

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
CENTRO DE CIÊNCIAS RURAIS
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS FLORESTAIS
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA FLORESTAL**

**INFLUÊNCIA DO ARMAZENAMENTO NA PROPAGAÇÃO DE
ESTACAS VIVAS PARA USO EM OBRAS DE ENGENHARIA
NATURAL**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

Vinicius de Oliveira Weise

**Santa Maria, RS, Brasil
2016**

**INFLUÊNCIA DO ARMAZENAMENTO NA PROPAGAÇÃO DE ESTACAS VIVAS
PARA USO EM OBRAS DE ENGENHARIA NATURAL**

por

Vinicius de Oliveira Weise

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Graduação em Engenharia Florestal, Área de Concentração em Engenharia Natural, da Universidade Federal de Santa Maria, como requisito parcial para obtenção do grau de Engenheiro Florestal.

Orientador: Fabrício Jaques Sutili

**Santa Maria, RS, Brasil
2016**

**Universidade Federal de Santa Maria
Centro de Ciências Rurais
Departamento de Ciências Florestais
Curso de Graduação em Engenharia Florestal**

A Comissão examinadora, abaixo assinada,
aprova o Trabalho de Conclusão de Curso
como requisito parcial para obtenção do grau
de **Engenheiro Florestal**.

**INFLUÊNCIA DO ARMAZENAMENTO NA PROPAGAÇÃO DE ESTACAS VIVAS
PARA USO EM OBRAS DE ENGENHARIA NATURAL**

Elaborado por

Vinicius de Oliveira Weise

Aprovado em 13 de dezembro de 2016

**Fabício Jaques Sutili, Dr. (UFSM)
(Presidente/Orientador)**

Delmar Bressan, Dr. (UFSM)

Rita dos Santos Sousa, Msc. (UFSM)

**Santa Maria, RS, Brasil
2016**

RESUMO

INFLUÊNCIA DO ARMAZENAMENTO NA PROPAGAÇÃO DE ESTACAS VIVAS PARA USO EM OBRAS DE ENGENHARIA NATURAL

AUTOR: Vinicius de Oliveira Weise
ORIENTADOR: Fabrício Jaques Sutili

O uso de técnicas de Engenharia Natural que utilizam plantas com capacidade de propagação vegetativa já é um assunto consolidado e de grande importância, porém as informações relativas ao armazenamento do material vegetal ainda são escassas na literatura. Sendo assim o objetivo deste estudo foi investigar a viabilidade de estacas vivas das espécies *Phyllanthus sellowianus* (Klotzsch) Müll.Arg., *Ludwigia elegans* (Cambess.) H. Hara e *Sesbania virgata* (Cav.) Pers. após armazenamento, para aplicação em obras de Engenharia Natural. Para avaliar sua capacidade de sobrevivência, foram utilizadas estacas vivas de cada espécie em um esquema fatorial 4x4 – quatro tipos de armazenamento (empilhadas à sombra, parcialmente submersas com água, envolvidas em lona plástica preta e parcialmente enterradas) e quatro períodos de armazenamento (4, 7, 15 e 30 dias) em delineamento experimental inteiramente casualizado. O experimento apresentou resultados satisfatórios nos índices de sobrevivência para as espécies *P. sellowianus* e *L. elegans* em todos os tratamentos e períodos e não satisfatórios para *S. virgata*, exceto em um tratamento em um período de armazenamento. Recomenda-se o armazenamento para *P. sellowianus* e *L. elegans* em qualquer tratamento ou período utilizados no experimento e a repetição de testes para *S. virgata* com material proveniente de diferentes matrizes.

Palavras-chave: Bioengenharia de solos. Armazenamento. Estacas vivas. *Phyllanthus sellowianus*. *Ludwigia elegans*. *Sesbania virgata*.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1. Funções ecológicas da vegetação (WATERWAYS RESTORATION INSTITUTE AND URBAN CREEKS COUNCIL, 2006).....	11
Figura 2. Estacas utilizadas na técnica de enrocamento vegetado. Adaptado de EUBANKS; MEADOWS, 2003.	12
Figura 3. Exemplos de <i>P. sellowianus</i> no rio Ibicuí. Fotografias: Rita Sousa.	14
Figura 4. Exemplos de <i>L. elegans</i> no Campus da UFSM. Fotografias: Rita Sousa.	15
Figura 5. Exemplos de <i>S. virgata</i> no Campus da UFSM. Fotografias: Rita Sousa.	16
Figura 6. Preparação do material vegetal	17
Figura 7. Vista geral do local de armazenamento do material vegetal. Fotografia: Rita Sousa.	18
Figura 8. Estacas vivas empilhadas à sombra.....	18
Figura 9. Estacas vivas parcialmente submersas em água.	19
Figura 10. Estacas vivas envolvidas por lona plástica preta.....	19
Figura 11. Estacas vivas parcialmente enterradas.	20
Figura 12. Estacas vivas em desenvolvimento na estufa.	20
Figura 13. Extração de mudas para análise dos sistemas radicial e foliar. Fotografia: Rita Sousa.....	21
Figura 14. Índice de sobrevivência do <i>P. sellowianus</i>	23
Figura 15. Índice de sobrevivência do <i>L. elegans</i>	24
Figura 16. Índice de sobrevivência do <i>S. virgata</i>	25
Figura 17. Presença de brocas nas estacas de <i>S. virgata</i>	25

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Massa seca média de brotos em gramas (g).....	26
Tabela 2. Massa seca média de raízes em gramas (g).	27
Tabela 3. Massa seca média de brotos em gramas (g).....	27
Tabela 4. Massa seca média de raízes em gramas (g).	28
Tabela 5. Massa seca média de brotos em gramas (g).....	28
Tabela 6. Massa seca média de raízes em gramas (g).	29

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	8
1.1.	OBJETIVO GERAL	9
1.2.	OBJETIVO ESPECÍFICO	9
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	10
2.1.	ESPÉCIES UTILIZADAS NO DESENVOLVIMENTO DO EXPERIMENTO	13
2.1.1.	<i>Phyllanthus sellowianus</i> (Klotzsch) Müll. Arg.	13
2.1.2.	<i>Ludwigia elegans</i> (Camb.) H. Hara.	14
2.1.3.	<i>Sesbania virgata</i> (Cav.) Pers.	15
3	MATERIAIS E MÉTODOS	16
3.1.	LOCAL DE IMPLANTAÇÃO	16
3.2.	INSTALAÇÃO E CONDUÇÃO DO EXPERIMENTO	17
3.2.1.	Coleta do material vegetal	17
3.2.2.	Preparação das estacas vivas	17
3.2.3.	Armazenamento das estacas vivas	17
3.2.4.	Plantio de estacas vivas e condução de mudas	20
3.2.5.	Extração de mudas para análise dos sistemas radicular e foliar	21
3.3.	COLETA DE DADOS	21
3.4.	ANÁLISE DOS DADOS	21
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES	22
4.1.	ANÁLISE DO ÍNDICE DE SOBREVIVÊNCIA	22
4.1.1.	<i>Phyllanthus sellowianus</i> (Klotzsch) Müll.Arg.	22
4.1.2.	<i>Ludwigia elegans</i> (Camb.) H. Hara.	23
4.1.3.	<i>Sesbania virgata</i> (Cav.) Pers.	24
4.2.	ANÁLISE DA MASSA SECA DE RAÍZES E BROTOS	26
4.2.1.	<i>Phyllanthus sellowianus</i> (Klotzsch) Müll.Arg.	26
4.2.2.	<i>Ludwigia elegans</i> (Cambess) H. Hara.	27
4.2.3.	<i>Sesbania virgata</i> (Cav.) Pers.	28
5	CONCLUSÃO	29
6	REFERENCIAL BIBLIOGRÁFICO	31

1 INTRODUÇÃO

A Engenharia Natural (EN) é uma área da Engenharia que utiliza materiais construtivos vivos combinados ou não, com materiais inertes, visando a estabilização de taludes fluviais ou encostas instáveis ou suscetíveis à erosão devido a processos erosivos superficiais ou movimentos de massa (CORNELINI; SAULI, 2005; GRAY; SOTIR, 1996; MENEGAZZI; PALMERI, 2013; MORGAN; RICKSON, 1995; SCHIECHTL, 1996; SOUSA, 2015).

Segundo Durlo e Sutili (2014) a utilização de técnicas de Engenharia Natural é muito antiga, porém foi apenas no século XVII que se iniciaram os primeiros estudos na área, principalmente em regiões da Europa. O uso dessas técnicas tem sido especialmente importante nas últimas décadas em regiões da Europa e Estados Unidos, no entanto no Brasil ainda são poucos os estudos relativos a esta área. Os autores ainda citam que as técnicas de Engenharia Natural no Brasil, apesar de serem pouco difundidas, são notoriamente importantes para a manutenção da estabilidade de encostas, taludes, margens fluviais e para a proteção superficial do solo contra processos erosivos. O uso de intervenções naturais tem vantagens tanto técnicas e ecológicas quanto econômicas, porém há diversos fatores que devem ser levados em consideração, sendo um dos mais importantes, a disponibilidade de material vegetal para as obras e a sua viabilidade após armazenamento (DURLO; SUTILI, 2014).

É importante analisar os fatores relevantes ao planejamento de obras, e por serem intervenções que utilizam materiais construtivos vivos, alguns elementos devem ser levados em consideração, como o armazenamento desse material após sua coleta na natureza ou aquisição em fornecedores. O estudo dos métodos de armazenamento de material vivo é muito importante, uma vez que influencia diretamente na viabilidade reprodutiva das espécies vegetais e conseqüentemente no sucesso da sua implantação em obras de Engenharia Natural.

As plantas executam um papel muito importante nas obras de Engenharia Natural. Servem para controlar processos erosivos e afetam tanto a proteção superficial como a estabilidade dos taludes. Os benefícios da estabilização ou proteção de taludes dependem tanto do tipo de plantas utilizadas como do processo de degradação do talude. Uma das técnicas mais comum em Engenharia Natural é a estacaria viva, técnica que pode ser utilizada de forma isolada ou complementarmente à outras intervenções de

Engenharia Natural, como por exemplo, parede krainer, grade viva, gabião vivo, enrocamento vegetado, entre outras.

Com o armazenamento de estacas vivas, é possível obter maior tempo para tomadas de decisão logística e reposicionamento de maquinário e mão-de-obra ociosa. Sendo assim, na realização de intervenções biotécnicas é necessário que as características relacionadas a prazos de validade e exigências para o estoque sejam conhecidas para o correto planejamento das fases de execução da obra (GRAY; SOTIR, 1996). Por isso, o desenvolvimento de pesquisas sobre armazenamento é extremamente importante, uma vez que afeta diretamente o planejamento e logística de obras de Engenharia Natural podendo assim somar conhecimento na área em âmbito regional e nacional.

Para pequenas obras, o armazenamento do material vegetal pode ter pouca influência no resultado final, porém em obras de maior dimensão que demandam uma grande quantidade de material vivo, o seu armazenamento é de vital importância para o sucesso do projeto.

No capítulo seguinte deste trabalho será apresentada a revisão bibliográfica, posteriormente serão apresentados os materiais e métodos utilizados no desenvolvimento do trabalho. Na sequência serão apresentados e discutidos os resultados obtidos com a pesquisa e por fim serão feitas as conclusões do trabalho, bem como recomendações para trabalhos e pesquisas futuras.

1.1. OBJETIVO GERAL

O presente trabalho teve como objetivo investigar a viabilidade reprodutiva de estacas vivas das espécies *Phyllanthus sellowianus* (Klotzsch) Müll.Arg., *Ludwigia elegans* (Cambess.) H. Hara e *Sesbania virgata* (Cav.) Pers. após armazenamento, para aplicação em obras de Engenharia Natural.

1.2. OBJETIVO ESPECÍFICO

Como objetivos específicos, tem-se:

- Testar a viabilidade de propagação vegetativa de estacas vivas com diferentes formas de armazenamento;
- Testar a viabilidade de propagação de estacas vivas com diferentes períodos de armazenamento;

- Especificar qual a melhor forma e duração máxima de armazenamento para cada espécie estudada;

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A Engenharia Natural é baseada no aproveitamento de material vegetal com potencial biotécnico para prevenir e corrigir processos erosivos superficiais e movimentos de massa. Suas técnicas provêm do uso de plantas que podem ser combinadas com materiais inertes para conferir um local estável geotecnicamente, técnicas essas que devem ser vistas não somente como substitutas, mas principalmente como extensão e complemento dos métodos tradicionais da engenharia (SCHIECHTL, 1996).

Ao fazer uma abordagem em local com necessidade de intervenção, levam-se em conta diversos fatores, como a cartografia, fitossociologia, geobotânica, geomorfologia, condições climáticas, tipos de solo entre outros, para que o sistema tenha um caráter mais próximo do natural. Nos EUA e Europa, as técnicas de Engenharia Natural já são utilizadas há décadas, porém no Brasil ainda são pouco conhecidas e recentemente utilizadas, circunstância essa que deve ser vista como uma oportunidade de estudos, pesquisas e observações na área. O conhecimento das necessidades e características biológicas das plantas junto com sua capacidade de resolver problemas técnicos de estabilização de taludes fluviais e encostas caracteriza a Engenharia Natural (DURLO; SUTILI, 2014; FERNANDES; FREITAS, 2011; SCHIECHTL; STERN, 1996).

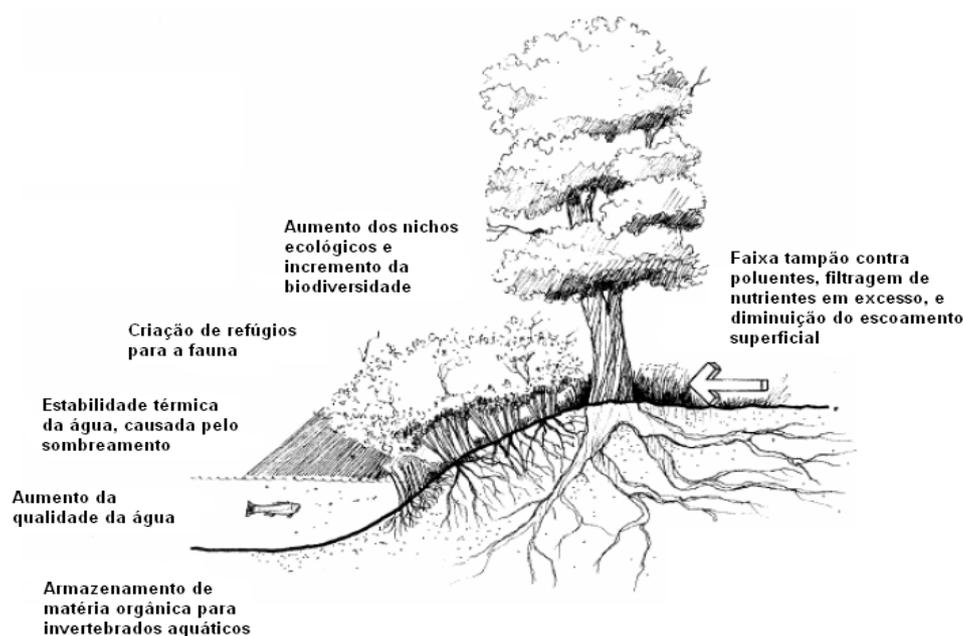
Compondo-se de espécies autóctones, as plantas utilizadas na Engenharia Natural, trazem um equilíbrio ecológico elevado em relação às intervenções tradicionais de engenharia, que recorrem apenas à utilização de materiais inertes (FERNANDES; FREITAS, 2011). As plantas utilizadas em Engenharia Natural apresentam várias funções técnicas hidrológicas e mecânicas (COPPIN; RICHARDS, 2007; CORNELINI; SAULI, 2005; MENEGAZZI; PALMERI, 2013; MORGAN; RICKSON, 1995; SOUSA, 2015).

Do ponto de vista hidrológico, as plantas reduzem a quantidade de água no solo, por exemplo, através da evapotranspiração e interceptação. Mecanicamente as plantas estruturam o solo através das raízes, absorvem e encaminham tensões provenientes das solicitações externas (SOUSA, 2015). A perda ou remoção de vegetação em taludes

pode resultar em aumento das taxas de erosão ou falhas estruturais, e essa relação de causa e efeito pode ser encontrada em diversos trabalhos de laboratório ou a campo relatados na literatura (SCHIECHTL, 1996).

Além das funções técnicas as plantas ainda desempenham funções adicionais, como por exemplo, ecológico-ambientais, estéticas e socioeconômicas (SOUSA, 2015). Algumas das funções ecológico-ambientais das plantas estão representadas na Figura 1.

Figura 1. Funções ecológicas da vegetação (WATERWAYS RESTORATION INSTITUTE AND URBAN CREEKS COUNCIL, 2006)

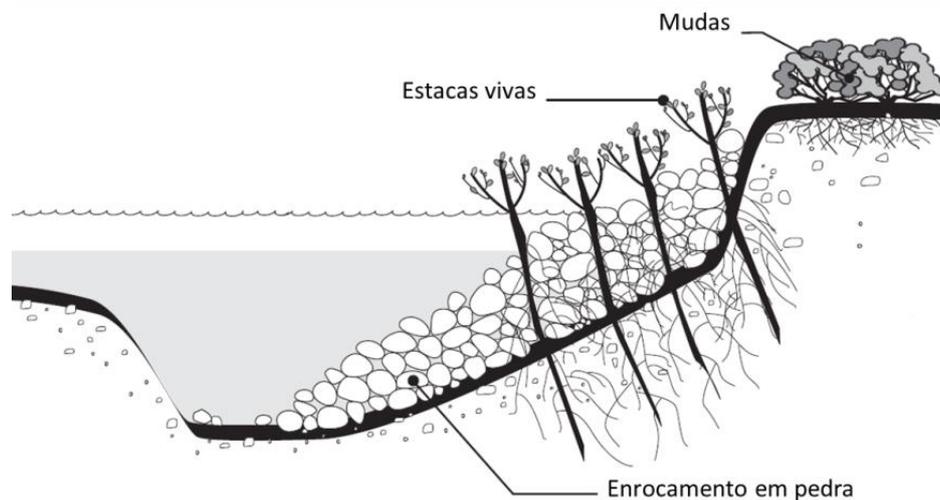


A Engenharia Natural é composta por diversos tipos de técnicas para controle de processos erosivos superficiais e profundos. Uma das técnicas mais comum e utilizada é a estacaria viva, técnica que pode ser utilizada de forma isolada ou complementarmente a outras intervenções de Engenharia Natural, como por exemplo, parede krainer, grade viva, gabião vivo, enrocamento vegetado (Figura 2), entre outras.

A técnica de estacaria viva consiste na utilização de parte de ramos de espécies com capacidade de propagação vegetativa. Pode ser utilizada para estabilização hidráulica ou geotécnica, drenagem ou fixação de diferentes estruturas. O efeito estabilizante desta técnica em profundidade aumenta conforme o comprimento da estaca inserida no solo. Quanto maior a estaca, maior a profundidade a que se irão desenvolver as raízes e, portanto maior estabilidade em profundidade (SOUSA et al., 2016).

As estacas vivas são cravadas no solo para providenciar maior estabilidade do terreno, principalmente após o enraizamento das estacas.

Figura 2. Estacas utilizadas na técnica de enrocamento vegetado. Adaptado de EUBANKS; MEADOWS, 2003.



O transporte de materiais gera custos, que não agregam valor ao produto final, e por isso melhorias reais suprimem a função de transporte ao máximo possível. Em casos onde o transporte é necessário, deve-se avaliar a diminuição de custos de mão-de-obra como fundamental na redução de perdas, que pode ser efetuada com sucesso através da melhoria nos movimentos de trabalhos humanos, combinação das folgas marginais e quando possível, a transferência dos movimentos humanos para as máquinas (SHINGO, 2007). Com o armazenamento de estacas vivas, é possível obter maior tempo para tomadas de decisão logística e reposicionamento de maquinário e mão-de-obra ociosos. Sendo assim, na realização de intervenções biotécnicas é necessário que as características relacionadas a prazos de validade e exigências para o estoque sejam conhecidas para o correto planejamento das fases de execução da obra (GRAY e SOTIR, 1996).

No Brasil ainda não existem publicações específicas sobre armazenamento de material vegetal para uso em intervenções de EN. O armazenamento adequado do material vegetal deve evitar a perda da viabilidade, garantindo a sua sobrevivência e o seu desenvolvimento, após um período determinado. A viabilidade do material vegetal depende de vários fatores como espécie, diâmetro do material, características anatômicas e época de coleta, enquanto fatores como umidade, temperatura, luminosidade e qualidade fitossanitária regulam a duração do período de

armazenamento e também pode em pequenos períodos de armazenamento aumentar os resultados de propagação vegetativa para algumas espécies (CADONÁ, 2014).

O armazenamento é uma alternativa viável para o melhor aproveitamento do material vegetal em obras de EN, e feito de forma adequada possibilita a manutenção da viabilidade reprodutiva do material vegetal, flexibilizando o cronograma da obra. Métodos de armazenamento devem regular a umidade e prevenir doenças garantindo a manutenção das reservas de carboidratos importantes no processo de enraizamento (GOULART e XAVIER, 2008).

2.1. ESPÉCIES UTILIZADAS NO DESENVOLVIMENTO DO EXPERIMENTO

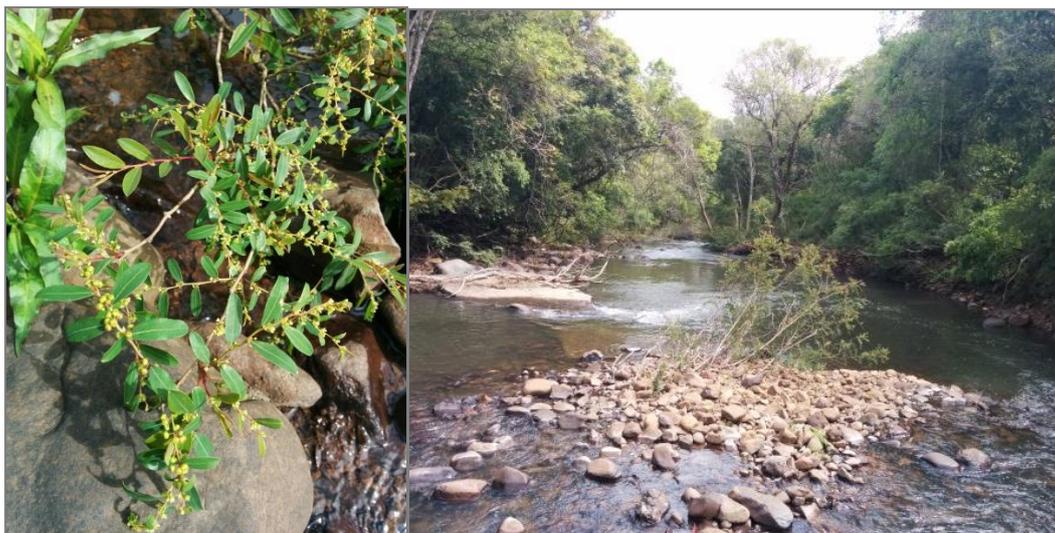
As espécies *Phyllanthus sellowianus*, *Ludwigia elegans* e *Sesbania tomentosa* foram escolhidas para a elaboração do experimento por serem normalmente utilizadas em intervenções de EN.

2.1.1. *Phyllanthus sellowianus* (Klotzsch) Müll. Arg.

Conhecida popularmente pelos nomes Sarandi ou Sarandi-branco, pertence à família Phyllanthaceae. Possui forma arbustiva chegando a 3 metros de altura, apresenta ramos compridos e bem divididos com folhas lisas, sendo elas reduzidas e com presença de escamas nos ápices. Possui estípulas caducas, estreito-triangulares com 2 mm de comprimento e margens escariosas e pecíolos com até 2 mm de comprimento. As folhas tem formato estreito-oblongada, mucronuladas, delgadas, de face inferior pálida medindo de 3 a 4 cm de comprimento (DURLO; SUTILI, 2014) e de inserção alternada (BOELCKE, 1981; REITZ, 1988). As flores são dioicas, bastante numerosas e dispostas em fascículos nas axilas das folhas. Os frutos são cápsulas deprimido-globosas, de 2,5 mm de diâmetro, e as sementes, quase lisas, possuem diâmetro pouco maior que 1 mm

Na figura 3 podem-se observar algumas características morfológicas da espécie (à esquerda), bem como seu habitat em cursos de água (à direita).

Figura 3. Exemplos de *P. sellowianus* no rio Ibicuí. Fotografias: Rita Sousa.



É uma espécie reófito de caule e ramos rígidos, nativa do Rio Grande do Sul e possui distribuição no sul do Brasil, Uruguai e nordeste da Argentina (CABRERA, 1965). Possui resiliência capaz de resistir à correnteza de rios sendo por esse motivo indicada para estabilização de regiões ripárias (DURLO; SUTILI, 2014). É também heliófita, seletiva higrófito ou até xerófito, adaptando-se a extremas variações de umidade e estiagem, sendo característica em margens rochosas ou lodosas ribeirinhas ou de ilhas pedregosas em cursos de rios e fixando-se com firmeza ao substrato devido ao seu local típico de ocorrência. (Reitz, 1988).

2.1.2. *Ludwigia elegans* (Camb.) H. Hara.

Conhecida pelo nome popular cruz-de-malta, a espécie subarborescente pertencente à família Onagraceae, possui formato ereto, distribuição ramificada de ramos podendo alcançar 1,8 m de altura. Possui caule não alado, com presença de tricomas estrigosos, principalmente sobre as nervuras, em ambas as faces nos ramos jovens, as folhas densamente pilosas possuem pares de nervuras secundárias, tem formato de elípticas à lanceoladas e apresentam aspecto opaco quando frescas, podendo medir até 14,5 cm de comprimento por 4 cm de largura e pecíolo de até 0,8 cm de comprimento. As flores são tetrâmeras, possuem pedúnculo densamente piloso medindo até 3 cm de comprimento; bractéolas densamente pilosas medindo até 2,3 cm de comprimento; hipanto densamente piloso medindo até 2,5 cm de comprimento; sépalas verdes densamente pilosas com até 1,6 cm de comprimento na face adaxial e pétalas amarelas de até 2,7 cm

de comprimento. Os frutos densamente pilosos medem até 2,8 cm de comprimento por 0,5 cm de diâmetro e possui sementes plurisseriadas em cada lóculo. Apresenta período longo de floração e frutificação, sendo compreendidos entre outubro e julho, prefere ambientes úmidos, abertos e ensolarados como regiões ribeirinhas e beira de açudes, mas também pode ser encontrada em margem de estradas e caminhos (BERTUZZI *et al.*, 2011).

Na figura 4 podem-se observar algumas características morfológicas da flor (à esquerda), bem como seu habitat (à direita).

Figura 4. Exemplares de *L. elegans* no Campus da UFSM. Fotografias: Rita Sousa.



A espécie é nativa do Rio Grande do Sul e apresenta distribuição nas regiões sul, sudeste e centro-oeste do Brasil, além da maioria dos países da América do Sul e Estados Unidos (RAMAMOORTHY; ZARDINI, 1987).

2.1.3. *Sesbania virgata* (Cav.) Pers.

Conhecida popularmente por sesbânia ou angiquinho-gigante, a espécie arbustiva pertence à família Fabaceae (KETTENHUBER, 2014). Pode medir 3 m de altura (FILARDI *et al.*, 2007), possui comportamento perene e apresenta caule cilíndrico, presença de lenticelas com pouca ramificação na base. As folhas apresentam disposição helicoidal com presença de pecíolos, limbo composto penado com folíolos peciolulados de formato oblongo e mucronado, opostamente inseridos ao longo da ráquis. As numerosas flores são pedunculadas completas com 5 sépalas soldadas, 5 pétalas livres, estames soldados e gineceu unicarpelar com ovário alongado e inseridas de forma congesta formando inflorescência axilar do tipo cacho (MOREIRA; BRAGANÇA, 2010).

Na figura 5 podem-se observar algumas características morfológicas da espécie (à esquerda), bem como seu habitat (à direita).

Figura 5. Exemplos de *S. virgata* no Campus da UFSM. Fotografias: Rita Sousa.



A espécie tem desenvolvimento natural em ambientes úmidos e pode ser usada em projetos de recuperação de áreas degradadas (SANTOS *et al.*, 1997) como em zonas ripárias (POTT; POTT, 1994).

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1. LOCAL DE IMPLANTAÇÃO

O experimento foi realizado na estufa de germinação e propagação vegetativa do Laboratório de Engenharia Natural (LabEN) da Universidade Federal de Santa Maria entre os meses de agosto e outubro do ano de 2016 com condições climáticas controladas durante a fase de plantio e enraizamento e condições naturais durante as diferentes formas de armazenamento. Conforme a classificação de Köppen (ALVARES *et al.*, 2013), Santa Maria apresenta clima temperado chuvoso e quente do tipo Cfa, que corresponde a índices pluviométricos de 1.500 a 1.750 mm e temperatura média anual de 18° C, sendo a média das máximas do mês mais quente (janeiro) 32°C e, das mínimas do mês mais frio (junho), de 9°C.

3.2. INSTALAÇÃO E CONDUÇÃO DO EXPERIMENTO

3.2.1. Coleta do material vegetal

Foram coletadas estacas provenientes de ramos das espécies *Phyllanthus sellowianus*, *Ludwigia elegans* e *Sesbania virgata* provenientes de regiões ribeirinhas dos arredores do município de Arroio Grande, bem como no campus da UFSM.

3.2.2. Preparação das estacas vivas

O material coletado foi seccionado em estacas de 20 cm de comprimento, tomando o cuidado de marcar a direção original de crescimento e efetuar um corte preciso e sem danos à estaca (Figura 6).

Figura 6. Preparação do material vegetal



3.2.3. Armazenamento das estacas vivas

Após a preparação das estacas, 10 amostras de cada espécie coletadas foram plantadas imediatamente para serem usadas como testemunhas do experimento, enquanto as demais amostras foram expostas a quatro tratamentos diferentes, sendo eles: empilhadas à sombra, parcialmente submersas com água, envolvidas em lona plástica preta e parcialmente enterradas. Foram usadas 40 amostras por tratamento, para serem usadas 10 amostras em cada período de armazenamento, totalizando 510 estacas vivas (Figura 7). A viabilidade vegetativa das estacas foi avaliada após 4, 7, 15 e 30 dias. As condições de armazenamento foram idealizadas como simulação de um

ambiente de obra de Engenharia Natural, portanto não foram utilizados métodos de refrigeração ou hormônios enraizadores.

Figura 7. Vista geral do local de armazenamento do material vegetal. Fotografia: Rita Sousa.



Nas figuras 8, 9, 10 e 11 podem ser observados os diferentes tratamentos utilizados para o armazenamento.

Figura 8. Estacas vivas empilhadas à sombra.



Figura 9. Estacas vivas parcialmente submersas em água.



Figura 10. Estacas vivas envolvidas por lona plástica preta.



Figura 11. Estacas vivas parcialmente enterradas.



3.2.4. Plantio de estacas vivas e condução de mudas

Após o término de cada período de armazenamento, as estacas foram plantadas individualmente em vasos plásticos de 30 cm de altura e capacidade volumétrica de 770 ml, com o fundo perfurado para se obter uma melhor drenagem da água, e como substrato foi utilizada areia fina peneirada. Os vasos foram então alocados na estufa de germinação e propagação vegetativa do Laboratório de Engenharia Natural da Universidade Federal de Santa Maria (Figura 12) e sua irrigação foi programada para 30 ml diários distribuídos em 3 regas de 10 ml a cada 8 horas.

Figura 12. Estacas vivas em desenvolvimento na estufa.



3.2.5. Extração de mudas para análise dos sistemas radicular e foliar

O material foi coletado 45 dias após o plantio de cada nível do experimento, por meio de extração manual da planta com auxílio de água corrente controlada por mangueira (Figura 13), e posteriormente desmontado em três partes: brotos, estaca e raízes.

Figura 13. Extração de mudas para análise dos sistemas radicular e foliar. Fotografia: Rita Sousa



3.3. COLETA DE DADOS

A coleta de dados começou pelas dimensões espaciais do material, sendo medida o diâmetro da estaca na parte de contato com o substrato. Após as medições dimensionais, o material foi guardado em envelopes de papel pardo e colocado em estufa à temperatura de 70°C por aproximadamente 24h para então ser pesada a massa seca de cada componente da planta (aérea e radicial).

3.4. ANÁLISE DOS DADOS

A análise dos dados foi feita através de softwares de análise estatística como Microsoft Excel e Assistat, baseando-se nos dados coletados de massa seca dos brotos e raízes foram feitos delineamento inteiramente casual e teste Tukey.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Com base no objetivo principal do trabalho, o índice de pega foi o principal fator a ser analisado, mas como forma de complementar a análise foi feita comparação de massa seca de raízes e brotos entre os períodos para cada tratamento para cada espécie.

4.1. ANÁLISE DO ÍNDICE DE SOBREVIVÊNCIA

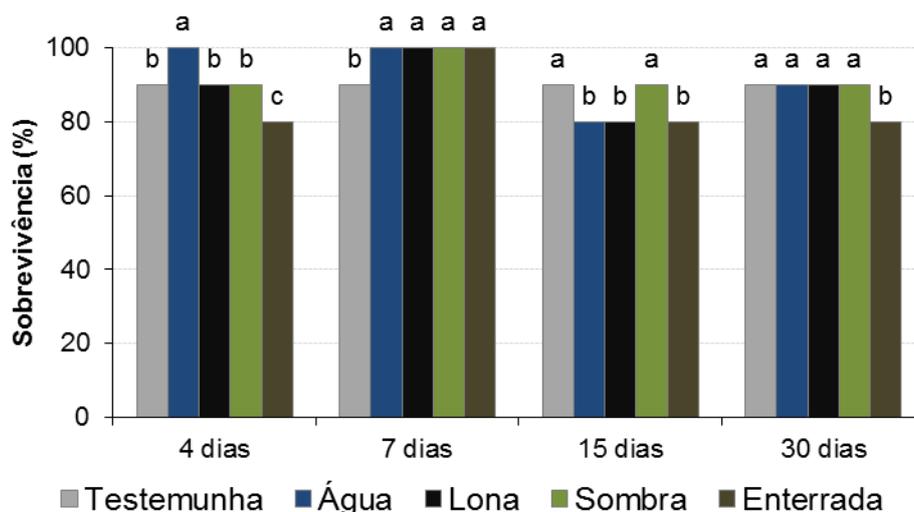
O índice de sobrevivência ou índice de pega é uma variável muito importante para a Engenharia Natural, uma vez que tem influência direta no sucesso das intervenções executadas. Ao aplicar as técnicas de EN é conveniente utilizar apenas espécies com facilidade de propagação vegetativa, ou seja, espécies com índice de pega acima de 70% (SAULI; CORNELINI; PRETI, 2003). O índice de sobrevivência pode estar atrelado também a fatores externos aos avaliados, como procedência genética, posição no ramo ou escoriações na casca e não foram levados em consideração no desenvolvimento do experimento.

Foi considerada como requisito de sobrevivência a emissão de raízes e brotos na mesma planta.

4.1.1. *Phyllanthus sellowianus* (Klotzsch) Müll.Arg.

Para a espécie *P. sellowianus* o índice de sobrevivência para a testemunha foi de 90%, enquanto que para os tratamentos e períodos de tempo variou entre 80% e 100%. Estes resultados foram bons comparados com o índice mínimo de viabilidade proposto na bibliografia especializada (70%), servindo como constatação da manutenção de viabilidade após o armazenamento e como um indício de uma provável viabilidade além do período de 30 dias.

Os resultados da espécie podem ser observados na Figura 14. A análise de médias foi realizada pelo teste de Tukey, com nível de 5% de significância. Resultados seguidos das mesmas letras não apresentam diferenças significativas entre si.

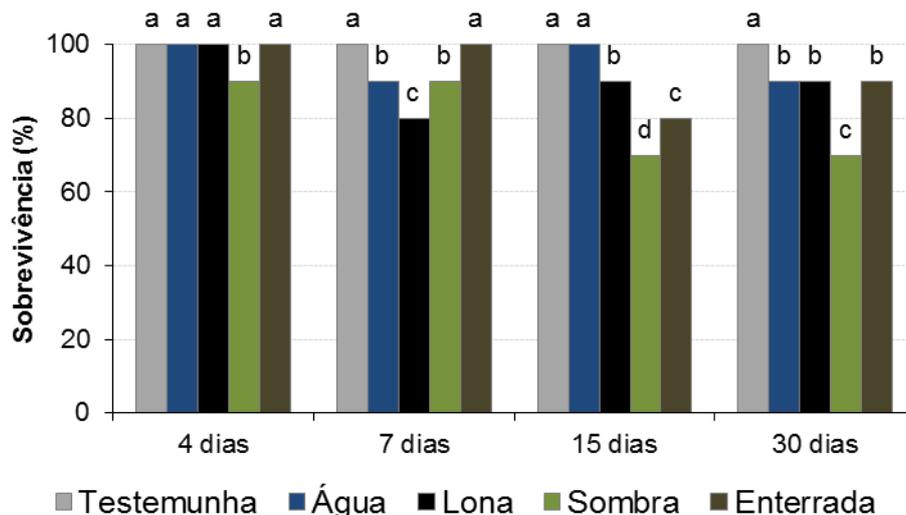
Figura 14. Índice de sobrevivência do *P. sellowianus*.

Apesar de existirem alguns resultados que apresentam diferenças estatísticas, constatou-se pouca variação no índice de sobrevivência das estacas vivas de *P. sellowianus* entre os diferentes tratamentos e períodos de tempo. Os melhores resultados do índice de sobrevivência (100%) foram para o tratamento parcialmente submerso em água após quatro dias e todos os tratamentos do período de sete dias.

4.1.2. *Ludwigia elegans* (Camb.) H. Hara.

Para a espécie *L. elegans*, o índice de sobrevivência da testemunha foi 100% e para os tratamentos e períodos de tempo variou entre 70% e 100%. Tal como na espécie anterior estes resultados indicam que provavelmente a espécie *L. elegans* pode ser armazenada durante um período de tempo mais longo sem perder viabilidade reprodutiva.

Os resultados da espécie podem ser observados na Figura 15. A análise de médias foi realizada pelo teste de Tukey, com nível de 5% de significância. Resultados seguidos das mesmas letras não apresentam diferenças significativas entre si.

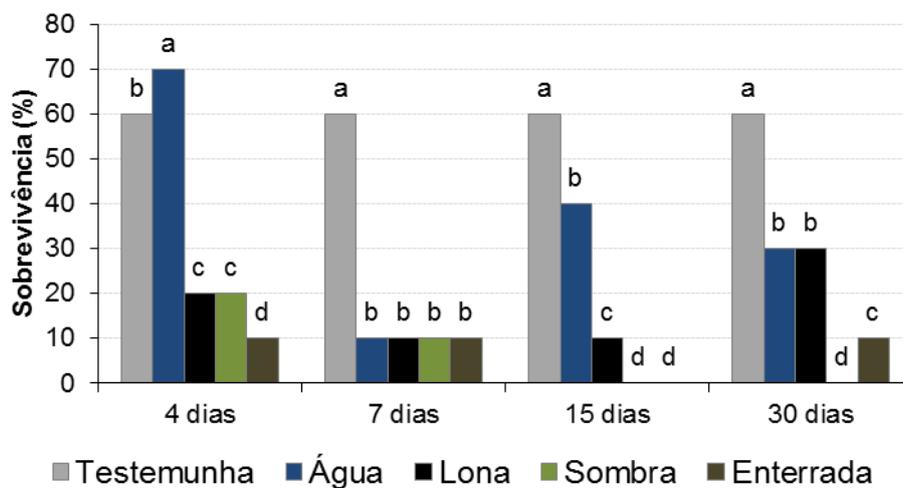
Figura 15. Índice de sobrevivência do *L. elegans*.

Os resultados para a *L. elegans*, apresentaram variações estatísticas entre os tratamentos, e os melhores resultados foram nos tratamentos parcialmente submerso em água, envolvidas em lona plástica preta e parcialmente enterradas após quatro dias (100%); parcialmente enterradas após sete dias (100%) e parcialmente submersas em água após 15 dias (100%). Os piores resultados foram para os tratamentos à sombra após 15 e 30 dias, que apresentaram índice de sobrevivência de 70%, que, no entanto ainda pode ser considerado satisfatório para a Engenharia Natural.

4.1.3. *Sesbania virgata* (Cav.) Pers.

Para a espécie *S. virgata*, o índice de sobrevivência da testemunha apresentou um valor de 60%, e para os tratamentos e períodos de tempo variou entre 0% e 70% em todos os tratamentos e períodos.

Os resultados da espécie podem ser observados na Figura 16. A análise de médias foi realizada pelo teste de Tukey, com nível de 5% de significância. Resultados seguidos das mesmas letras não apresentam diferenças significativas entre si.

Figura 16. Índice de sobrevivência do *S. virgata*.

A *S. virgata* apresentou diferenças estatísticas entre os tratamentos, com grandes diferenças entre os resultados. O único tratamento que apresentou resultado satisfatório face ao índice mínimo de viabilidade proposto (70%) foi o tratamento parcialmente submerso na água após quatro dias. Os piores resultados foram nos tratamentos empilhadas à sombra e enterradas após 15 dias e no tratamento à sombra após 30 dias, que apresentaram sobrevivência nula. Este resultado pode estar relacionado com fitossanidade das plantas matrizes a partir da qual as estacas foram coletadas, uma vez que durante a condução do experimento foi detectada a presença de brocas (Figura 17).

Figura 17. Presença de brocas nas estacas de *S. virgata*.

Para tal é importante repetir os testes de armazenamento para esta espécie, atentando à fitossanidade das plantas matrizes, evitando desta forma que fatores externos possam influenciar os resultados finais. Desta forma a espécie *S. virgata* não deve ser descartada quanto à sua capacidade de propagação após armazenamento, com base em um único experimento.

4.2. ANÁLISE DA MASSA SECA DE RAÍZES E BROTOS

Além das análises do índice de sobrevivência, foram efetuados testes complementares para os valores de massa seca de brotos e raízes coletados. A análise de dados de massa seca foi feita utilizando valores médios obtidos por testemunhas e tratamentos para cada período de armazenamento. O valor serve apenas como complemento do índice de sobrevivência, porém a quantidade de massa seca pode servir como medidor de biomassa, que por vez pode ser relacionada ao vigor da planta.

4.2.1. *Phyllanthus sellowianus* (Klotzsch) Müll.Arg.

A análise de dados de massa seca de brotos de *P. sellowianus* (Tabela 1) não apresentou diferença significativa entre tratamentos para os períodos de quatro e sete dias, porém para 15 dias houve diferença significativa entre as testemunhas e as estacas parcialmente enterradas e para 30 dias houve diferença significativa entre estacas vivas parcialmente enterradas e estacas vivas empilhadas à sombra e parcialmente submersas em água.

Tabela 1. Massa seca média de brotos em gramas (g).

<i>Phyllanthus sellowianus</i> (Klotzsch) Müll.Arg.				
Tipo de armazenamento	Dias de armazenamento			
	4	7	15	30
Testemunha	1.84 a	1.84 a	1.84 a	1.84 ab
Água	1.66 a	2.08 a	1.72 ab	0.66 c
Lona	2.27 a	2.13 a	1.62 ab	2.00 ab
Sombra	1.34 a	1.29 a	0.85 ab	1.17 bc
Enterrada	1.34 a	1.98 a	0.61 b	2.98 a

A análise de dados de massa seca de raízes de *P. sellowianus* (Tabela 1) não apresentou diferença significativa entre tratamentos para os períodos de quatro e sete dias, porém para 15 dias houve diferença significativa entre as testemunhas e estacas

empilhadas à sombra e parcialmente enterradas e para 30 dias ocorreram diferenças significativas entre estacas parcialmente enterradas e estacas parcialmente submersas em água e as estacas empilhadas à sombra.

Tabela 2. Massa seca média de raízes em gramas (g).

<i>Phyllanthus sellowianus</i> (Klotzsch) Müll.Arg.				
Tipo de armazenamento	Dias de armazenamento			
	4	7	15	30
Testemunha	0.30 a	0.30 a	0.30 a	0.30 ab
Água	0.38 a	0.34 a	0.15 ab	0.04 c
Lona	0.45 a	0.34 a	0.19 ab	0.30 ab
Sombra	0.27 a	0.23 a	0.12 b	0.16 bc
Enterrada	0.31 a	0.29 a	0.08 b	0.41 a

4.2.2. *Ludwigia elegans* (Cambess) H. Hara.

A análise de dados de massa seca de brotos de *L. elegans* (Tabela 3) para quatro dias de armazenamento, apresentou diferença significativa entre as testemunhas e estacas parcialmente enterradas, para sete e 15 dias de armazenamento não apresentou diferença significativa entre os tratamentos e para 30 dias apresentou diferença significativa entre as estacas parcialmente submersas em água e estacas empilhadas à sombra.

Tabela 3. Massa seca média de brotos em gramas (g).

<i>Ludwigia elegans</i> (Cambess) H. Hara				
Tipo de armazenamento	Dias de armazenamento			
	4	7	15	30
Testemunha	1.96 a	1.96 a	1.96 a	1.96 ab
Água	1.20 ab	1.37 a	1.87 a	2.40 a
Lona	1.45 ab	0.83 a	1.26 a	1.18 ab
Sombra	1.12 ab	1.31 a	1.20 a	0.73 b
Enterrada	0.71 b	1.38 a	1.19 a	1.77 ab

A análise de dados de massa seca de raízes de *L. elegans* (Tabela 4), não apresentou diferença significativa entre os tratamentos para nenhum dos períodos de armazenamento.

Tabela 4. Massa seca média de raízes em gramas (g).

<i>Ludwigia elegans</i> (Cambess) H. Hara				
Tipo de armazenamento	Dias de armazenamento			
	4	7	15	30
Testemunha	0.53 a	0.53 a	0.53 a	0.53 a
Água	0.40 a	0.25 a	0.32 a	0.67 a
Lona	0.39 a	0.15 a	0.20 a	0.32 a
Sombra	0.20 a	0.29 a	0.24 a	0.22 a
Enterrada	0.22 a	0.33 a	0.28 a	0.50 a

4.2.3. *Sesbania virgata* (Cav.) Pers.

A análise de dados de massa seca de brotos de *S. virgata* (Tabela 5) não apresentou diferença significativa entre os tratamentos para nenhum dos períodos de armazenamento, apesar de não ter emitido brotos em nenhuma das repetições de estacas empilhadas à sombra no período de 30 dias de armazenamento.

Tabela 5. Massa seca média de brotos em gramas (g).

<i>Sesbania virgata</i> (Cav.) Pers.				
Tipo de armazenamento	Dias de armazenamento			
	4	7	15	30
Testemunha	0.48 a	0.48 a	0.48 a	0.48 a
Água	0.39 a	0.22 a	0.75 a	0.48 a
Lona	0.29 a	0.26 a	0.52 a	0.22 a
Sombra	0.34 a	0.30 a	0.19 a	.
Enterrada	0.05 a	0.18 a	0.08 a	0.50 a

A análise de dados de massa seca de raízes de *S. virgata* (Tabela 6) não apresentou diferença significativa entre os tratamentos para os períodos de quatro, sete e 30 dias, porém apresentou diferença significativa entre estacas envolvidas por lona plástica preta e estacas parcialmente submersas em água e parcialmente enterradas para os 15 dias. Para os períodos de 15 e 30 dias, as estacas empilhadas à sombra não emitiram raízes.

Tabela 6. Massa seca média de raízes em gramas (g).

<i>Sesbania virgata</i> (Cav.) Pers.				
Tipo de armazenamento	Dias de armazenamento			
	4	7	15	30
Testemunha	0.19 a	0.19 a	0.19 ab	0.19 a
Água	0.07 a	0.03 a	0.08 b	0.08 a
Lona	0.06 a	0.28 a	0.51 a	0.08 a
Sombra	0.02 a	0.01 a	.	.
Enterrada	0.23 a	0.05 a	0.03 b	0.09 a

5 CONCLUSÃO

Como objetivo principal o experimento teve respostas positivas para as espécies *Phyllanthus sellowianus* e *Ludwigia elegans*, demonstrando que ambas apresentam viabilidade de propagação vegetativa após todos os tratamentos e períodos de armazenamento testados.

A espécie *Phyllanthus sellowianus* apresentou para todos os tratamentos e períodos de armazenamento índice de sobrevivência superior aos valores recomendados como satisfatórios para espécies utilizadas em obras de Engenharia Natural. A *Ludwigia elegans*, apresentou resultados de índice de sobrevivência superiores aos valores recomendados para todos os tratamentos e períodos de armazenamento, com exceção dos tratamentos à sombra após 15 e 30 dias, que apresentaram índice de sobrevivência de 70% (considerado satisfatório para a Engenharia Natural).

Para estas duas espécies qualquer dos tratamentos e períodos de armazenamento testados são viáveis, o que permite concluir-se que numa obra de Engenharia Natural estas espécies podem ser armazenadas durante 30 dias e dependendo das condições do local da obra o armazenamento das estacas vivas poderá ser feito parcialmente submerso, enterrado, envolvidas em lona plástica preta ou simplesmente empilhadas à sombra, sem perda de viabilidade reprodutiva. Estes resultados também indicam que provavelmente estas duas espécies podem ser armazenada durante um período de tempo superior a 30 dias sem perder viabilidade reprodutiva, no entanto deverão ser realizados testes e pesquisas que confirmem esta hipótese.

Para a espécie *Sesbania virgata* os resultados não foram positivos, podendo estar relacionados a fatores externos não avaliados ou ainda afetados pelo aparecimento de

brocas. A espécie não deve ser descartada sem a realização de mais pesquisas que confirmem a sua capacidade de armazenamento.

Os valores obtidos de massa seca de brotos e raízes são complementares aos resultados de índice de sobrevivência e necessitam de mais estudos para estabelecerem resultados conclusivos.

A metodologia de pesquisa teve baixo custo de execução por reutilizar materiais de pesquisa pertencentes ao LabEN e pode facilmente ser replicada para outras espécies.

Para trabalhos futuros recomenda-se que sejam realizados outros testes com períodos de armazenamento maiores, por exemplo, 60 dias. Deverá ser testada novamente a espécie *Sesbania virgata*, bem como outras espécies nativas que já têm o seu potencial biotécnico confirmado e que são comumente utilizadas em obras de Engenharia Natural, mas do qual se desconhece a capacidade de armazenamento. No entanto algumas observações devem ser notadas, como a verificação de fatores da planta indicativos de perda de vigor ou pragas presentes nas plantas matrizes.

6 REFERENCIAL BIBLIOGRÁFICO

ALVARES, C. A. *et al.* Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift*, p. 711–728, 1 dez. 2013.

BERTUZZI, T. *et al.*. O gênero *Ludwigia* L. (Onagraceae) no município de Santa Maria, Rio Grande do Sul, Brasil. *Ciência e Natura, UFSM*, v.33, n. 1, p. 43 - 73, 2011.

BOELCKE O. *Plantas Vasculares de la Argentina Nativas y Exóticas*. Buenos Aires, 1981.

CADONÁ, S. C. **Armazenamento de propágulos vegetativos usados como material de construção em intervenções de Engenharia Natural**. Dissertação de Mestrado—Santa Maria, Brasil: Universidade Federal de Santa Maria, 2014.

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

CORNELINI, P.; SAULI, G. **Manuale di Indirizzo delle Scelte Progettuali per Interventi di Ingegneria Naturalistica**. Roma, Itália: Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio, Direzione Generale per la Difesa del Suolo, Progetto Operativo Difesa Suolo (PODIS), 2005.

DURLO, M.; SUTILI, F. **Bioengenharia - Manejo biotécnico de cursos de água**. 3^a ed. Santa Maria: Pallotti, 2014.

EUBANKS, E.; MEADOWS, D. **A Soil Bioengineering Guide for Streambank and Lakeshore Stabilization**. U.S. Department of Agriculture, Forest Service, San Dimas Technology and Development Center ed. California, USA: [s.n.].

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

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* 58 (2): 363-378. 2007.

GOULART, P. B.; XAVIER, A. Efeito do tempo de armazenamento de miniestacas no enraizamento de clones de *Eucalyptus grandis* x *E. urophylla*. *Revista Árvore*, v.32, n.4, p.671-677, 2008.

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

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**. Trabalho de conclusão de curso—Santa Maria, Brasil: Universidade Federal de Santa Maria, 2014.

MENEGAZZI, G.; PALMERI, F. **Il Dimensionamento delle Opere di Ingegneria Naturalistica**. Roma, Itália: Regione Lazio, 2013.

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

MORGAN, R. P. C.; RICKSON, R. J. **Slope stabilization and erosion control - A bioengineering approach**. 1ª ed. London, UK: Chapman & Hall, 1995.

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

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

REITZ, P. R. (Org.). *Flora Ilustrada Catarinense*. Itajaí: Herbário Barbosa Robrigues, 1988.

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.

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

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

SHINGO, S. **O sistema Toyota de Produção do ponto de vista da Engenharia de Produção**. 2.ed, Porto Alegre:Bookman, 2007.

SOUSA, R. S. **Metodologia para especificação de plantas com potencial biotécnico em Engenharia Natural**. Dissertação de Mestrado—Santa Maria, Brasil: Universidade Federal de Santa Maria, 2015.

SOUSA, R. S. et al. **Plantas para Engenharia - Caracterização biotécnica de plantas para o emprego de técnicas de Engenharia Natural no controle de erosão, estabilização de taludes e perenização de cursos de água - Bioma Mata Atlântica**. 1ª ed. Santa Maria, Brasil: [s.n.].

WATERWAYS RESTORATION INSTITUTE AND URBAN CREEKS COUNCIL. **Stream Bioengineering Workshop Handbook: Using Natural Materials and Non-Structural Techniques to Combat Soil Erosion and Restore Creeks**. Berkeley, USA: [s.n.].