição e fertilização florestal. Piracicaba: IPEF, 2000. p.191-217.

HEUSER, C. W. **Juvenility and rooting cofactors.** Acta Horticulturae. The Hague, v. 56, n. 1, p. 251-261, 1976.

HOFFMANN, A.; CHALFUN, N.N.J.; ANTUNES, L.E.C.; RAMOS, J.D.; PASQUAL, M.; REZENDE e SILVA, C.R de. **Fruticultura comercial: propagação de plantas frutíferas.** Lavras: UFLA/FAEPE, 1996. 319 p.

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

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.

IAWA COMMITTEE. IAWA list of microscopic features for hardwood identificacion. **IAWA Bulletin**, v. 10, n. 3, p. 218-359, 1989.

JACKSON, M. B. **New Root Formation in Plants and Cuttings.** 1 ed. Dordrecht: Martinus Nijhoff Publishers, 1986. 265 p.

KÄMPF, A. N. **Análise física de substratos para plantas.** Viçosa: SBCS, Boletim Informativo, v. 26, p. 5-7, 2001.

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. **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.

KOCH, I.; RAPINI, A.; SIMÕES, A.O.; KINOSHITA, L.S.; SPINA, A.P.; CASTELLO, A.C.D. **Apocynaceae in Lista de Espécies da Flora do Brasil.** Jardim Botânico do Rio Janeiro. 2015. Disponível em: <<http://floradobrasil.jbrj.gov.br/jabot/floradobrasil/FB4508>>. Acesso em: 2 de fev. de 2017.

KOLLMANN, F.F.P.; CÔTÉ, W.A. **Principles of wood science and technology.** Berlin: Heidelberg; New York: Springer Verlag, v. 1, 1968. 592 p.

LACERDA, M. R. B.; PASSOS, M. A. A.; RODRIGUES, J. J. V.; BARRETO, L. P. **Características físicas e químicas de substratos à base de pó de coco e resíduo de sisal para produção de mudas de sabiá (*Mimosa caesalpiniaefolia*).** Revista Árvore, v. 30, p. 163-170, 2006.

LEMES, M. R. T. **Revisão dos efeitos da vegetação em taludes.** 2001. 140 p. (Dissertação) -Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2001.

LEWIS, L. **Soil Bioengineering An Alternative for Roadside Management - A Practical Guide.** San Dimas, California, USA: United States Department of Agriculture, 2000. 47 p.

LIMA, M. R. **Anatomia comparada do lenho de quatro espécies de Guarea Allamand ex. Linnaeus ocorrentes na Zona da Mata Mineira e na Amazônia Brasileira.** 1994. 95 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1994.

LORENZI, H., SOUZA, H.M. **Manual de plantas ornamentais no Brasil – arbustivas, herbáceas e trepadeiras.** São Paulo: Nova Odessa, Plantarum, 1995. 720 p.

LORENZI, H.; SOUZA, H.M. **Plantas ornamentais no Brasil: arbustivas, herbáceas e trepadeiras.** Nova Odessa, SP: Instituto Plantarum, 164 p., 2001. 1088 p.

MADY, F. T. M. **Técnicas para Microscopia da Madeira.** Manaus: Editora da Universidade Federal do Amazonas (EDUA), 2007. 80 p.

MARCHIORI, J. N. C. **Estudo anatômico do xilema secundário de algumas espécies dos gêneros Acacia e Mimosa, nativas no estado do Rio Grande do Sul.** 1980. 186 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1980.

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

MARCHIORI, J.N.C. **Fitogeografia do Rio Grande do Sul – campos sulinos.** Porto Alegre: Ed. EST, 2004. 110 p.

MATOS, L. M. P. **Estabilidade de taludes em rochas silto-argilosas técnicas de remediação para roturas superficiais.** 2008. 205 p. Dissertação (Mestrado em Geologia) – Universidade de Lisboa, Lisboa, 2008.

MATOS, F.J.A; et al. **Plantas tóxicas: estudo de fitotoxicologia química de plantas brasileiras.** São Paulo: Instituto Plantarum de Estudos da Flora, p. 29, 2011.

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.

MAYER, J. L. S.; CARDOSO, N. A.; CUQUEL, F.; BONA, C. **Formação de raízes em estacas de duas espécies de *Calliandra* (leguminosae - mimosoideae).** Rodriguésia, v. 59, n. 3, p. 487-495, 2008.

McMAHON, M. J.; KOFRANEK, A. M.; RUBATZKY, V. E. **Hartmann's Plant Science: Growth, Development and Utilization of Cultivated Plants.** 3 ed. New Jersey: prentice Hall, 2002. 573 p.

McMICHAEL, B. L.; BURKE, J. J. **Metabolic activity of cotton roots in response to temperature.** Environmental and Experimental Botany, v. 34, p. 201–206, 1994.

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

METCALFE, C. R.; CHALK, L. **Anatomy of the dicotyledons.** Wood structure and conclusions of the general introduction. Oxford: Clarendon Press, v. 2, 1983. 297p.

MING, L. C. **Plantas medicinais, aromáticas e codimentares: avanços na pesquisa agronômica.** v. 2, apoio PROIN/CAPES. Botucatu: UNESP, 1998. 238 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.

MONTEIRO, J. S.; LEITE, M. B.; WINK, C.; DURLO, M. A. **Influência do ângulo de plantio sobre a brotação e o enraizamento de estacas de *Phyllanthus sellowianus* (Klotzsch) Müll. Arg.** Ciência Florestal, Santa Maria, v. 20, n. 3, p. 523-532, 2010.

MOREIRA, H. J. C.; BRAGANÇA, H. B. N. **Manual de identificação de plantas infestantes: arroz.** São Paulo: FMC Agricultural Products, 2010. 550 p.

MORENO, J.A. **Clima do Rio Grande do Sul.** Porto Alegre: Secretaria da Agricultura, 1961. 42 p.

MORGAN, R. P. C.; RICKSON, R. J. **Slope Stabilization and Erosion Control: a bioengineering approach.** London: E & FN Spon, 1995. 293 p.

MURAYAMA, S.J. **Fruticultura.** Campinas: Instituto Campineiro de Ensino Agrícola. 1973. 428 p.

NICOLOSO, F. T.; LAZZARI, M.; FORTUNATO, R. P. **Propagação vegetativa de *Platanus acerifolia* Ait: (II) efeito da aplicação de zinco, boro e ácido indolbutírico no enraizamento de estacas.** Ciência Rural, Santa Maria, v. 29, n. 3, p. 487–492. 1999.

OFORI, D. A., NEWTON, A. C., LEAKY, R. R. B., GRACE, J. **Vegetative propagation of *Milicia excelsa* by leafy stem cuttings: effects of auxin concentration, leaf area and rooting medium.** Forest Ecology and Management, v. 84, p. 39–48, 1996.

OLIVEIRA, M. C.; RIBEIRO, J. F.; RIOS, M. N. S.; REZENDE, M. E. **Enraizamento de Estacas para Produção de Mudas de Espécies Nativas de Matas de Galeria.** Recomendação técnica n. 41. Embrapa: Brasília, DF, 2001.

ONO, E.O., BARROS, S.A., RODRIGUES, J.D., et al. **Enraizamento de estacas de *Platanus acerifolia* tratadas com auxinas.** Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, v. 29, n. 9, p. 1373-1380, 1994.

ONO, E. O.; RODRIGUES, J. D. **Aspectos da Fisiologia do Enraizamento de Estacas Caulinares.** Jaboticabal: FUNEP/ FCAV, 1996. 83 p.

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.

PAIVA, H. N. de; GOMES, J. M. **Propagação Vegetativa de Espécies florestais.** Minas Gerais: Imprensa Universitária. 1993. 40p.

PAIVA, H. N. de; GOMES, J. M.; COUTO, L.; SILVA, A. R. da. **Propagação vegetativa de eucalipto por estaquia.** Informe. Agropecuário. Belo Horizonte, v.18, n.185, p. 23-27, 1996.

PATRICIO, P. C.; THOMAZ L. D.; SUTILI, F. J. **Propagação vegetativa de espécies nativas do estado do espírito santo para uso em técnicas de bioengenharia.** In: Congresso brasileiro Nacional de Botânica, 64, 2013, Belo Horizonte, MG. Anais...: Belo Horizonte, MG: Sociedade Botânica do Brasil, 2013.

PINTO, L. S.; ZUFFELLATO-RIBAS K. C.; CARPANEZZI A. A.; TAVARES F. R.; KOEHLER H. S. **Indução do enraizamento de estacas de araticum-de-porco pela aplicação de fitorreguladores.** Scientia Agraria, Curitiba, v. 4, n. 1-2, p. 41-45, 2003.

PIZZATTO M.; JÚNIOR A. W.; LUCKMANN, D.; PIROLA, K.; CASSOL, D. A.; MAZARO, S. M. **Influência do uso de AIB, época de coleta e tamanho de estaca na propagação vegetativa de hibisco por estaquia.** Rev. Ceres, Viçosa, v. 58, n.4, p. 487-492, 2011.

POTT, A.; POTT, V. **Plantas do pantanal.** Brasília: EMBRAPA-SPL, 1994. 320p.

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

RAMAMOORTHY, T.P.; ZARDINI, E.M. **The systematics and evolution of *Ludwigia* sect. *Myrtocarpus* s.l. (Onagraceae).** Missouri Bot. Gard. v. 19, p. 1-120, 1987.

REITZ, P.R. **Combretáceas.** In: REITZ, P.R. (Org.) Flora Ilustrada Catarinense. Itajaí: Herbário Barbosa Rodrigues, 1967. 26 p.

REITZ, P.R. **Caprifoliáceas.** In: REITZ, P.R. (Org.) Flora Ilustrada Catarinense. Itajaí: Herbário Barbosa Rodrigues, 1985. 16 p.

REITZ, R.; KLEIN, R.M.; REIS, A. **Projeto Madeira do Rio Grande do Sul. Superintendência do Desenvolvimento da Região Sul (SUDESUL)** – Governo do Estado do Rio Grande do Sul (RS). Herbário Barbosa Rodrigues (HBR), 1988. 525 p.

REZENDE, A. A. **Enraizamento de estacas de candeia *Eremanthus erytropappus* (DC.) MacLeish.** 2007. 75 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2007.

RIBAS, K.C. **Interações entre auxinas e co-fatores do enraizamento na promoção do sistema radicular, em estacas de *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden.** 1997. 150 p. Tese (Doutorado em Ciências Biológicas/Botânica) – Universidade Estadual Paulista, Botucatu. 1997.

SÁNCHEZ-SOTO, S.; GUEDES, J. C.; NAKANO, O. ***Neodiplogrammus quadrivittatus* (Olivier) (Coleoptera: Curculionidae) no Estado de São Paulo.** Neotropical Entomology, Londrina, PR, v. 32, n. 3, p. 511-512, 2003.

SANTOS, D. R.; MOREIRA, F. M. S.; SIQUEIRA, J. O. **Fósforo, fungo micorrízico e rizóbio no crescimento, nodulação e fixação biológica do nitrogênio em *Sesbania virgata* (Cav.) e *Sesbania rostrata* (Bram).** In: FERT'BIO. Anais... Caxambu, p. 772, 1997.

SANTOS, J. P. **Potencial de enraizamento de estacas lenhosas de espécies florestais da mata ciliar.** 2009. 95 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2009.

SANTOS, J. P.; DAVIDE, A. C.; TEIXEIRA, L. A. F.; MELO, A. J. S.; MELO, L. A. **Enraizamento de estacas lenhosas de espécies florestais.** Cerne, Lavras, v. 17, n. 3, p. 293-301, 2011.

SAULI, G.; CORNELINI, P.; PRETI, F. **Manuale d' Ingegnaria Naturalistica Applicabile ai Settori delle Strade, Cave, Discariche e Coste Sabbiose.** Roma, Itália: Regione Lazio, 2003. 591 p.

SCHAFER, G.; EMER, A. A.; FIOR, C. S.; BARATTO, B.; AVRELLA, E. D.; CAMPOS, S. S. **Viabilidade da estaqueia de *Escallonia bifida* com o uso de doses de AIB.** In: Congresso brasileiro de floricultura e plantas ornamentais, 20, 2015, Piracicaba/SP. Anais...Piracicaba/SP: ESALQ, 2015, p. 303.

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

SCHIECHTL, H.; STERN, R. **Ground bioengineering techniques for slope protection and erosion control.** Oxford, UK: Blackwell Science Ltd, 1996. 146p.

SCHWIRKOWSKI, P. **Flora de São Bento do Sul** - São Bento do Sul - Santa Catarina - Brasil - Outubro de 2009. Disponível em: <<https://sites.google.com/site/florasbs>>. Acesso em: 17 nov. 2016.

SEILER, G.J.; **Influence of temperature on primary and lateral root growth of sunflower seedlings.** Environmental and Experimental Botany, v. 40, p. 135–146, 1998.

SIEGLOCH, A.M.; MARCHIORI, J.N.C.; SANTOS, S.R. **Anatomia do lenho de Cephalanthus glabratus (Spreng.) K. Schum. (Rubiaceae).** Santa Maria: Balduinie, n. 31, p. 20-26, 31-VIII-2011.

SILVA, A. G. A.; GONÇALVES, C. R.; GALVÃO, D. M.; GONÇALVES, A. J. L.; GOMES, J.; SILVA, M. N.; SIMONI, L. **Quarto catálogo dos insetos que vivem nas plantas do Brasil. Seus parasitos e predadores.** Parte 2, Tomo 1º, insetos, hospedeiros e inimigos naturais. Rio de Janeiro: Ministério da Agricultura, 1968. 622 p.

SIMÃO, S. **Tratado de fruticultura.** Piracicaba: FEALQ, 1998. 760 p.

SOUZA, R. S. **Introdução à Engenharia Natural.** Apostila fornecida ao curso de Introdução à Engenharia Natural em Araricá, RS, 2013.

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.

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.

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

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

TCHOUNDJEU, Z., AVANA, M. L., LEAKY, R. R. B., SIMONS, A. J., ASAAH, E. DUGUMA, B., BELL, J.M. **Vegetative propagation of *Prunus africana*: effects of rooting medium, auxin concentrations and leaf area.** Agroforestry Systems, v. 54, p. 183–192, 2002.

UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE. **Soil Bioengineering for Upland Slope Protection and Erosion Reduction.** Engineering Field Handbook. Estados Unidos: USDA, 1992. 61 p.

VARGAS, C. O. **Características biotécnicas de *Phyllanthus sellowianus* Müll. Arg., *Salix x rubens* Schrank e *Sebastiania schottiana* (Müll. Arg.) Müll. Arg.** 2007. 84 p. Dissertação de mestrado. Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria, 2007.

VENTI, D. et al. **Manuale Tecnico di Ingegneria Naturalistica della Provincia di Terni. Applicabilità delle tecniche, limiti e soluzioni.** Itália: Provincia di Terni, Servizio Assetto del Territorio, 2003. 430 p.

WANDENKOKEN, D. T. **Influência do diâmetro na propagação por estquia de três espécies nativas.** 2015. 31 p. Monografia (Graduação em Ciências Biológicas) – Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2015.

XAVIER, A.; SANTOS, G. A. dos. **Clonagem em espécies florestais nativas.** In: ROCHA, M. G. B. Melhoramento de espécies arbóreas nativas. Belo Horizonte: Instituto de Desenvolvimento Florestal Sustentável – IEF, 2002. 173p.

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