

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

**INFLUÊNCIA DO ÂNGULO DE PLANTIO NA
PROPAGAÇÃO VEGETATIVA DE ESPÉCIES
UTILIZADAS EM ENGENHARIA NATURAL**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Josita Soares Monteiro

Santa Maria, RS, Brasil

2009

**INFLUÊNCIA DO ÂNGULO DE PLANTIO NA
PROPAGAÇÃO VEGETATIVA DE ESPÉCIES
UTILIZADAS EM ENGENHARIA NATURAL**

por

Josita Soares Monteiro

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. Miguel Antônio Durlo

Santa Maria, RS, Brasil

2009

Monteiro, Josita Soares, 1983

M775i

Influência do ângulo de plantio na propagação vegetativa de espécies utilizadas em engenharia natural / por Josita Soares Monteiro; orientador Miguel Antão Durlo. - Santa Maria, 2009. 109 f.; il.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Santa Maria, Centro de Ciências Rurais, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, RS, 2009.

1. Engenharia florestal 2. *Phyllanthus sellowianus* 3. *Salix humboldtiana* 4. *Sebastiania schottiana* 5. Propagação vegetativa 6. Estaquia 7. Engenharia natural I. Durlo, Miguel Antão II. Título

CDU: 631.535

Ficha catalográfica elaborada por
Luiz Marchiotti Fernandes – CRB 10/1160
Biblioteca Setorial do Centro de Ciências Rurais/UFSM

© 2009

Todos os direitos reservados a Josita Soares Monteiro. Permitida a cópia total ou parcial deste documento, desde que citada a fonte – O autor.

Endereço: Rua Marechal Floriano Peixoto, n. 498, 402. Santa Maria, RS.

Fone: (0xx55) 9627.7381; Endereço Eletrônico: jositasm@yahoo.com.br

**Universidade Federal de Santa Maria
Centro de Ciências Rurais
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal**

A Comissão Examinadora, abaixo assinada,
aprova a Dissertação de Mestrado

**INFLUÊNCIA DO ÂNGULO DE PLANTIO NA
PROPAGAÇÃO VEGETATIVA DE ESPÉCIES
UTILIZADAS EM ENGENHARIA NATURAL**

elaborada por
Josita Soares Monteiro

como requisito parcial para a obtenção do grau de
Mestre em Engenharia Florestal

Comissão Examinadora:

Miguel Antão Durlo, Dr.
(Presidente/Orientador)

Ana Paula Moreira Rovedder, Dr. (UERGS)

Fabício Jaques Sutili, Dr. (UFSM/CESNORS)

Santa Maria, 20 de abril de 2009.

Este trabalho é dedicado, com amor, aos meus pais –

Tereza e Jucevelte

AGRADECIMENTOS

Agradecer nem sempre é fácil, não pela dificuldade de reconhecer quem merece agradecimento, mas pela dificuldade de mencionar tantas pessoas - sem lapso - que, de uma forma ou de outra, tiveram participação para a realização deste trabalho. Por isso gostaria de expressar minha gratidão a todos e de forma especial:

- ao meu orientador, Prof. Miguel Antão Durlo, pela oportunidade e a valiosa orientação, bem como pelos ensinamentos transmitidos pelo convívio;

- ao Prof. Delmar A. Bressan, pela confiança e incentivo sempre através de suas ternas palavras;

- ao Prof. José N. C. Marchiori, pela oportunidade de convívio com profissional de admirável conhecimento e domínio da palavra;

- ao Prof. Ivanor Müller pelo auxílio nas análises estatísticas e pela disponibilidade em integrar a banca examinadora;

- à Prof. Maristela Araújo, por disponibilizar as instalações do Laboratório de Silvicultura Juarez Martins Hoppe;

- aos demais professores da UFSM, em especial aos integrantes do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal;

- aos funcionários do Laboratório de Silvicultura, Gervásio, Maria, Hélio e João, pela atenção e presteza e, ao Nelson e à Tita, funcionários do Departamento de Ciências Florestais;

- ao senhor Luiz, pelo auxílio nas normas técnicas e na elaboração da ficha catalográfica;

- à Universidade Federal de Santa Maria, pelas oportunidades proporcionadas;

- à CAPES, pela bolsa de estudos, o que viabilizou a realização deste trabalho;

- ao Eng^o Ftal Dr. Fabrício Sutili, pelas informações, o estímulo para a conclusão do trabalho, bem como por aceitar ser membro da banca examinadora;

- à Eng^o Ftal Dr^a. Ana Paula Rovedder, pelo carinho com que aceitou fazer parte da banca examinadora;

- à amiga e (agora) colega Eng^o Florestal Michele Leite pela colaboração e dedicação durante o experimento e, ao André Langes, que sempre esteve disposto a colaborar;

- à amiga Charlotte (e família), pelo apoio e incentivo em todos os momentos e principalmente pela amizade de tantos anos;

- às (aos) amigas (os) Angelita (Gel), Marta, Fernanda, Catize, Nádia, Suzana, Kênia, Micheli, Francisca, Jorge e Gerônimo, pela amizade e companheirismo;

- aos amigos e colegas de pós-graduação Artur Soligo (e esposa), Paulo Floss (e esposa), Erni Milani (e esposa), Dane Block e Diego Golle, pela amizade e coleguismo;

- à Gisiane (Gi) e Lucieli (Lu), minha família em Santa Maria! Agradeço por sempre estarem prontas a ouvir, pelo ombro amigo, pela paciência, pela compreensão e pelos inúmeros momentos de alegria;

- ao meu namorado, André, pelo amor, carinho, compreensão e pelo incentivo para que eu sempre tivesse serenidade e confiança;

- à minha família, Tereza e Jucevelte (meus pais), Gilnei (meu irmão), Viviane (minha cunhada) e Gabriel (meu sobrinho e afilhado), pelo carinho, confiança, estímulo e amor incondicional. Obrigada por tudo o que sempre fizeram por mim e principalmente pelo exemplo de humildade, respeito, responsabilidade e caráter.

RESUMO

Dissertação de Mestrado
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal
Universidade Federal de Santa Maria

INFLUÊNCIA DO ÂNGULO DE PLANTIO NA PROPAGAÇÃO VEGETATIVA DE ESPÉCIES UTILIZADAS EM ENGENHARIA NATURAL

AUTORA: Josita Soares Monteiro

ORIENTADOR: Miguel Antão Durlo

Data e Local de Defesa: Santa Maria, 20 de abril de 2009.

A vegetação a ser empregada em técnicas propostas pela engenharia natural ou bioengenharia de solos necessita preencher alguns requisitos relacionados a aspectos ecológicos, fitossociológicos e de reprodução. As técnicas de engenharia natural utilizam as plantas em diferentes ângulos em relação ao terreno. Por esta razão, o presente trabalho tem por objetivo avaliar os efeitos de diferentes ângulos de plantio de estacas de *Phyllanthus sellowianus* Müll. Arg., *Salix humboldtiana* Willd. e *Sebastiania schottiana* (Müll. Arg.) Müll. Arg., a fim de determinar a forma mais adequada para o plantio destas espécies. O experimento foi conduzido no Laboratório de Silvicultura, na Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), Santa Maria, Rio Grande do Sul, no período de agosto a novembro de 2007. Os tratamentos consistiram no plantio de estacas das três espécies, em três ângulos diferentes de plantio em relação ao terreno (10°, 30° e 90°). As estacas com 30 cm de comprimento, com diâmetro variável de 1,0 a 4,5 cm, foram coletadas no final de agosto, na região central do estado do Rio Grande do Sul. Dois terços da base das estacas foram inseridos em substrato inerte (areia). O delineamento experimental foi o inteiramente casualizado, com 30 repetições por tratamento. Após 30 e 60 dias, foram observados os seguintes parâmetros: número de estacas brotadas, número e comprimento dos brotos, e, aos 90 dias, além destes parâmetros, foram determinados a sobrevivência, o comprimento, o diâmetro, a massa seca dos brotos e o comprimento, a massa seca e o volume das raízes. Os dados foram analisados estatisticamente através de programas estatísticos e Excel. *Sebastiania schottiana* não apresentou brotação, nem enraizamento, o que talvez possa ser explicado pela época de coleta das estacas, devendo ser testada em outras épocas do ano. O ângulo de plantio mostrou influência sobre algumas variáveis para *Phyllanthus sellowianus* e *Salix humboldtiana*. Ambas as espécies apresentaram altos valores de sobrevivência, com tendência de maiores resultados para estacas plantadas em ângulo de 10° e 90° para *Phyllanthus sellowianus* (100%) e em ângulo de 30° para *Salix humboldtiana* (87%). Observaram-se correlações significativas entre as variáveis da parte aérea e do sistema radicial e a área da seção transversal das estacas, para os diferentes ângulos de plantio. As duas espécies apresentaram a maioria das raízes localizadas na base das estacas, exceto para as estacas plantadas em ângulo de 30°, as quais tiveram as raízes distribuídas ao longo de toda a porção enterrada. Sugere-se a realização de novos estudos com outras espécies e também com outros ângulos de plantio, assim como a utilização de maior amplitude diamétrica.

Palavras-chave: *Phyllanthus sellowianus*; *Salix humboldtiana*; *Sebastiania schottiana*; propagação vegetativa; estaquia; engenharia natural.

ABSTRACT

Mastership Dissertation
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal
Universidade Federal de Santa Maria

INFLUENCE OF THE PLANTING ANGLE IN THE VEGETATIVE PROPAGATION OF USED SPECIES IN NATURAL ENGINEERING

AUTHOR: Josita Soares Monteiro

ADVISOR: Miguel Antão Durlo

Defense Date and Place: Santa Maria, April 20th, 2009

The vegetation to be employed in techniques proposed by the natural engineering or soil bioengineering needs to fill out some requisites related to ecological, phytosociological and of reproduction aspects. The techniques in natural engineering use the plants in different angles in relation to the land. For this reason, the present work aims to evaluate the effects of different angles of stem cuttings planting of *Phyllanthus sellowianus* Müll. Arg., *Salix humboldtiana* Willd. and *Sebastiania schottiana* (Müll. Arg.) Müll. Arg., in order to determine the most suitable form to the planting of these species. The experiment was conducted in the Laboratory of Silviculture, in the Federal University of Santa Maria (UFSM), Santa Maria, Rio Grande do Sul, in the period of August to November of 2007. The treatments consisted in the three species of stem cuttings planting, in three different angles of planting in relation to the land (10°, 30° and 90°). The stem cuttings with 30 cm of length, with variable diameter from 1.0 to 4.5 cm, were collected in the central region of the state of the Rio Grande do Sul, in the final of August month. Two thirds of the stem cutting's bases were inserted in inert substrate (sand). The experimental design was completely randomized, with 30 repetitions for treatment. After 30 and 60 days, the following parameters were observed: the number of sprouted stem cuttings, number and length of the sprouts, and after 90 days, besides these parameters, were determined the survival, the length, the diameter, and the dry mass of the shoots, and also the length, the diameter, the dry mass and the volume of the roots. The data were statistically analyzed through the statistical programs and Excel. *Sebastiania schottiana* did not present sprouting, not even rooting, which perhaps could be explained by the stem cuttings time of collection, where that should be tested in other periods of year. The planting angle showed influence on some variables for *Phyllanthus sellowianus* and *Salix humboldtiana*. Both the species presented high values of survival, with a tendency for major results for stem cuttings planted in angle of 10° and 90° for *Phyllanthus sellowianus* (100%) and in angle of 30° for *Salix humboldtiana* (87%). Significant correlations were observed between the variables of the air part and of the radicial system and the area of transverse section of the stem cuttings, for the different planting angles. Both the two species presented the majority of the roots located on the basis of the stem cuttings, except for the ones planted in angle of 30°, which had the roots distributed along the whole buried portion. The realization of new studies is suggested with other species and also with another angles of planting, as well as the use of bigger diametric breadth.

Keywords: *Phyllanthus sellowianus*; *Salix humboldtiana*; *Sebastiania schottiana*; vegetative propagation; cuttings; soil bioengineering.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 - Estado do Rio Grande do Sul (RS) com seus principais cursos de água, em destaque a cidade de Santa Maria (SM), local do experimento (Fonte: Sutili, 2007).....	40
FIGURA 2 - Precipitação observada durante a condução do experimento. Fonte: Estação Meteorológica de da UFSM. Santa Maria, RS. 2007.....	41
FIGURA 3 - Temperatura observada durante a condução do experimento. Fonte: Estação Meteorológica de da UFSM. Santa Maria, RS. 2007.....	42
FIGURA 4 - Vegetação original do Rio Grande do Sul (Fonte: Quadros; Pillar, 2002, adaptado por Sutili, 2007).....	42
FIGURA 5 - Exemplos de <i>Salix humboldtiana</i> Willd., no Campus da Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS. (Foto: Josita S. Monteiro).....	44
FIGURA 6 - Exemplos de <i>Phyllanthus sellowianus</i> Müll. Arg., Quarta Colônia, RS. (Foto: Fabrício Sutili).....	44
FIGURA 7 - Exemplos de <i>Sebastiania schottiana</i> (Müll. Arg.) Müll. Arg., no distrito de Passo do Verde, Santa Maria, RS. (Foto: Josita S. Monteiro).....	45
FIGURA 8 - Distribuição do diâmetro na base da estaca (cm) para <i>Phyllanthus sellowianus</i> , <i>Salix humboldtiana</i> e <i>Sebastiania schottiana</i>	46
FIGURA 9 - Vista frontal da caixa de madeira mostrando as estacas nas inclinações de 90°, 30° e 10°.....	47
FIGURA 10 - Dimensões da caixa de madeira (vista superior), com a distribuição dos diferentes tratamentos nas unidades experimentais.....	47
FIGURA 11 - Caixa de madeira e suas dimensões, com areia e estacas plantadas. (Foto: Josita S. Monteiro).....	48

FIGURA 12 - Estacas de <i>Phyllanthus sellowianus</i> (90°) sendo retiradas da areia com auxílio de água corrente. (Foto: Josita S. Monteiro).....	48
FIGURA 13 - Vista da caixa no momento da implantação das estacas, com as dimensões da unidade experimental e as distâncias entre as estacas.....	50
FIGURA 14 - Número de estacas vivas para <i>Phyllanthus sellowianus</i> para os três ângulos de plantio aos 90 dias. As barras seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey em nível de 5% de probabilidade de erro.....	55
FIGURA 15 - Número de estacas vivas para <i>Salix humboldtiana</i> nos três ângulos de plantio aos 90 dias. As barras seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey em nível de 5% de probabilidade de erro.....	56
FIGURA 16 - Número de estacas brotadas de <i>Phyllanthus sellowianus</i> aos 30, 60 e 90 dias para cada ângulo de plantio. Valores seguidos da mesma letra, entre os diferentes ângulos de plantio no mesmo período de medição, não diferem entre si pelo teste de Tukey em nível de 5% de probabilidade de erro.....	57
FIGURA 17 - Número de estacas brotadas de <i>Salix humboldtiana</i> aos 30, 60 e 90 dias para cada ângulo de plantio. Valores seguidos da mesma letra, entre os diferentes ângulos de plantio no mesmo período de medição, não diferem entre si pelo teste de Tukey em nível de 5% de probabilidade de erro.....	57
FIGURA 18 - Média do diâmetro de brotos (mm) de <i>Phyllanthus sellowianus</i> e <i>Salix humboldtiana</i> para os diferentes ângulos de plantio. Médias seguidas de mesma letra, para cada espécie, não diferem entre si pelo teste de Tukey em nível de 5% de probabilidade de erro.....	63
FIGURA 19 - Média da massa seca dos brotos (g) de <i>Phyllanthus sellowianus</i> e <i>Salix humboldtiana</i> para os diferentes ângulos de plantio. Médias seguidas de mesma letra, para cada espécie, não diferem entre si pelo teste de Tukey em nível de 5% de probabilidade de erro.....	64
FIGURA 20 - Distribuição de freqüência absoluta da massa seca dos brotos (g) de <i>Phyllanthus sellowianus</i> para os diferentes ângulos de plantio.....	65
FIGURA 21 - Distribuição de freqüência absoluta da massa seca dos brotos (g) de <i>Salix humboldtiana</i> para os diferentes ângulos de plantio.....	65

FIGURA 22 - Número de raízes por metro de estaca enterrada de <i>Phyllanthus sellowianus</i> e <i>Salix humboldtiana</i> para os três ângulos de plantio. Médias seguidas de mesma letra, para cada espécie, não diferem entre si pelo teste de Tukey em nível de 5% de probabilidade de erro.....	67
FIGURA 23 - Distribuição de frequência absoluta do comprimento de raízes (cm) de <i>Phyllanthus sellowianus</i> para os diferentes ângulos de plantio.....	70
FIGURA 24 - Distribuição de frequência absoluta do comprimento de raízes (cm) de <i>Salix humboldtiana</i> para os diferentes ângulos de plantio.....	71
FIGURA 25 - Comprimento da raiz mais longa (cm) de <i>Phyllanthus sellowianus</i> e <i>Salix humboldtiana</i> para os diferentes ângulos de plantio.....	72
FIGURA 26 - Diâmetro médio da raiz mais longa (mm) de <i>Phyllanthus sellowianus</i> e <i>Salix humboldtiana</i> para os diferentes ângulos de plantio. Médias seguidas de mesma letra, para cada espécie, não diferem entre si pelo teste de Tukey em nível de 5% de probabilidade de erro.....	73
FIGURA 27 - Média da massa seca das raízes (g) de <i>Phyllanthus sellowianus</i> e <i>Salix humboldtiana</i> para os diferentes ângulos de plantio. Médias seguidas de mesma letra, para cada espécie, não diferem entre si pelo teste de Tukey em nível de 5% de probabilidade de erro.....	74
FIGURA 28 - Distribuição das raízes nas estacas de <i>Phyllanthus sellowianus</i> para os três ângulos de plantio.....	76
FIGURA 29 - Distribuição das raízes nas estacas de <i>Salix humboldtiana</i> para os três ângulos de plantio.....	77
FIGURA 30 - Número de brotos em função da área da seção transversal das estacas de <i>Phyllanthus sellowianus</i> para o ângulo de plantio de 10°.....	80
FIGURA 31 - Soma do comprimento dos brotos em função da área da seção transversal das estacas de <i>Phyllanthus sellowianus</i> para o ângulo de plantio de 10°.....	80
FIGURA 32 - Massa seca e volume das raízes em função do número de brotos de <i>Phyllanthus sellowianus</i> para o ângulo de plantio de 10°.....	83
FIGURA 33 - Comprimento da raiz mais longa, massa seca e volume das raízes em função da soma do comprimento dos brotos de <i>Phyllanthus sellowianus</i> para o ângulo de plantio de 10°.....	83

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 - Número de brotos de <i>Phyllanthus sellowianus</i> para os diferentes ângulos de plantio, aos 30, 60 e 90 dias.....	58
TABELA 2 - Número de brotos de <i>Salix humboldtiana</i> para os diferentes ângulos de plantio, aos 30, 60 e 90 dias.....	59
TABELA 3 - Comprimento médio de brotos (cm) de <i>Phyllanthus sellowianus</i> para os três ângulos de plantio aos 30, 60 e 90 dias.....	60
TABELA 4 - Comprimento médio de brotos (cm) de <i>Salix humboldtiana</i> para os três ângulos de plantio aos 30, 60 e 90 dias.....	61
TABELA 5 - Somatório do comprimento de brotos (cm) de <i>Phyllanthus sellowianus</i> para os três ângulos de plantio aos 30, 60 e 90 dias.....	61
TABELA 6 - Somatório do comprimento de brotos (cm) de <i>Salix humboldtiana</i> para os três ângulos de plantio aos 30, 60 e 90 dias.....	62
TABELA 7 - Comprimento médio de raízes (cm) de <i>Phyllanthus sellowianus</i> e <i>Salix humboldtiana</i> para os diferentes ângulos de plantio.	68
TABELA 8 - Soma de comprimento de raízes (cm) por metro de estaca enterrada de <i>Phyllanthus sellowianus</i> e <i>Salix humboldtiana</i> para os diferentes ângulos de plantio...	69
TABELA 9 - Médias do comprimento da raiz mais longa (cm) de <i>Phyllanthus sellowianus</i> e <i>Salix humboldtiana</i> para os diferentes ângulos de plantio.....	73
TABELA 10 - Volume de raízes (cm ³) de <i>Phyllanthus sellowianus</i> e <i>Salix humboldtiana</i> para os diferentes ângulos de plantio.....	75
TABELA 11 - Número de estacas e número de raízes de <i>Phyllanthus sellowianus</i> distribuídas ao longo ou na base das estacas, por tratamento.....	76
TABELA 12 - Número de estacas e número de raízes de <i>Salix humboldtiana</i> distribuídas ao longo ou na base das estacas, por tratamento.....	77

TABELA 13 - Comparação da brotação e enraizamento de <i>Phyllanthus sellowianus</i> e <i>Salix humboldtiana</i> sem considerar os ângulos de plantio.....	78
TABELA 14 - Modelos de regressão e coeficientes de determinação para algumas variáveis de brotação em função da área da seção transversal da estaca para <i>Phyllanthus sellowianus</i> e <i>Salix humboldtiana</i>	81
TABELA 15 - Modelos de regressão e coeficientes de determinação para o número e a massa seca das raízes em função da área da seção transversal da estaca para <i>Phyllanthus sellowianus</i> e <i>Salix humboldtiana</i>	82
TABELA 16 - Modelos de regressão e coeficientes de determinação para variáveis do sistema radicial em função da massa seca dos brotos para <i>Phyllanthus sellowianus</i> em ângulo de 10°	84
TABELA 17 - Modelos de regressão e coeficientes de determinação para variáveis do sistema radicial em função da soma do comprimento dos brotos de <i>Phyllanthus sellowianus</i> para o ângulo de plantio de 30°	84
TABELA 18 - Modelos de regressão e coeficientes de determinação para variáveis do sistema radicial em função da massa seca dos brotos para <i>Phyllanthus sellowianus</i> em ângulo de 30°	85
TABELA 19 - Modelos de regressão e coeficientes de determinação para variáveis do sistema radicial em função da soma do comprimento dos brotos para <i>Phyllanthus sellowianus</i> em ângulo de 90°	85
TABELA 20 - Modelos de regressão e coeficientes de determinação para variáveis do sistema radicial em função da massa seca dos brotos para <i>Phyllanthus sellowianus</i> em ângulo de 90°	86
TABELA 21 - Modelos de regressão e coeficientes de determinação para variáveis do sistema radicial em função do número e da soma do comprimento dos brotos para <i>Salix humboldtiana</i> em ângulos de 10°, 30° e 90°	87

LISTA DE ANEXOS

ANEXO A - Laudo de solos.....	96
-------------------------------	----

LISTA DE APÊNDICES

APÊNDICE A - Análise da variância para a comparação do número de brotos de <i>Phyllanthus sellowianus</i> entre os ângulos de plantio (10°, 30° e 90°) aos 30 dias.....	98
APÊNDICE B - Análise da variância para a comparação do número de brotos de <i>Phyllanthus sellowianus</i> entre os ângulos de plantio (10°, 30° e 90°) aos 60 dias.....	98
APÊNDICE C - Análise da variância para a comparação do número de brotos de <i>Phyllanthus sellowianus</i> entre os ângulos de plantio (10°, 30° e 90°) aos 90 dias.....	98
APÊNDICE D - Análise da variância para a comparação do comprimento médio de brotos de <i>Phyllanthus sellowianus</i> entre os ângulos de plantio (10°, 30° e 90°) aos 30 dias.....	98
APÊNDICE E - Análise da variância para a comparação do comprimento médio de brotos de <i>Phyllanthus sellowianus</i> entre os ângulos de plantio (10°, 30° e 90°) aos 60 dias.....	98
APÊNDICE F - Análise da variância para a comparação do comprimento médio de brotos de <i>Phyllanthus sellowianus</i> entre os ângulos de plantio (10°, 30° e 90°) aos 90 dias.....	98
APÊNDICE G - Análise da variância para a comparação da soma comprimento de brotos de <i>Phyllanthus sellowianus</i> entre os ângulos de plantio (10°, 30° e 90°) aos 30 dias.....	99
APÊNDICE H - Análise da variância para a comparação da soma comprimento de brotos de <i>Phyllanthus sellowianus</i> entre os ângulos de plantio (10°, 30° e 90°) aos 60 dias.....	99
APÊNDICE I - Análise da variância para a comparação da soma do comprimento de brotos de <i>Phyllanthus sellowianus</i> entre os ângulos de plantio (10°, 30° e 90°) aos 90 dias.....	99

APÊNDICE J - Análise da variância para a comparação da massa seca de brotos de <i>Phyllanthus sellowianus</i> entre os ângulos de plantio (10°, 30° e 90°) aos 90 dias.....	99
APÊNDICE K - Análise da variância para a comparação do diâmetro médio de brotos de <i>Phyllanthus sellowianus</i> entre os ângulos de plantio (10°, 30° e 90°) aos 90 dias.....	99
APÊNDICE L - Análise da variância para a comparação do número de brotos de <i>Salix humboldtiana</i> entre os ângulos de plantio (10°, 30° e 90°) aos 30 dias.....	99
APÊNDICE M - Análise da variância para a comparação do número de brotos de <i>Salix humboldtiana</i> entre os ângulos de plantio (10°, 30° e 90°) aos 60 dias.....	100
APÊNDICE N - Análise da variância para a comparação do número de brotos de <i>Salix humboldtiana</i> entre os ângulos de plantio (10°, 30° e 90°) aos 90 dias.....	100
APÊNDICE O - Análise da variância para a comparação do comprimento médio de brotos de <i>Salix humboldtiana</i> entre os ângulos de plantio (10°, 30° e 90°) aos 30 dias.....	100
APÊNDICE P - Análise da variância para a comparação do comprimento médio de brotos de <i>Salix humboldtiana</i> entre os ângulos de plantio (10°, 30° e 90°) aos 60 dias.....	100
APÊNDICE Q - Análise da variância para a comparação do comprimento médio de brotos de <i>Salix humboldtiana</i> entre os ângulos de plantio (10°, 30° e 90°) aos 90 dias.....	100
APÊNDICE R - Análise da variância para a comparação da soma comprimento de brotos de <i>Salix humboldtiana</i> entre os ângulos de plantio (10°, 30° e 90°) aos 30 dias.....	100
APÊNDICE S - Análise da variância para a comparação da soma comprimento de brotos de <i>Salix humboldtiana</i> entre os ângulos de plantio (10°, 30° e 90°) aos 60 dias.....	101
APÊNDICE T - Análise da variância para a comparação da soma do comprimento de brotos de <i>Salix humboldtiana</i> entre os ângulos de plantio (10°, 30° e 90°) aos 90 dias.....	101

APÊNDICE U - Análise da variância para a comparação da massa seca de brotos de <i>Salix humboldtiana</i>	101
APÊNDICE V - Análise da variância para a comparação do diâmetro médio de brotos de <i>Salix humboldtiana</i> entre os ângulos de plantio (10°, 30° e 90°) aos 90 dias.....	101
APÊNDICE W - Análise da variância para a comparação do número de raízes por metro de estaca enterrada de <i>Phyllanthus sellowianus</i> entre os ângulos de plantio (10°, 30° e 90°).....	101
APÊNDICE X - Análise da variância para a comparação da soma do comprimento de raízes (m), por metro de estaca enterrada de <i>Phyllanthus sellowianus</i> entre os ângulos de plantio (10°, 30° e 90°).....	101
APÊNDICE Y - Análise da variância para a comparação do comprimento médio de raízes (cm) de <i>Phyllanthus sellowianus</i> entre os ângulos de plantio (10°, 30° e 90°)....	102
APÊNDICE Z - Análise da variância para a comparação do comprimento médio da raiz mais longa (cm) de <i>Phyllanthus sellowianus</i> entre os ângulos de plantio (10°, 30° e 90°) aos 90 dias.....	102
APÊNDICE AA - Análise da variância para a comparação da massa seca de raízes (g) de <i>Phyllanthus sellowianus</i> entre os ângulos de plantio (10°, 30° e 90°).....	102
APÊNDICE AB - Análise da variância para a comparação do diâmetro médio da raiz mais longa (mm) de <i>Phyllanthus sellowianus</i> entre os ângulos de plantio (10°, 30° e 90°).....	102
APÊNDICE AC - Análise da variância para a comparação do volume de raízes (cm ³) de <i>Phyllanthus sellowianus</i> entre os ângulos de plantio (10°, 30° e 90°).....	102
APÊNDICE AD - Análise da variância para a comparação do número de raízes por metro de estaca enterrada de <i>Salix humboldtiana</i> entre os ângulos de plantio (10°, 30° e 90°).....	102
APÊNDICE AE - Análise da variância para a comparação da soma do comprimento de raízes (m) por metro de estaca enterrada de <i>Salix humboldtiana</i> entre os ângulos de plantio (10°, 30° e 90°).....	103
APÊNDICE AF - Análise da variância para a comparação do comprimento médio de raízes (cm) de <i>Salix humboldtiana</i> entre os ângulos de plantio (10°, 30° e 90°).....	103

APÊNDICE AG - Análise da variância para a comparação do comprimento médio da raiz mais longa (cm) de <i>Salix humboldtiana</i> entre os ângulos de plantio (10°, 30° e 90°) aos 90 dias.....	103
APÊNDICE AH - Análise da variância para a comparação da massa seca de raízes (g) de <i>Salix humboldtiana</i> entre os ângulos de plantio (10°, 30° e 90°).....	103
APÊNDICE AI - Análise da variância para a comparação do diâmetro médio da raiz mais longa (mm) de <i>Salix humboldtiana</i> entre os ângulos de plantio (10°, 30° e 90°).....	103
APÊNDICE AJ - Análise da variância para a comparação do volume de raízes (cm ³) de <i>Salix humboldtiana</i> entre os ângulos de plantio (10°, 30° e 90°).....	103
APÊNDICE AK - Análise da variância para a comparação do número de brotos de <i>Phyllanthus sellowianus</i> e <i>Salix humboldtiana</i> , sem considerar os ângulos de plantio.....	104
APÊNDICE AL - Análise da variância para a comparação da soma do comprimento de brotos de <i>Phyllanthus sellowianus</i> e <i>Salix humboldtiana</i> , sem considerar os ângulos de plantio.....	104
APÊNDICE AM - Análise da variância para a comparação da massa seca de brotos de <i>Phyllanthus sellowianus</i> e <i>Salix humboldtiana</i> , sem considerar os ângulos de plantio.....	104
APÊNDICE AN - Análise da variância para a comparação do número de raízes de <i>Phyllanthus sellowianus</i> e <i>Salix humboldtiana</i> , sem considerar os ângulos de plantio.....	104
APÊNDICE AO - Análise da variância para a comparação da soma do comprimento de raízes de <i>Phyllanthus sellowianus</i> e <i>Salix humboldtiana</i> , sem considerar os ângulos de plantio.....	104
APÊNDICE AP - Análise da variância para a comparação da massa seca de raízes de <i>Phyllanthus sellowianus</i> e <i>Salix humboldtiana</i> , sem considerar os ângulos de plantio.....	104
APÊNDICE AQ - Análise da variância para a comparação do comprimento da raiz mais longa de <i>Phyllanthus sellowianus</i> e <i>Salix humboldtiana</i> , sem considerar os ângulos de plantio.....	105

APÊNDICE AR - Análise da variância para a comparação do volume de raízes de <i>Phyllanthus sellowianus</i> e <i>Salix humboldtiana</i> , sem considerar os ângulos de plantio.....	105
APÊNDICE AS - Relação entre a área da seção transversal das estacas de <i>Phyllanthus sellowianus</i> e <i>Salix humboldtiana</i> e a parte aérea.....	106
APÊNDICE AT - Relação entre a área da seção transversal das estacas de <i>Phyllanthus sellowianus</i> e <i>Salix humboldtiana</i> e as variáveis do sistema radicial.....	106
APÊNDICE AU - Matriz de correlação de Pearson entre as variáveis de <i>Phyllanthus sellowianus</i> para o ângulo de 10°.....	107
APÊNDICE AV - Matriz de correlação de Pearson entre as variáveis de <i>Phyllanthus sellowianus</i> para o ângulo de 30°.....	107
APÊNDICE AW - Matriz de correlação de Pearson entre as variáveis de <i>Phyllanthus sellowianus</i> para o ângulo de 90°.....	108
Apêndice AX - Matriz de correlação de Pearson entre as variáveis de <i>Salix humboldtiana</i> para o ângulo de 10°.....	108
Apêndice AY - Matriz de correlação de Pearson entre as variáveis de <i>Salix humboldtiana</i> para o ângulo de 30°.....	109
APÊNDICE AZ - Matriz de correlação de Pearson entre as variáveis de <i>Salix humboldtiana</i> para o ângulo de 90°.....	109

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO/JUSTIFICATIVA.....	21
1.1 Objetivos.....	23
1.1.1 Objetivo geral.....	23
1.1.2 Objetivos específicos.....	23
2 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	24
2.1 Cursos de água.....	24
2.1.1 Considerações gerais.....	24
2.1.2 Processos fluviais e estabilização de taludes.....	24
2.2 Manejo de cursos de água.....	25
2.2.1 Considerações gerais.....	25
2.2.2 Ferramentas utilizadas no manejo de cursos de água.....	26
2.3 Engenharia natural.....	27
2.3.1 Definição e benefícios.....	27
2.3.2 Obras empregadas.....	28
2.4 Propriedades biotécnicas da vegetação.....	29
2.4.1 Considerações gerais.....	29
2.4.2 Influência da vegetação sobre o solo e os cursos de água.....	29
2.4.3 Requisitos para a seleção de espécies.....	30
2.5 Aspectos reprodutivos das plantas.....	31
2.5.1 Considerações gerais.....	31
2.5.2 Fisiologia da reprodução vegetativa de plantas.....	32
2.5.3 Fatores que afetam a propagação vegetativa.....	33
2.5.4 Vantagens da reprodução vegetativa.....	35
2.6 Caracterização das espécies.....	36
2.6.1 <i>Phyllanthus sellowianus</i> Müll. Arg.....	36
2.6.2 <i>Salix humboldtiana</i> Willd.....	37

2.6.3 <i>Sebastiania schottiana</i> (Müll. Arg.) Müll. Arg.	38
3 MATERIAIS E MÉTODOS.....	40
3.1 Caracterização da área de estudo.....	40
3.2 Coleta das estacas.....	43
3.3 Instalação e condução do experimento.....	46
3.4 Delineamento experimental.....	49
3.5 Variáveis analisadas.....	51
3.6 Análise estatística dos dados.....	52
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	54
4.1 Estatística descritiva.....	54
4.1.1 Sobrevivência.....	54
4.1.2 Brotação primária.....	56
4.1.2.1 Ritmo de brotação.....	56
4.1.2.2 Número de brotos.....	58
4.1.2.3 Comprimento dos brotos.....	60
4.1.2.4 Diâmetro dos brotos.....	63
4.1.2.5 Massa seca dos brotos.....	64
4.1.3 Enraizamento primário.....	66
4.1.3.1 Número de raízes.....	66
4.1.3.2 Comprimento de raízes.....	68
4.1.3.3 Comprimento e diâmetro da raiz mais longa.....	72
4.1.3.4 Massa seca das raízes.....	74
4.1.3.5 Volume de raízes.....	75
4.1.3.6 Distribuição das raízes.....	75
4.2 Comparações entre as espécies.....	78
4.3 Estatística inferencial.....	79
4.3.1 Relação entre a parte aérea e a área da seção transversal das estacas.....	79
4.3.2 Relação entre o sistema radicial e a área da seção transversal das estacas.....	81
4.3.3 Relação entre a parte aérea e a radicial.....	82
5 CONCLUSÕES.....	88
6 RECOMENDAÇÕES.....	89
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	90
ANEXOS.....	95
APÊNDICES.....	97

1 INTRODUÇÃO/JUSTIFICATIVA

As feições da paisagem estão em constante modificação devido à ação permanente de forças internas e externas à crosta terrestre. As primeiras alteram a superfície terrestre, por arqueamentos, por terremotos e por atividades vulcânicas. As forças externas, por seu turno, agem na superfície, através de erosões, transporte e deposição de materiais intemperizados, por meio de agentes como a água, o vento, a gravidade, os animais e o homem.

Um dos agentes externos mais relevantes na modelagem da paisagem é a água. Esta está diretamente relacionada a processos de erosão e instabilidade de encostas. A água, ao escorrer na superfície, provoca, especialmente em cursos de água, a escavação, o transporte e a sedimentação de materiais.

O processo de remodelagem dos cursos de água pode ser observado pelas lentas, mas constantes redefinições naturais dos canais e dos leitos tanto em seu perfil longitudinal quanto transversal.

Alguns dos agentes externos que operam de maneira a desestabilizar as margens de cursos de água podem, até certo ponto, ser influenciados por medidas preventivas, mitigadoras ou corretivas. Essas medidas são executadas pelo próprio homem que, portanto, também deve ser considerado agente modelador da paisagem.

A coletânea sistemática de conhecimentos sobre propriedades da vegetação, métodos e formas de intervenção com vista à estabilização de áreas, utilizando basicamente produtos naturais e vegetação compõe um campo especial da ciência conhecido como bioengenharia ou engenharia de solos ou, mais propriamente, engenharia natural. A engenharia natural preconiza o uso de vegetação sozinha ou combinada com materiais inertes, sendo as plantas ou partes destas vistas como elementos estruturais que devem conferir estabilidade às áreas tratadas.

Quando comparadas aos métodos tradicionais, as técnicas de engenharia natural apresentam diversos benefícios, como:

- vantagens econômicas, por fazer uso de materiais simples existentes no local a ser tratado;
- vantagens técnicas, pois são de fácil emprego, não requerem maquinários especiais e dispensam dimensionamento estático;

- vantagens ecológicas e paisagísticas, visto que conferem estabilidade ao talude mantendo a morfologia típica do canal e utilizam, sempre que possível, a vegetação existente no local e materiais biodegradáveis que acabam por se integrar à paisagem.

Neste contexto, grande parte do sucesso no uso das técnicas de engenharia natural recai, portanto, na escolha de espécies vegetais que apresentem características biotécnicas adequadas para cada situação específica.

Dentre as características biotécnicas desejadas, destaca-se o rápido crescimento, com o desenvolvimento de sistema radicial que, pelo comprimento, volume ou resistência das raízes, suporta as diferentes solicitações mecânicas e biológicas que costumam ocorrer nos taludes dos cursos de água. A parte aérea, por sua vez, deve ter capacidade de brotar após danos ao ápice ou outras partes da planta e suportar o vergamento, a submersão temporária e o aterramento parcial.

A engenharia natural é bastante utilizada na Europa, mais intensamente na Áustria, Alemanha, Suíça e norte da Itália, bem como nos Estados Unidos e Canadá. No Brasil, ainda é pouco empregada: seus princípios são ainda pouco conhecidos e a falta de conhecimento sobre as características biotécnicas da vegetação local dificulta a realização de trabalhos desta natureza.

Assim, o presente estudo tem como objetivo geral a ampliação dos conhecimentos relacionados às características biotécnicas de *Phyllanthus sellowianus* Mull. Arg., *Salix humboldtiana* Willd. e *Sebastiania schottiana* (Mull. Arg.) Mull. Arg., espécies que, em trabalhos anteriores realizados por Altreiter e Plunger (2004), Sutili (2004), Durlo e Sutili (2005), Vargas (2007), Denardi (2007) e Sutili (2007), apresentaram-se promissoras para a estabilização de taludes fluviais e recuperação de cursos de água.

A engenharia natural recomenda várias técnicas em que o material vegetal ora é utilizado na posição vertical, ora na posição horizontal ou ainda formando diferentes ângulos com o terreno. Assim, esta investigação visa a testar as seguintes hipóteses:

H₀: o ângulo de plantio da estaca em relação ao solo não tem influência sobre comportamento da parte aérea e do sistema radicial da planta;

H₁: o ângulo de plantio da estaca em relação ao solo influencia o comportamento da parte aérea e do sistema radicial da planta.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo geral

Produzir informações que permitam verificar a influência do ângulo de plantio de estacas em relação ao solo sobre o comportamento da parte aérea e do sistema radicial de *Phyllanthus sellowianus* Mull. Arg., *Salix humboldtiana* Willd. e *Sebastiania schottiana* (Mull. Arg.) Mull. Arg., a fim de determinar a forma mais adequada para a estaquia destas espécies.

1.1.2 Objetivos específicos

1) Verificar a influência do plantio de estacas nos ângulos de 10°, 30° e 90° em relação ao solo, sobre o comportamento de *Phyllanthus sellowianus* Mull. Arg., *Salix humboldtiana* Willd. e *Sebastiania schottiana* (Mull. Arg.) Mull. Arg., aos 30, 60 e 90 dias após o plantio, através da análise da:

- sobrevivência;
- brotação primária (número, comprimento, diâmetro e massa das brotações), e;
- enraizamento primário (número, comprimento, diâmetro, volume e massa de raízes);

2) Verificar se há correlações entre as dimensões das estacas e o comportamento da parte aérea e radicial;

3) Verificar se há correlações entre o desenvolvimento da parte aérea e o da parte radicial.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Cursos de água

2.1.1 Considerações gerais

Os rios podem ser vistos como artérias dos ecossistemas que compõem a sua bacia de drenagem (SCHWARZBOLD, 2000). O autor menciona, ainda, que um curso de água é um sistema aberto, formado por elementos bióticos e abióticos com atuações interligadas, de fluxo energético multidirecional, mesmo tendo o direcionamento mais marcante no sentido do escoamento do fluxo. O limite do sistema é a própria bacia hidrográfica, com delimitações de entradas e saídas. Expressando-se de outra forma (NETTO, 2001) afirma que a área da superfície terrestre que drena água, sedimentos e materiais dissolvidos para uma mesma saída, num determinado ponto do canal fluvial, compreende a bacia de drenagem ou bacia hidrográfica.

O conjunto de canais fluviais interligados, escoando em direção comum, é denominado de rede de drenagem fluvial (DURLO; SUTILI, 2005).

O comportamento de uma rede de drenagem fluvial depende de inúmeras variáveis relacionadas a fatores físicos, como tamanho, forma, declividade e cobertura vegetal da bacia de captação (SUTILI; DURLO; BRESSAN, 2004).

O reconhecimento profundo destes aspectos é importante para a compreensão do dinamismo dos processos fluviais e para a adoção de técnicas adequadas de correção e estabilização de cursos de água (DURLO; SUTILI, 2005).

2.1.2 Processos fluviais e estabilização de taludes

A água é um dos elementos físicos mais importantes na composição da paisagem. Dentre as múltiplas funções da água, destaca-se o papel de agente modelador do relevo da superfície terrestre (NETTO, 2001).

De modo similar, Durlo e Sutili (2005) salientam que a água está ligada aos processos fluviais de erosão, transporte e sedimentação, determinando a estabilidade das encostas.

O escoamento das águas em determinada área inicia em pequenas ravinas, passa para córregos e segue adiante por meio de rios. Neste percurso, o fluxo pode ocasionar erosão e assoreamento tanto no próprio leito, como em áreas de cultivo e produzir danos em obras de infra-estrutura e edificações (DURLO, 2000).

De acordo com Sutili, Durlo e Bressan (2004), os cursos de água têm seu comportamento influenciado também pela quantidade, intensidade e duração das precipitações, por fatores como o tipo de solo, sua profundidade e seu teor de umidade em determinado momento, pela cobertura vegetal de sua bacia de captação, bem como pelas características técnicas da cobertura vegetal de suas margens. As ações antrópicas precedentes e as praticadas recentemente interagem com esses fatores.

De maneira involuntária ou intencional, o homem pode exercer influência sobre os processos dos cursos de água: erosão, transporte e sedimentação. Assim, determinadas forças exógenas podem ser influenciadas pelas ações humanas, com certa facilidade e em curto prazo, tornando-se instrumentos para o controle dos processos fluviais e estabilização de encostas (DURLO; SUTILI, 2004). Os mesmos autores mencionam que a estabilização de uma margem pode ser alcançada por meio de alterações em características como a profundidade e velocidade da água, a tensão de erosão suportada pelo leito e a cobertura vegetal do talude. Tais características podem ser alteradas através de pequenas intervenções físicas no leito e canal, como remodelagem dos taludes, implantação de diversos tipos de obras transversais e longitudinais, modificação da largura e profundidade, suavização das curvas. Essas intervenções podem ser apoiadas ou não por medidas vegetativas (DURLO; SUTILI, 2005).

2.2 Manejo de cursos de água

2.2.1 Considerações gerais

Segundo Denardi (2007), os taludes fluviais são áreas muito susceptíveis a perturbações, sendo o local de inúmeros de eventos indesejáveis como desmoronamentos,

assoreamentos, corrosão nas margens e queda de árvores. Isto ocorre freqüentemente porque a força da água, a vegetação, a ação antrópica, entre outros fatores, são alterados de forma negativa.

Conhecidos os diferentes mecanismos e formas de manifestações da erosão, especialmente junto aos corpos de água, cabe buscar técnicas para evitar, atenuar ou combater seus efeitos indesejáveis (DURLO; SUTILI, 2005).

Para tanto, apenas medidas corretivas locais muitas vezes não são suficientes para solucionar, de forma definitiva, os problemas existentes. Por exemplo, para a estabilização da erosão marginal em pequeno trecho, pode-se tornar necessário intervir em outros pontos do leito e, por vezes, até mesmo em toda a bacia de recepção.

2.2.2 Ferramentas utilizadas no manejo de cursos de água

A fim de conseguir a estabilidade de encostas marginais e controlar a dinâmica de erosão, transporte e sedimentação, comuns em cursos de água, devem-se buscar soluções simples que, associadas a uma visão mais ampla da bacia hidrográfica, promovam melhorias estéticas, ecológicas e produtivas dessas áreas (SUTILI; DURLO; BRESSAN, 2004).

Conforme Durlo e Sutili (2005) os métodos disponíveis para o manejo de cursos de água são separados em dois grupos distintos: *manejo passivo* e *manejo ativo de cursos de água*.

No manejo passivo de cursos de água, não há interferência direta na fisiografia fluvial, enquanto que, no manejo ativo, são feitas diversas modificações físicas no canal (produzindo retificação, suavização das curvas, eliminação de empecilhos ao livre fluir da água) e no leito (modificando características de seu perfil longitudinal e transversal, como a inclinação, a profundidade, a largura e características dos taludes).

Enquadram-se, no manejo passivo de cursos de água, as ações preventivas feitas geralmente para a bacia hidrográfica como um todo, visando a interferir indiretamente no comportamento hídrico. Essas ações consistem, basicamente, na alocação das diferentes atividades (econômicas) em harmonia com as características ecológicas (edáficas, hidrológicas e topográficas) dos diferentes locais.

Os mesmos autores afirmam ainda que dentre as medidas tomadas pelo manejo passivo de cursos de água estão o isolamento de faixa marginal e a proteção da regeneração

natural. O isolamento da faixa marginal está previsto na Lei nº 4.771 de 15/09/1965 (Código Florestal Brasileiro).

A proteção da regeneração natural consiste, sobretudo, no compromisso de não efetuar roçadas, queimas, capinas e de não usar herbicidas e similares na faixa de isolamento marginal. Exceção a este preceito deveria ser conferida às ações que venham a contribuir para o estabelecimento e desenvolvimento de espécies de características biotécnicas mais desejáveis (DURLO; SUTILI, 2005).

No manejo ativo de cursos de água, as ações direcionam-se a áreas relativamente pequenas, que apresentam problemas mais intensos. Este grupo engloba as atividades de limpeza dos leitos, além de medidas biotécnicas que utilizam obras longitudinais e transversais isoladas ou combinadas, além do recapeamento vegetal das margens (DURLO; SUTILI, 2005), valendo-se de diferentes métodos de plantio.

2.3 Engenharia natural

2.3.1 Definição e benefícios

A engenharia biotécnica, bioengenharia ou engenharia natural vale-se de técnicas biológicas, sendo as plantas ou parte destas usadas como material vivo de construção. Sozinhas ou combinadas com materiais inertes, tais plantas devem proporcionar estabilidade às áreas em tratamento, como encostas naturais ou artificiais de terrenos e margens de cursos de água (SCHIECHTL; STERN, 1992). Na engenharia natural, portanto, as plantas são vistas como elementos estruturais para a estabilização de terrenos.

A engenharia natural é uma ferramenta importante, pois, além da solução técnica, apresenta vantagens ecológicas, econômicas e estéticas quando comparada às construções tradicionais (ARAÚJO; ALMEIDA; GUERRA, 2005).

Segundo Durlo (2000), a essência da engenharia natural, quando usada em cursos de água, está na colocação adequada de materiais com alta velocidade limite de transporte, para a redução da velocidade da água nas posições onde já ocorreram ou onde existe maior probabilidade de ocorrência de problemas e no tratamento vegetativo de margens e bacias de captação dos referidos cursos. Durlo e Sutili (2004) salientam que as biotécnicas podem

produzir os efeitos individuais tanto de redução de velocidade de água, como de proteção dos taludes, ou mesmo os dois, simultaneamente.

O conhecimento das aptidões e dos limites das diferentes técnicas, bem como das características físicas particulares do local e do curso de água a ser tratado, é de grande valia. A escolha da biotécnica adequada depende também das características dos materiais construtivo e vegetal disponíveis na região (SUTILI, 2004).

2.3.2 Obras empregadas

Os trabalhos de engenharia natural, quando em cursos de água, podem ser divididos em longitudinais e transversais de acordo com a posição do material inerte empregado, em relação ao eixo do curso de água e de acordo com sua função. Estas obras podem ser construídas isoladamente ou em conjunto, para produzirem efeitos complementares umas às outras (DURLO; SUTILI, 2005).

As obras longitudinais não alteram a declividade do leito, tendo por função reconstruir, proteger e estabilizar os taludes fluviais. Tais efeitos podem ser alcançados através do revestimento vegetal e/ou físico das margens. Para tanto pode-se empregar râmprolas transversais ou longitudinais, revestimento parcial do leito por meio de tratamentos na linha da água (arranjo de pedras e troncos, cilindros inertes, feixes vivos e trança viva) e revestimento integral das margens (plantio de leivas, plantio em banquetas, trança viva, esteira viva e revestimento com madeira e blocos de pedras como paredes “Krainer” simples e duplas, além de gabiões e geotêxteis) (DURLO; SUTILI, 2005).

Conforme reportam Durlo e Sutili (2005), as obras transversais têm por objetivo reduzir a velocidade da água, modificando a inclinação do leito através da formação de um perfil de compensação, o qual pode ser proporcionado por obras transversais de consolidação (cinto basal simples, soleira, cinto basal saliente e barragens de consolidação) e obras transversais de retenção (barragem de retenção).

Além destes dois tipos de obras, também existem ações preparatórias, preventivas e emergenciais, as quais objetivam reduzir a velocidade da água e a declividade dos taludes para impedir que os problemas se agravem. Tais medidas consistem na remodelagem das barrancas, colocação e fixação temporária de materiais como galhos, troncos, árvores inteiras e/ou pedras em posições específicas das margens.

2.4 Propriedades biotécnicas da vegetação

2.4.1 Considerações gerais

As matas ciliares, em geral, são ecossistemas intensamente utilizados e degradados pelo homem. No entanto, a necessidade da manutenção e revitalização da vegetação ciliar é inquestionável, devido a suas importantes funções, pois seus efeitos não são apenas locais, mas influenciam na qualidade de vida de toda a população inserida em uma bacia hidrográfica (DAVIDE et al., 2000).

No entanto, a estabilidade de encostas pode ser afetada pela vegetação tanto de maneira positiva como negativa. Os benefícios de proteção ou de estabilização oferecidos pela vegetação dependem do tipo de vegetação e do tipo de processo de degradação da encosta (ARAÚJO; ALMEIDA; GUERRA, 2005).

De acordo com Sutili (2004) e Durlo e Sutili (2004) é possível encontrar alternativas para controlar os processos fluviais e manter e/ou recuperar a estabilidade de taludes utilizando as características técnicas da vegetação.

2.4.2 Influência da vegetação sobre o solo e os cursos de água

Styczen e Morgan (1995) ressaltam que a vegetação forma uma camada protetora entre a atmosfera e o solo. Afeta o ciclo hidrológico através da influência sobre a evapotranspiração da superfície terrestre, do solo e das rochas. Além disso, exerce influência no volume de água escoado e armazenado nos rios e lagos, no solo e nas reservas subterrâneas.

As funções hidrológicas e ecológicas exercidas pela vegetação que recobre taludes fluviais levaram diferentes autores ao consenso de que esta promove o tamponamento entre os cursos de água e as áreas próximas cultivadas, a recarga dos aquíferos subterrâneos através de canais formados no solo pelas raízes das plantas e a resistência do solo das margens de rios devido à malha formada pelas raízes (DAVIDE et al., 2000; CARPANEZZI, 2000). A vegetação também confere a melhoria nas condições de infiltração da água, na regularização

do regime hídrico, na proteção do solo e no fornecimento de abrigo e sustento para a fauna aquática e terrestre conforme salientam Soares e Perez Filho (1997).

Fiori e Carmignani (2001) afirmam que a cobertura vegetal desempenha importante papel na proteção do solo, e que o desmatamento ou abertura de clareiras pode promover não apenas erosão lenta, mas também movimentos coletivos de solo.

As raízes e os rizomas da vegetação integram o solo para produzir um material composto, de forma que as raízes atuem como fibras resistentes à tensão de tração, de compressão ou de cisalhamento. Especialmente a resistência ao cisalhamento do solo é, assim, aumentada pela presença das raízes, levando a que a ruptura por cisalhamento do solo que contém raízes envolva, necessariamente, a resistência à ruptura do sistema solo-raiz (FIORI; CARMIGNANI, 2001).

Enquanto os componentes do sistema radicular contribuem para a resistência mecânica do solo os componentes da parte aérea da vegetação - tronco, galhos e folhas - absorvem a energia dos agentes erosivos, que é reduzida até atingir o solo, (STYCZEN; MORGAN, 1995).

A devastação da vegetação ciliar compromete dezenas de milhares de rios e riachos: ocasiona assoreamento de seus leitos provocando inundações, alteração da piscosidade e redução da produção de alimentos e do potencial de lazer para as populações (BARBOSA; GISLER; ASPERTI, 1997).

2.4.3 Requisitos para a seleção de espécies

Várias espécies vegetais possuem características que podem ser utilizadas para controlar tecnicamente alguns processos fluviais, como erosões do fundo e das margens, deslizamentos, desmoronamentos e transporte de sedimentos (DURLO; SUTILI, 2005).

Segundo Durlo (2000), a vegetação possui características biotécnicas que podem ser essenciais para a estabilidade natural das margens dos rios.

Dentre as características biotécnicas desejáveis, Durlo e Sutili (2005) destacam: resistência à exposição parcial das raízes; resistência ao aterramento parcial; resistência ao apedrejamento (provindo de barrancas altas e declivosas); capacidade de brotar após quebra do ápice e danos à planta; crescimento rápido e sistema radicial que permita fixar o solo, quer pelo comprimento, volume ou resistência das raízes.

Outra característica importante da vegetação, mencionada por Denardi (2007), é a flexibilidade de caules e ramos, pois plantas com esta característica, em especial quando submetidas à força da correnteza, promovem a proteção dos taludes através da inclinação de sua parte aérea sobre os mesmos.

Assim, o material vegetal empregado precisa preencher alguns requisitos dependentes de cada situação particular de uso, considerando-se os aspectos ecológicos, fitossociológicos, reprodutivos e de aptidão biotécnica (SCHIECHTL, 1973; DURLO, 2000).

Quando se manejam cursos de água, geralmente, trabalha-se com sítios extremos, de modo que se faz necessário estabilizar, recuperar ou reabilitar áreas degradadas. Neste caso, o tipo de reprodução dos vegetais a serem empregados tem papel de fundamental importância. Desta forma, para vegetar certos ambientes, muitas vezes, torna-se imperativo o uso de espécies com reprodução vegetativa ao invés daquelas de reprodução sexuada (DURLO; SUTILI, 2005).

2.5 Aspectos reprodutivos das plantas

2.5.1 Considerações gerais

Como dito anteriormente, dentre as características biotécnicas, a reprodução das espécies vegetais é de fundamental importância, quando se deseja empregar plantas no controle de processos fluviais, bem como na estabilização de áreas não situadas em ambiente fluvial. Tal afirmação se deve ao fato que, em ambientes degradados, na dependência da magnitude da degradação, pode tornar-se impossível o uso da propagação germinativa, por exemplo, ou mesmo de determinados métodos da propagação vegetativa.

Assim, além da seleção das espécies adequadas, é imprescindível a escolha do método ideal para a reprodução destas espécies (FACHINELLO et al., 1994).

Segundo Fachinello et al. (1994), os métodos de propagação são divididos em dois tipos: sexuada, que se baseia no uso de sementes, e assexuada, baseada no uso de estruturas vegetativas, como gemas, estacas e rizomas. Ao escolher um ou outro método de propagação, deve-se optar por aquele que apresente baixo custo, fácil execução e que proporcione altos percentuais de pega das mudas.

2.5.2 Fisiologia da reprodução vegetativa de plantas

A propagação assexuada compreende a reprodução de plantas a partir de órgãos vegetativos. A técnica mais comumente utilizada tem sido o enraizamento de estacas (HARTMANN; KESTER, 1975; FACHINELLO et al., 1994; ASSIS; TEIXEIRA, 1998) da parte aérea ou da raiz, de gemas ou de outras estruturas especializadas (HARTMANN; KESTER, 1975; FACHINELLO et al., 1994). A estaquia é um dos métodos mais antigos de propagação vegetativa utilizados para o recobrimento de solos degradados (SCHIECHTL, 1973) e ainda constitui um dos mais importantes métodos para a multiplicação de plantas lenhosas (ASSIS; TEIXEIRA, 1998).

Por ser um método de reprodução vegetativa frequentemente usado na engenharia natural e praticado pelos viveiristas para manter a fidelidade genética e alcançar de forma mais rápida a propagação de plantas, é necessário compreender as bases fisiológicas e bioquímicas da formação da raiz adventícia (NAG et al., 2001).

O processo de enraizamento adventício pode ser dividido em três fases: indução (compreende o período em que ocorrem as primeiras modificações moleculares e bioquímicas precedendo mudanças morfológicas), iniciação (as divisões celulares iniciam, formam-se os meristemas de raiz e são formados os primórdios radiculares) e expressão (momento em que acontece o crescimento e a emergência das raízes na estaca) (KEVERS et al., 1997).

As auxinas parecem ser a principal classe de moléculas reguladoras que atuam sobre o processo de enraizamento (BLAKESLEY, 1994). A auxina é o primeiro hormônio de crescimento vegetal a ser considerado, ao qual se pode atribuir a capacidade de promover a divisão celular, o alongamento de segmentos de caules, a formação de raízes adventícias, além de outros fenômenos do desenvolvimento relacionados à ação do AIA (ácido indol-3-acético) (TAIZ; ZEIGER, 2004). As auxinas têm transporte unidirecional ou polar, ou seja, movem-se principalmente da extremidade apical para a basal (transporte basípeto) (AWAD; CASTRO, 1983; RAVEN; EVERT; CURTIS, 1996; TAIZ; ZEIGER, 2004).

O estado fisiológico das plantas doadoras também é relevante para a resposta ao enraizamento. Características relacionadas a este recurso são consideradas e manipuladas, como a idade da planta doadora (WILSON, 1999) e a posição na planta doadora de onde se retira a estaca (WASSNER; RAVETTA, 2000). Todos esses fatores parecem estar relacionados, pelo menos em parte, a alguns aspectos do metabolismo dos fitormônios (CORREA; FETT-NETO, 2004).

2.5.3 Fatores que afetam a propagação vegetativa

A capacidade de uma estaca emitir raízes é afetada por fatores endógenos e ambientais (FACHINELLO et al., 1994; CORREA; FETT-NETO, 2004). Os fatores internos são representados pela condição fisiológica da matriz, a idade da planta, o tipo de estaca, o período anual da coleta do propágulo, o potencial genético de enraizamento, a sanidade da planta e do propágulo, em si, o balanço hormonal e a oxidação de compostos fenólicos. Já os fatores externos compreendem a temperatura, a luz, a umidade, as características do substrato, o manuseio e o condicionamento. Fatores como genótipo, estresse hídrico, substâncias de reserva como carboidratos, nutrição mineral, condições de crescimento da planta (luz, temperatura), sazonalidade, substâncias reguladoras de crescimento e juvenilidade têm sido considerados como aqueles que apresentam efeitos mais relevantes no enraizamento (ASSIS; TEIXEIRA, 1998). O estudo destes aspectos pode auxiliar a caracterização de uma espécie como sendo de fácil ou de difícil enraizamento (FACHINELLO et al., 1994).

A época de coleta das estacas está mais relacionada às condições fisiológicas da planta do que a um período fixo do ano. Assim, as estacas podem ser classificadas quanto à época de coleta em herbáceas, quando coletadas no período de crescimento vegetativo (primavera/verão), quando os tecidos apresentam alta atividade meristemática e baixo grau de lignificação; em semilenhosas, quando obtidas no final do verão e início do outono, referindo-se a estacas com folhas e mais lignificadas que as estacas herbáceas; e em lenhosas, ao serem coletadas no período de dormência (inverno), quando as estacas apresentam a maior taxa de regeneração potencial e são altamente lignificadas (FACHINELLO et al., 1994).

O sucesso no plantio de estacas está, invariavelmente, ligado ao desenvolvimento radicial das mesmas. Portanto, é necessário observar não somente o percentual de enraizamento, mas também o número e o comprimento radicial (CORREA; FETT-NETO, 2004).

Como dito anteriormente, no subitem 2.5.2, a taxa de regeneração potencial ou a capacidade de uma planta se propagar vegetativamente por meio de estacas está diretamente relacionada às suas concentrações internas de hormônios, bem como à maneira como estes são distribuídos ao longo da planta, visto que as auxinas (principal classe de moléculas reguladoras do processo de enraizamento) têm transporte unidirecional ou polar, ou seja, movem-se principalmente da extremidade apical para a basal. (AWAD; CASTRO, 1983; RAVEN; EVERT; CURTIS, 1996; TAIZ; ZEIGER, 2004). Este gradiente longitudinal da

auxina da parte aérea até a raiz afeta vários processos do desenvolvimento, incluindo o alongamento do caule, a dominância apical, a cicatrização de lesões e a senescência foliar (TAIZ; ZEIGER, 2004).

Com base no exposto, pode-se julgar que a propagação de espécies de forma vegetativa, através de estacas, terá a formação de raízes adventícias afetada por esse gradiente de auxinas existente ao longo da estaca.

Em trabalhos de engenharia natural, Florineth (2004) aconselha o plantio inclinado para conseguir uma melhor distribuição das raízes na porção enterrada das estacas.

Segundo Schiechl (1973), foi demonstrado que os comprimentos das raízes aumentam, antes de tudo, em correspondência ao volume, ou seja, ao comprimento das estacas, quando estas têm diâmetro similar. No entanto, no caso de estacas colocadas verticalmente, não se nota uma influência tão marcante dos comprimentos de estacas, porque a rizocalina (auxina intermediária específica à iniciação de raízes) move-se em maior parte em direção basal. Devido a isto, as raízes formam-se próximo à superfície cortada, tanto para uma estaca longa, como para uma estaca de comprimento pequeno, a uma profundidade favorável, não mais exposta ao dessecamento.

No caso de estacas colocadas na posição horizontal, entretanto, desenvolve-se a raiz principal, em volta da qual pode aparecer um denso maço de raízes laterais robustas, as quais surgem no ponto mais baixo do local do corte. Porém, a estaca cria raízes também em outros pontos ao longo de todo o seu comprimento, que esteja recoberto de terra, de modo que a soma do comprimento das raízes resulta sensivelmente maior.

Várias técnicas recomendadas pela engenharia natural exigem que a vegetação ora seja utilizada na posição vertical, ora na posição horizontal ou ainda formando diferentes ângulos com o terreno. Para os cilindros vivos, por exemplo, os feixes de estacas são posicionados quase horizontalmente no terreno, enquanto nas esteiras vivas os ramos são implantados em ângulos entre 30° a 45° em relação à horizontal. Na trança viva, as estacas são usadas desde a posição paralela com a horizontal até ângulos de 45°, ao passo que, nas banquetas, o plantio geralmente é feito em pequenos ângulos entre 10° e 20°.

Quando se usa estacas como forma de propagação vegetativa a fim de estabilizar taludes, antes de selecionar o método biotécnico de estabilização, é fundamental conhecer a capacidade de pega do material vegetal, quando plantado em diferentes posições.

Em virtude do exposto, fica evidente a importância de se conhecer a influência do ângulo de plantio na propagação vegetativa das plantas, em especial quando se deseja utilizá-las em obras de engenharia natural para a recuperação de áreas degradadas.

2.5.4 Vantagens da reprodução vegetativa

Do ponto de vista da genética, o método de propagação vegetativa tem várias vantagens, sendo uma das mais importantes para a propagação de genótipos superiores (WASSNER; RAVETTA, 2000). Segundo Fachinello et al. (1994), a propagação vegetativa permite que se obtenham muitas plantas a partir de uma única planta matriz em curto espaço de tempo, além de ser uma técnica de baixo custo e de fácil execução.

Quando se trata do uso das plantas em obras de engenharia natural, a propagação vegetativa torna-se ainda mais importante. De acordo com Araújo; Almeida; Guerra (2005), as estacas compreendem o principal material vivo utilizado nos trabalhos.

Quando se deseja reproduzir espécies vegetais com intuito de recuperar áreas degradadas, um dos fatores relevantes é a forma de reprodução das plantas, pois, segundo Durlo e Sutili (2005), para revegetar certos habitats e na dependência dos métodos utilizados, muitas vezes torna-se imperativo o uso de espécies com reprodução vegetativa no lugar daquelas que só se reproduzem por sementes.

Conforme Vargas (2007), enquanto a reprodução por sementes pode encontrar dificuldades práticas como, por exemplo, má germinação ou indisponibilidade de sementes em quantidade e qualidade satisfatória (devido à ausência de um programa de coleta e dificuldades de armazenamento), a propagação vegetativa facilita a multiplicação de genótipos desejados e se pode chegar aos objetivos almejados de maneira mais rápida.

Por fim, ao passo que sementes e mudas são facilmente levadas pela água, as estacas empregadas em obras de engenharia natural contribuem para o reforço físico na estabilização imediata do solo, garantindo a maior possibilidade de sucesso destas obras e a conseqüente recuperação das áreas tratadas.

2.6 Caracterização das espécies

2.6.1 *Phyllanthus sellowianus* Müll. Arg

Integrante da família Phyllanthaceae (antes pertencente à família Euphorbiaceae) (SOUZA; LORENZI, 2005), é conhecido vulgarmente pelos nomes de sarandi e sarandi-branco (LOMBARDO, 1964).

É uma espécie originária do sul do Brasil, Uruguai e nordeste da Argentina, comum à margem dos rios (CABRERA et al., 1965). Trata-se de um arbusto que vive à margem dos rios e arroios, invadindo as águas, podendo estender-se por quilômetros (LOMBARDO, 1964).

Arbusto com 2 a 3 m de altura, glabro. Os ramos são compridos e angulados, muito divididos, delgados e sinuosos. Tem folhas alternas, elíptico-lanceoladas de 15 a 50 mm de comprimento, com nervuras laterais evidentes, planas, a face inferior pálida. Os pecíolos são curtos de 1,5 a 2 mm de comprimento, apresentando estípulas em suas bases (CABRERA et al., 1965).

As flores são dióicas, bastante numerosas, reunidas em fascículos nas axilas das folhas. Por isso, o seu nome deve-se a esta característica, ou seja, do grego *phyllos*: folhas e *anthos*: flor. Os frutos são cápsulas deprimido-globosas de 2,5 mm de diâmetro, e as sementes, quase lisas, pouco mais de 1 mm (BOELCKE, 1981; SMITH; DOWNS; KLEIN, 1988).

É uma planta de caule e ramos rijos, flexíveis, resiste às correntezas das águas provenientes de enchentes, sendo, por isso, indicada para fixar os terrenos contra as fortes correntezas das águas, motivo pelo qual pertence ao grupo das reófilas (SMITH; DOWNS; KLEIN, 1988).

Segundo Denardi (2007), as características que fazem de *Phyllanthus sellowianus* uma espécie bastante flexível e resistente à ruptura, comparado a outras espécies estudadas, é a presença de elevado número de fibras gelatinosas, de fibras septadas e de paredes espessas, de vasos de pequeno diâmetro (30 µm), além do maior número e largura dos raios.

Espécie adaptada às variações extremas de umidade e estio, por ser uma espécie heliófita e seletiva higrófila, até xerófila. Muito freqüente, característica e exclusiva das margens rochosas ou lodosas dos rios e ilhas, em praticamente todo o sul do Brasil, fixando-

se firmemente ao substrato, já que se desenvolve preferencialmente nos locais de corredeiras e cachoeiras dos rios (SMITH; DOWNS; KLEIN, 1988).

Sutuli (2004), testando espécies vegetais potenciais na recuperação de taludes, verificou que *Phyllanthus sellowianus* Müll. Arg. reproduz-se muito bem vegetativamente, o que pode ser observado pela sua capacidade de pega e, principalmente, por providenciar um grande número de raízes logo após o plantio (2 meses), revelando um enraizamento denso. O autor conclui, ainda, que essa característica e, em especial, a rapidez com que um grande número de raízes é produzido, coloca esta espécie entre as mais promissoras para o uso em engenharia natural.

2.6.2 *Salix humboldtiana* Willd.

A família *Salicaceae* tem distribuição predominante nas regiões temperadas e frias do Hemisfério Norte, raras espécies encontram-se nas regiões tropicais ou no Hemisfério Sul. Por isso, o salso-crioulo (*Salix humboldtiana*) representa uma exceção com ampla distribuição geográfica na América do Sul. Da família, *Salix humboldtiana* é a única espécie nativa do sul brasileiro (MARCHIORI, 2000). Difundida desde Minas Gerais até o Rio Grande do Sul, principalmente nas bacias do Rio Paraná, Uruguai até a Cordilheira dos Andes, constituindo uma das espécies mais característica das florestas ciliares, tanto no Planalto, Depressão Central, Bacia do Ibicuí, Escudo Rio-grandense como na Campanha Gaúcha (REITZ; KLEIN; REIS, 1988; LORENZI, 1992).

É conhecida vulgarmente como salgueiro, salso (REITZ; KLEIN; REIS, 1988), salseiro, salso-salseiro (RS), chorão (LORENZI, 1992) e salso-crioulo (MARCHIORI, 2000).

As espécies desta família possuem rápido crescimento e são particularmente indicadas para sítios muito úmidos ou solos pantanosos (MARCHIORI, 2000).

O *Salix humboldtiana* é uma árvore de porte médio (12 a 20 m), podendo apresentar o tronco reto, inclinado ou tortuoso, de 40 a 60 cm de diâmetro, podendo chegar até 90 cm de diâmetro, e copa ampla, de ramificação ascendente (LORENZI, 1992; MARCHIORI, 2000).

A casca, espessa e com profundas fissuras, é dura e de cor castanho-acinzentada. As folhas, alternas, simples, linear-lanceoladas ou falcadas, alcançam até 15 cm de comprimento por 1,5 cm de largura. Caducas, glabras e com pecíolos curtos (4 a 6 mm), apresentam ápice

acuminado, base aguda e margem serrada, com nervura central proeminente (MARCHIORI, 2000).

As flores, unissexuais e aperiantadas, reúnem-se em amentilhos pendentes na extremidade dos ramos novos. As sementes, muito pequenas, apresentam um tufo de pêlos sedosos esbranquiçados, responsáveis pela dispersão anemocórica (MARCHIORI, 2000). As sementes são muito leves (3.500.000 sementes por Kg), sendo que a viabilidade em armazenamento é curta, menos de 1 semana (LORENZI, 1992).

O aspecto ornamental da árvore adulta resulta, principalmente, do contraste entre a casca escuro-acinzentada e a cor variável da folhagem ao longo do período de crescimento: verde-clara no início da primavera, verde-escura durante o verão e amarelada no outono (MARCHIORI, 2000).

Proporciona grandes benefícios no controle da erosão e recomposição de áreas ciliares degradadas, indicada especialmente para reflorestamentos em margens de rios, barragens e açudes, visto que se caracteriza por ser uma planta pioneira adaptada a terrenos úmidos. Possui fácil reprodução por estaquia, sendo que a melhor época para a coleta de estacas é nos meses de julho a agosto (MARCHIORI, 2000; LORENZI, 1992).

Reitz; Klein; Reis (1988) afirmam que, em reflorestamentos em grande escala com esta espécie, a estaquia é o método de multiplicação vegetativo mais usado, oferecendo excelentes resultados, sobretudo se implantado no inverno.

2.6.3 *Sebastiania schottiana* (Müll. Arg.) Müll. Arg.

O gênero *Sebastiania* Spreng. compreende três espécies da Europa e cerca de 70 da América, em sua maioria do Brasil (PAX; HOFFMANN, 1912 apud MARCHIORI, 2000). Destacam-se *Sebastiania brasiliensis*, *Sebastiania commersoniana* e *Sebastiania schottiana*, por serem as mais comuns no Rio Grande do Sul.

No Rio Grande do Sul, conhecida vulgarmente por amarelo, sarandi ou sarandi-de-espinho, apresenta uma vasta dispersão na bacia do Prata e na região da Floresta Atlântica, ocorrendo desde Goiás, Minas Gerais e Rio de Janeiro até o Uruguai e nordeste da Argentina (MARCHIORI, 2000).

Smith; Downs; Klein (1988) menciona nomes vulgares como içaranduba, assobio-de-macaco e espinho-de-olho e reconhece duas variedades: a variedade *schottiana* e a variedade *angustifolia*, sendo esta distinta por apresentar folhas mais estreitas que a primeira.

Esta espécie é uma Euphorbiaceae, e Lombardo (1964) a denomina de sarandi-negro ou branquilha, apesar de o último ser aplicado, também, a outras espécies do mesmo gênero, como *S. brasiliensis* e *S. commersoniana*, estas, presumivelmente, sem importância biotécnica. Este autor descreve a *Sebastiania schottiana* como uma árvore de pouca altura, que cresce à margem de rios e arroios e até mesmo dentro da água.

É um arbusto totalmente glabro, de 3 a 3,5 m de altura, com ramos longos, pouco ramificados, espinescentes e muito flexíveis (MARCHIORI, 2000).

As folhas são lanceoladas, com extremidade obtusa, apresentam glândulas nas bordas próximo à base, de 8 a 14 mm de largura (LOMBARDO, 1964). As folhas são simples, alternas, de pecíolo curto (2 a 4 mm), membranáceas e variam de 1 a 5 cm de comprimento. Discolores e esbranquiçadas na face inferior, possuem de 7 a 10 nervuras secundárias evidentes, em cada lado da principal. As flores, pequenas e amareladas, são lançadas em espigas terminais, sobre raminhos muito curtos (1 a 2 cm). O fruto é uma cápsula globosa, de aproximadamente 5 mm de diâmetro (MARCHIORI, 2000).

É uma espécie heliófila, seletiva higrófila e altamente adaptada à reofilia, dispondo de um denso sistema radicial e caules rijos, embora flexíveis, capazes de suportar a força das águas nas enchentes. O amarelo cresce à margem de rios e até mesmo em cachoeiras. Como espécie reófila, assume grande importância ecológica, auxiliando na fixação de barrancos e perenização dos cursos d'água (MARCHIORI, 2000; SMITH; DOWNS; KLEIN, 1988).

próximos a 1700 mm, com chuvas distribuídas ao longo do ano. No entanto, pode ocorrer período de déficit hídrico nos meses de verão, que normalmente são quentes e secos. O município de Santa Maria apresenta a temperatura média do mês mais quente em torno de 24,8°C (janeiro), a temperatura média do mês mais frio ao redor de 14,1°C (julho) e a média anual oscila próximo dos 19°C (MORENO, 1961).

As Figuras 2 e 3 mostram as variações de precipitação e temperatura no período de condução do experimento (agosto a dezembro de 2007).

No decorrer do experimento, os volumes de chuva mantiveram-se dentro ou até um pouco abaixo da média esperada para a região nesta época do ano, com exceção dos meses de setembro e dezembro, que apresentaram volumes de chuva superior a 200 mm (Figura 2). Como as chuvas nem sempre foram bem distribuídas ao longo dos meses, as estacas receberam regas sempre que necessário. Nas semanas sem chuva, as regadas eram feitas diariamente.

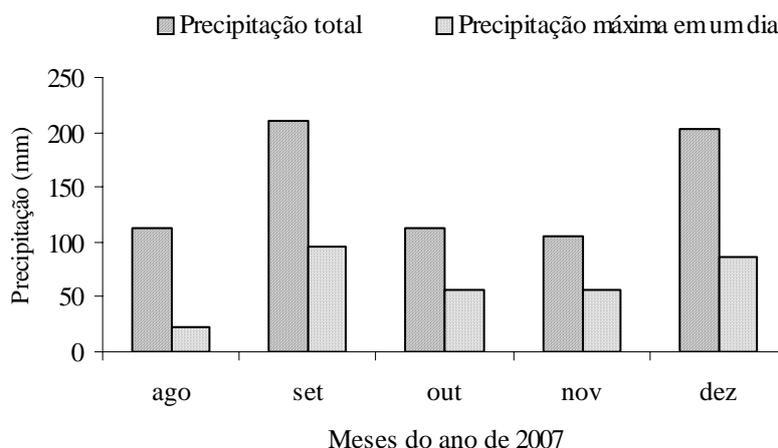


Figura 2 - Precipitação observada durante a condução do experimento. Fonte: Estação Meteorológica da UFSM. Santa Maria, RS. 2007.

No mês de agosto, apesar da precipitação não ter sido tão elevada, as regas puderam ser mais moderadas, em função de que a temperatura manteve-se amena durante os dias deste mês (Figura 3). Já nos meses seguintes, em virtude do aumento da temperatura, com médias em torno dos 20°C e máximas acima dos 25°C, as regas tiveram que ser intensificadas.

A vegetação da região central do RS pode ser dividida em Floresta Estacional Decidual, campos (Figura 4), além de existirem florestas de galeria ao longo dos cursos de água.

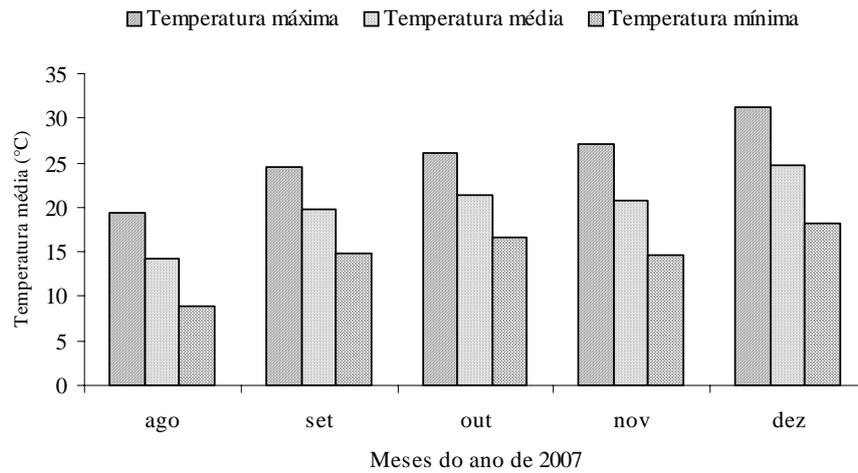


Figura 3 - Temperatura observada durante a condução do experimento. Fonte: Estação Meteorológica da UFSM, Santa Maria, RS, 2007.

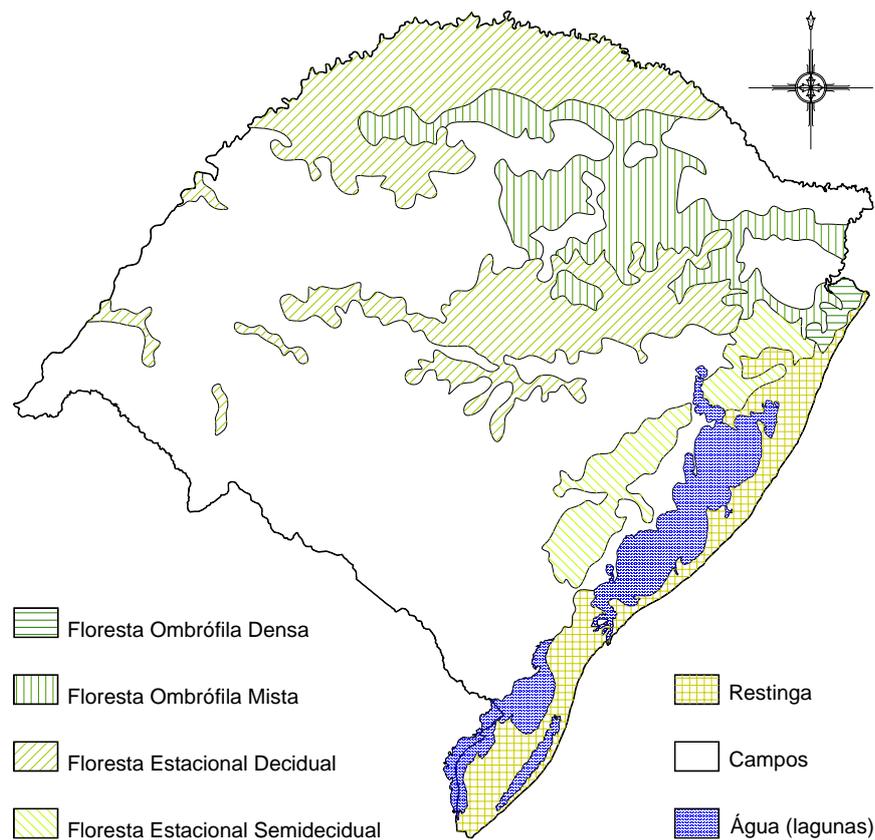


Figura 4 - Vegetação original do Rio Grande do Sul (Fonte: Quadros; Pillar, 2002, adaptado por Sutilli, 2007).

A Floresta Estacional Decidual é caracterizada pela presença de árvores decíduas, como *Apuleia leiocarpa*, *Parapiptadenia rigida*, *Peltophorum dubium*, *Enterolobium*

contortisiliquum, *Cordia trichotoma*, *Cabralea canjerana*, bem como espécies de folhagem perene, como *Nectandra* spp., *Ocotea* spp., *Patagonula americana*, *Actinostemon concolor*, *Sorocea bonplandii* e *Trichilia clausseni* (QUADROS; PILLAR, 2002).

A formação campestre que ocupa a Depressão Central é invadida por arbustos, originando os chamados campos grossos (PORTO, 2002). As áreas de campos são cobertas por espécies de inúmeras famílias, das quais se destacam alguns gêneros, como os da família Poaceae (*Andropogon*, *Aristida*, *Axonopus*, *Paspalum*,...), os da Compositae (*Baccharis*, *Chaptalia*, *Vernonia*,...), os da Cyperaceae (*Eleocharis*, *Rhynchospora*,...), os da Leguminosae (*Desmodium*, *Stylosanthes*, *Vicia*,...), os da Rubiaceae (*Borreria*, *Relbunium*,...) e também os da família Umbeliferae (*Eryngium*, *Centella*,...), dentre outras. Também é possível observar a existência de florestas ripárias e “capões” de mato em ambientes mais úmidos nas áreas de campo (QUADROS; PILLAR, 2002).

As florestas de galeria, também ditas ciliares, ripárias ou ripícolas, encontram-se associadas à margem de rios e outros cursos d’água. São compostas por espécies adaptadas para suportar a força da correnteza ou eventual submersão por ocasião de enchentes. Essa formação é conhecida como vegetação reófila, composta por uma comunidade particular de arbustos e árvores pequenas, geralmente sarandis ou amarelinhos, com ampla distribuição geográfica no Estado, predominando: *Sebastiania schottiana*, *Sebastiania brasiliensis*, *Calliandra brevipes*, *Terminalia australis*, *Phyllanthus sellowianus*, *Pouteria salicifolia* e *Salix humboldtiana* (MARCHIORI, 2004).

3.2 Coleta das estacas

A coleta do material vegetal utilizado para a realização do experimento não se deu no mesmo local para todas as espécies. No entanto, para manter o máximo de uniformidade, buscou-se coletar material de plantas matrizes que aparentavam boas condições sanitárias, idades e características semelhantes.

Salix humboldtiana Willd. (Figura 5) teve seu material vegetal coletado de árvores adultas localizadas no Campus da Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, Rio Grande do Sul.

O material vegetal de *Phyllanthus sellowianus* Müll. Arg. (Figura 6) foi coletado às margens do Arroio Grande, no distrito de Arroio Grande, interior de Santa Maria, RS.

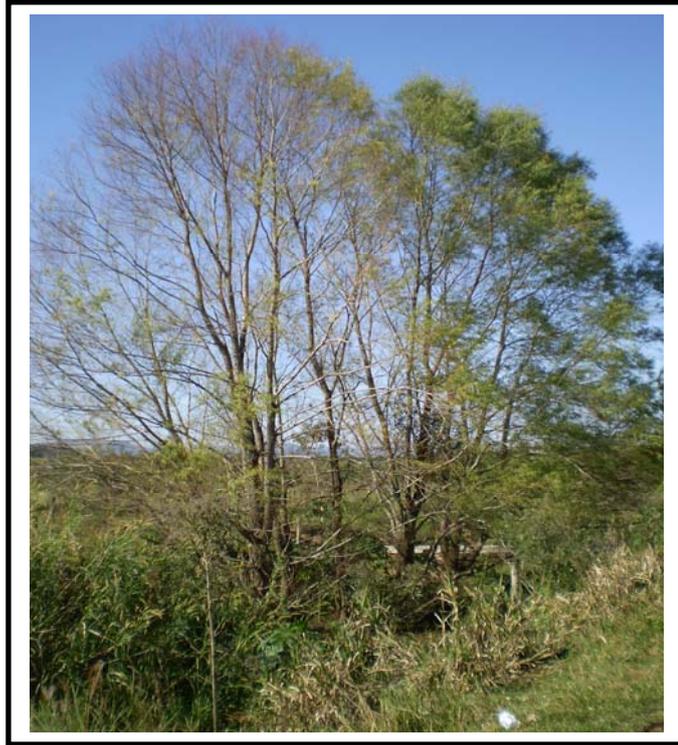


Figura 5 - Exemplos de *Salix humboldtiana* Willd., no Campus da Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS. (Foto: Josita S. Monteiro).

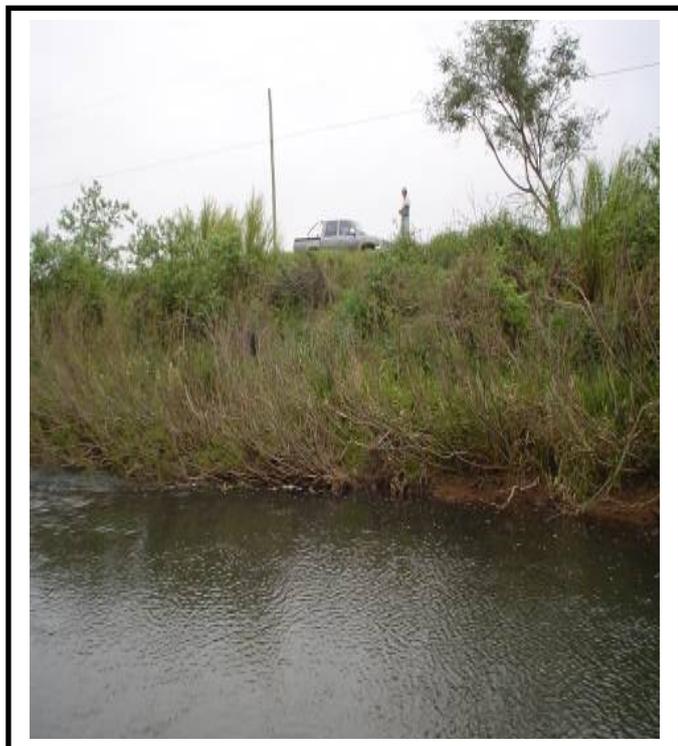


Figura 6 - Exemplos de *Phyllanthus sellowianus* Müll. Arg., Quarta Colônia, RS. (Foto: Fabrício Sutili).

Os ramos de *Sebastiania schottiana* (Müll. Arg.) Müll. Arg. (Figura 7) foram coletados no distrito de Passo do Verde, interior de Santa Maria, RS, às margens da BR 392, local onde ocorre grande quantidade de plantas, aparentemente jovens, desta espécie,.



Figura 7 - Exemplos de *Sebastiania schottiana* (Müll. Arg.) Müll. Arg., no distrito de Passo do Verde, Santa Maria, RS. (Foto: Josita S. Monteiro).

Para todas as espécies, os ramos foram coletados inteiros, levados imediatamente ao Laboratório de Silvicultura da UFSM, onde as estacas foram preparadas e, em seguida, o experimento foi instalado, em uma grande caixa de madeira, especialmente construída (Figuras 10, 11 e 13), e contendo areia em seu interior.

Foram coletadas amostras da areia utilizada para o plantio das estacas e encaminhadas ao Laboratório de Análise de Solos, do Departamento de Solos, do Centro de Ciências Rurais da Universidade Federal de Santa Maria. Os resultados podem ser visualizados no Laudo de Solos (Anexo A).

3.3 Instalação e condução do experimento

O experimento foi conduzido no Laboratório de Silvicultura, na Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS. O trabalho teve início no dia 27 de agosto de 2007 com a coleta de material vegetal de *Sebastiania schottiana* (Müll. Arg.) Müll. Arg., de *Salix humboldtiana* Willd. e de *Phyllanthus sellowianus* Müll. Os ramos destas espécies ficaram acondicionados em tanque com água até o dia seguinte quando foram confeccionadas 30 estacas por espécie. Estas permaneceram em baldes com água cobrindo até dois terço de seu comprimento. No dia 30 de agosto de 2007, o experimento foi implantado.

O material vegetal empregado para a realização do experimento encontrava-se no período de dormência, pois foi coletado propositadamente no inverno, momento em que as plantas apresentam maior taxa de regeneração potencial e estão com alto grau de lignificação (FACHINELLO et al., 1994).

Foram confeccionadas estacas com 30 cm de comprimento (± 1 cm de variação). Tanto para a coleta como para a preparação das estacas, foram utilizados podões e/ou tesouras apropriadas para este fim.

As estacas apresentaram uma amplitude diamétrica, variando de 1,0 a 4,5 cm como pode ser observado na Figura 8. A decisão de usar estacas de diferentes diâmetros foi tomada em razão dos objetivos deste trabalho, que também inclui a investigação preliminar sobre a influência do seu diâmetro na brotação e no enraizamento destas espécies.

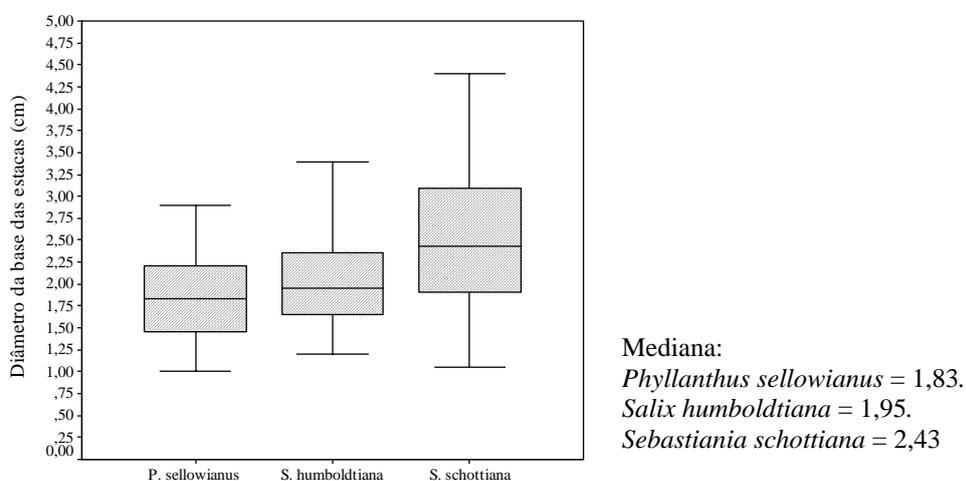


Figura 8 - Distribuição do diâmetro na base da estaca (cm) para *Phyllanthus sellowianus*, *Salix humboldtiana* e *Sebastiania schottiana*.

As estacas foram plantadas em areia, com dois terços de seu comprimento total, portanto, 20 cm, inseridos no substrato. Estas foram plantadas em três ângulos diferentes em relação ao substrato, ou seja, foram testados os ângulos de plantio: 10°, 30° e 90° (Figura 9). A fim de facilitar a acomodação das estacas nas diferentes inclinações, foram elaborados gabaritos para os diferentes ângulos de inclinação.

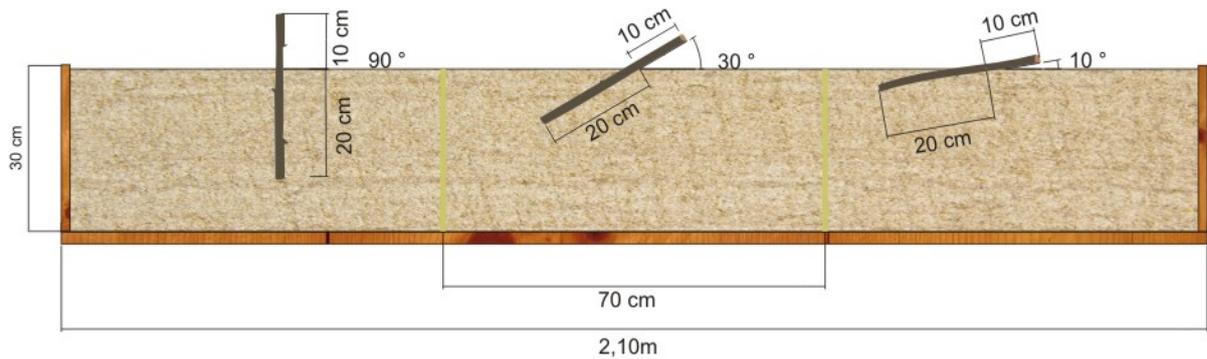


Figura 9: Vista frontal da caixa de madeira mostrando as estacas nas inclinações de 90°, 30° e 10°.

A areia foi acondicionada em uma caixa de madeira confeccionada nas dimensões de 2,10 m x 4,50 m x 0,30 m, na qual foram distribuídas as unidades experimentais (Figuras 10 e 11). O fundo da caixa foi feito de chapa de compensado, o qual foi perfurado a cada 20 cm, para evitar o acúmulo de água.

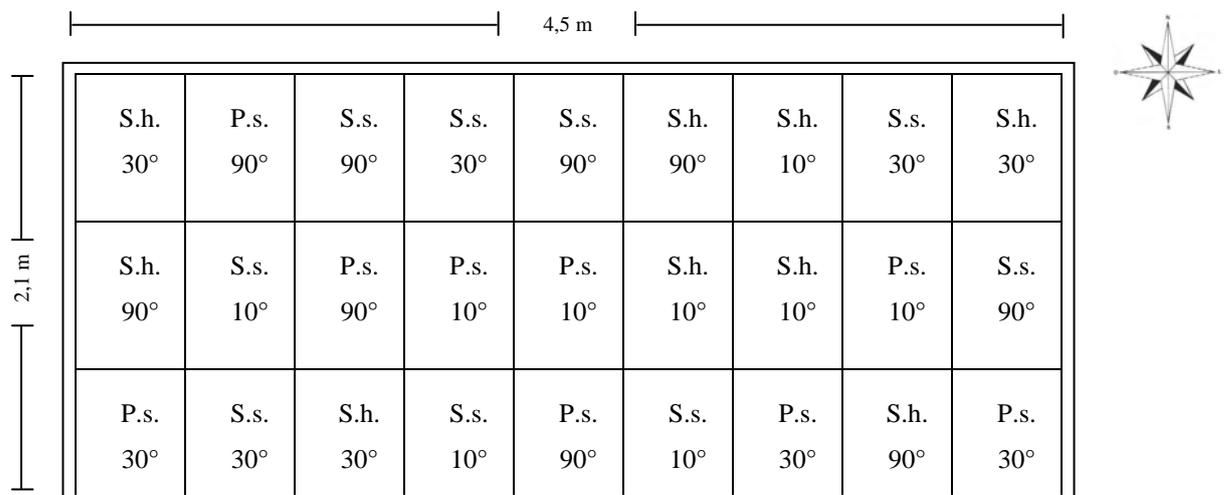


Figura 10 - Dimensões da caixa de madeira (vista superior), com a distribuição dos diferentes tratamentos sobre as unidades experimentais.

P.s. = *Phyllanthus sellowianus*; S.h. = *Salix humboldtiana* e S.s. = *Sebastiania schottiana*; 10°, 30° e 90° = ângulos de plantio.

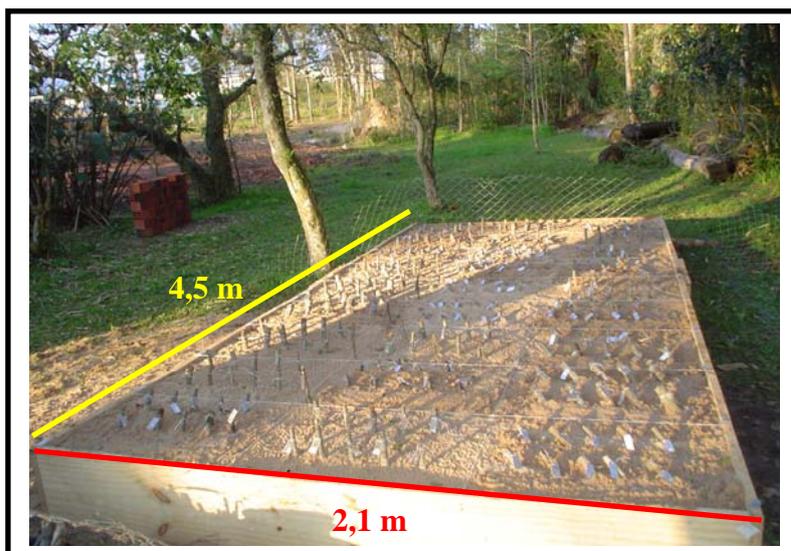


Figura 11 - Caixa de madeira e suas dimensões, com areia e estacas plantadas. (Foto: Josita S. Monteiro).

Utilizaram-se unidades experimentais por razões organizacionais, entretanto, para a análise dos dados, estas não foram consideradas, visto que a análise dos dados foi realizada para o delineamento inteiramente casualizado, com 30 repetições.

As coletas de dados foram feitas aos 30, 60 e 90 dias após a instalação do experimento. Aos 30 e 60 dias, foram medidas apenas variáveis da parte aérea. As variáveis da parte radicular só foram observadas aos 90 dias, quando as estacas foram removidas com o auxílio de água sob leve pressão (Figura 12), para evitar danos às raízes.



Figura 12 - Estacas de *Phyllanthus sellowianus* (90°) sendo retiradas da areia com auxílio de água corrente. (Foto: Josita S. Monteiro).

O ataque das formigas foi evitado com a aplicação de uma pasta pegajosa bastante consistente ao redor de toda a caixa de madeira, formando um “cinto protetor”, impedindo que os insetos alcançassem as plantas. O produto não é tóxico ao homem, às plantas e nem às formigas, apenas funciona como uma barreira física à passagem destes insetos.

3.4 Delineamento experimental

O experimento foi conduzido no delineamento inteiramente casualizado, com 30 repetições por tratamento; no entanto, as repetições foram separadas em três unidades experimentais por tratamento. Cada unidade experimental, com dimensão de 0,50 x 0,70 m, acomodou 10 estacas de uma dada espécie numa dada inclinação (Figura 13).

As estacas foram distribuídas dentro das unidades experimentais, de modo que formaram duas linhas de 5 estacas cada. A distribuição dos tratamentos sobre as unidades experimentais se deu por meio de sorteio, resultando na distribuição aleatória visível na Figura 10.

As linhas de estacas ficaram distantes 15 cm da borda da caixa e da unidade experimental seguinte. A distância entre as estacas na linha foi de 10 cm e entre as linhas foi de 20 cm (Figura 13).

Assim, conforme explica Storck; Lopes; Lúcio (2004), o experimento envolveu dois fatores: fator A = espécie vegetal e fator B = inclinação de inserção das estacas no substrato. Os níveis definidos para o fator A foram: $A_1 = Phyllanthus\ sellowianus$ (espécie 1); $A_2 = Salix\ humboldtiana$ (espécie 2); $A_3 = Sebastiania\ schottiana$ (espécie 3), e os níveis para o fator B como sendo: $B_1 = 10^\circ$ (inclinação 1); $B_2 = 30^\circ$ (inclinação 2) e $B_3 = 90^\circ$ (inclinação 3). Assim, foram testados “a x b” tratamentos formados pela combinação de cada nível do fator A com todos os níveis do fator B, ou seja: $A_1B_1, A_1B_2, A_1B_3; A_2B_1, A_2B_2, A_2B_3; A_3B_1, A_3B_2, A_3B_3$. Por exemplo, A_1B_1 é o tratamento “da espécie 1 (*Phyllanthus sellowianus*) e a inclinação 1 (10°)”.

Com este arranjo, o experimento realizado foi do tipo bifatorial, constituído de nove tratamentos, com três unidades experimentais cada, totalizando 27 unidades experimentais (Figura 9). Cada uma das unidades experimentais recebeu 10 estacas de um dado tratamento, o que resulta em 30 estacas (repetições) por tratamento, 90 estacas por espécie, completando 270 estacas.

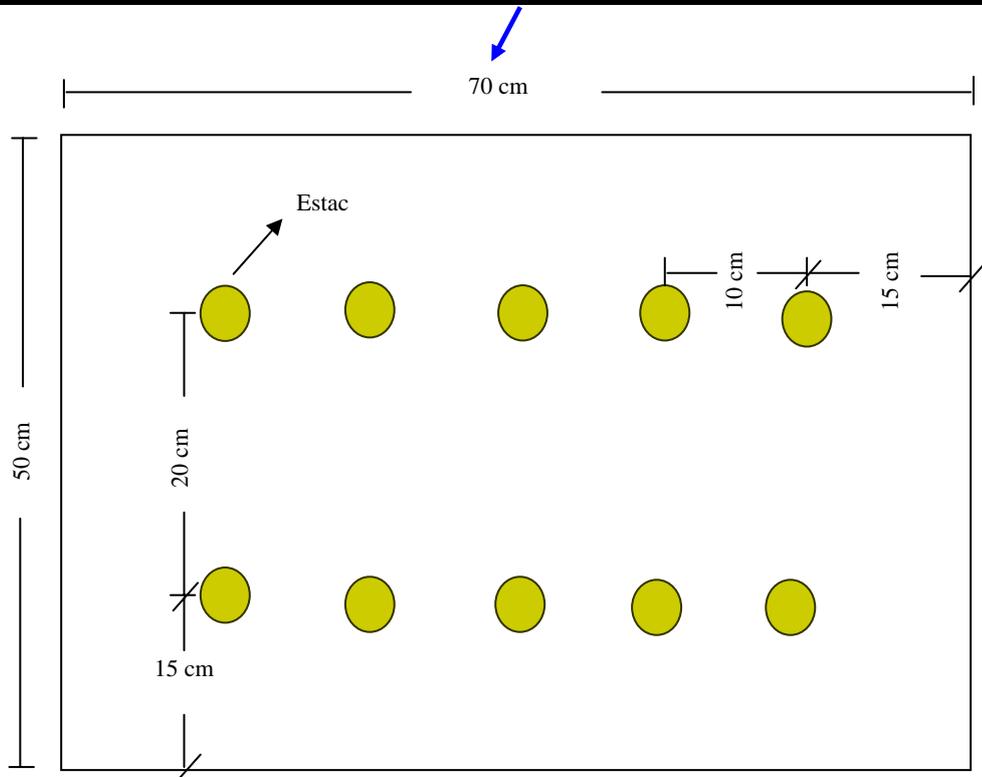


Figura 13 - Vista da caixa no momento da implantação das estacas, com as dimensões da unidade experimental e as distâncias entre as estacas.

3.5 Variáveis medidas e calculadas

Como mencionado no subitem 3.3, a coleta de dados foi feita aos 30, aos 60 e aos 90 dias após instalação do experimento.

Foram observadas e calculadas as seguintes informações:

- comprimento total e enterrado da estaca (cm);
- diâmetro na base da estaca (cm), e área da seção transversal da base da estaca (cm²);
- sobrevivência (%), obtida com base no número de estacas vivas em relação às plantadas (aos 90 dias);
- ritmo de brotação: observação do número de estacas brotadas aos 30, 60 e 90 dias;
- número de brotos primários por estaca aos 30, 60 e 90 dias;
- comprimento de todos os brotos primários de cada estaca (cm), aos 30, 60 e 90 dias.
- soma do comprimento dos brotos primários de cada estaca (cm), aos 30, 60 e 90 dias,

A média foi obtida a partir da soma do comprimento de todos os brotos primários de cada estaca dividida pelo número de estacas plantadas.

- diâmetro de todos os brotos primários de cada estaca (mm), aos 90 dias, medido na base dos ramos;

- massa seca dos brotos (g), aos 90 dias.

Quando completaram 90 dias, as estacas foram removidas do substrato a fim de que se pudessem fazer a observação e o registro de dados referentes ao sistema radicial das plantas.

Para tanto, foram medidos os seguintes parâmetros:

- número de estacas enraizadas;
- número de raízes primárias por estaca e por metro de estaca enterrada (n/m);
- comprimento das raízes primárias de cada estaca (cm);
- comprimento e diâmetro (medido na base) da maior raiz (cm, mm, respectivamente);
- soma do comprimento das raízes primárias de cada estaca, por metro de estaca enterrada (m/m). Para a média, fez-se a soma do comprimento das raízes primárias de cada estaca, dividida pelo número de estacas plantadas;
- massa seca das raízes (g);
- volume das raízes (obtido por imersão em água) (cm³);
- distribuição das raízes ao longo da estaca (na base ou ao longo da estaca).

Para a obtenção das variáveis, foram utilizados instrumentos simples como régua, paquímetro e balanças de precisão.

Foram considerados como brotos primários e raízes primárias aqueles que tinham origem diretamente da estaca. Não foram considerados os brotos secundários, exceto quando se mediu a massa e o volume dos mesmos.

Tanto para a obtenção dos valores de massa seca da parte aérea como do sistema radicial, as brotações e as raízes foram separadas da estaca e pré-secadas ao ar. Em seguida, ambos os materiais foram levados à estufa, a aproximadamente 60°C, até atingirem peso constante.

Para a obtenção do volume das raízes, estas, após destacadas da estaca, foram submersas na água em uma proveta graduada, com o nível de água controlado. Após a submersão, anotou-se o valor do volume de água deslocado em mililitros (ml), que corresponde ao volume das raízes em cm³.

A distribuição das raízes ao longo da estaca foi determinada por meio de estimativa visual. As estacas foram segregadas em dois grupos. Grupo 1: estacas com raízes distribuídas ao longo dos 20 cm da parte enterrada da estaca e Grupo 2: estacas com raízes distribuídas apenas nos primeiros 10 cm a partir da base das mesmas. Para ser classificada no Grupo 2, estipulou-se que, no mínimo, 90% do número de raízes deveria encontrar-se nos primeiros 10 cm basais da estaca.

3.6 Análise estatística dos dados

Os dados foram analisados estatisticamente através de programa estatístico e Excel.

Para a estatística descritiva, foram calculados os valores mínimos, médios e máximos e o coeficiente de variação das variáveis de interesse.

Foram realizadas as análises de variância (ANOVA) para os parâmetros da parte aérea: número, comprimento médio e soma do comprimento de brotos aos 30, 60 e 90 dias; e para o diâmetro e a massa seca dos brotos aos 90 dias. A ANOVA foi utilizada também para os parâmetros do sistema radicial: número, comprimento médio, soma do comprimento, massa seca e volume de raízes, comprimento e diâmetro da raiz mais longa (Apêndices A-AJ).

Também foram realizados teste de comparação de médias entre os tratamentos (Tukey) para as variáveis mencionadas acima.

Sem considerar os ângulos de plantio, fez-se a ANOVA para o número, a soma do comprimento e a massa seca dos brotos, o número, a soma do comprimento, a massa seca e o volume de raízes e o comprimento da raiz mais longa das espécies estudadas (Apêndices AK-AR).

Na seqüência, procurou-se verificar a existência de correlações entre o diâmetro das estacas e as variáveis caracterizadoras da parte aérea e radicial, por meio da análise da matriz de correlação de Pearson (AS-AT).

Por último, testou-se a existência de correlações entre algumas variáveis da parte aérea e radicial, através da análise da matriz de correlação de Pearson, para ambas as espécies em cada ângulo de plantio (Apêndices AU-AZ).

Quando foram detectados bons coeficientes de correlação, através de matriz de Pearson, foram formuladas funções para as variáveis de maior interesse, com vistas a estimar características de difícil medição através daquelas de mais fácil determinação.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Estatística descritiva

Sebastiania schottiana, apesar de ter sido plantada juntamente com *Phyllanthus sellowianus* e *Salix humboldtiana* e ter sido mantida no experimento até o final, não foi analisada, visto que não apresentou brotação, nem enraizamento no decorrer de todo o período de observação. Assim, a partir do próximo item (4.1.1), serão apresentados somente os dados referentes à *Phyllanthus sellowianus* e *Salix humboldtiana*.

Acredita-se que o fato de as estacas de *Sebastiania schottiana* não terem brotado e/ou enraizado neste experimento pode ser explicado em razão da época de coleta (inverno). Frassetto (2007), ao testar diferentes tipos de estacas de *Sebastiania schottiana* coletadas em épocas distintas, constatou que todos os tipos de estacas testadas apresentaram melhor enraizamento na primavera e outono quando comparados ao inverno e ao verão.

Sutili (2007), ao avaliar o período ideal de reprodução de estacas de *Sebastiania schottiana* plantada em canteiro experimental, verificou que *Sebastiania schottiana* mostrou resultados menos promissores no período do final do inverno e início da primavera, quando comparado a avaliações realizadas no período de outono e inverno.

Embora ambos os autores mencionados acima tenham observado que *Sebastiania schottiana* apresentava brotação e enraizamento inferiores a outras espécies quando coletada no inverno os resultados ainda permitiam que a mesma fosse propagada por estacas coletadas neste período para o uso de engenharia natural.

Assim, os resultados encontrados neste experimento geraram uma surpresa negativa e, neste caso, sugerem que o teste da influência do ângulo de plantio para *Sebastiania schottiana* seja realizado com estacas coletadas em outras épocas do ano.

4.1.1 Sobrevivência

Dentre as características a serem avaliadas quando se busca identificar espécies com

potencial biotécnico, a sobrevivência é o primeiro parâmetro a ser observado.

Neste experimento, as estacas de *Phyllanthus sellowianus* e *Salix humboldtiana* tiveram a sobrevivência analisada aos 90 dias após o plantio das mesmas, observando o número de estacas vivas por espécie em cada ângulo de plantio. Assim, constatou-se que o ângulo de plantio não influenciou na sobrevivência das estacas de ambas as espécies.

Phyllanthus sellowianus apresentou a sobrevivência variando de 28 estacas vivas quando estas foram plantadas em ângulo de 30° a 30 estacas vivas quando plantadas em ângulos de 10° e 90°, o que corresponde em porcentagem a 93% e 100% de sobrevivência, respectivamente (Figura 14). Pode-se considerar que os valores da sobrevivência são elevados em todos os ângulos de plantio, quando comparados aos valores encontrados por Vargas (2007), Sutili (2004) e Sutili (2007), ao analisarem a sobrevivência da mesma espécie em seus experimentos.

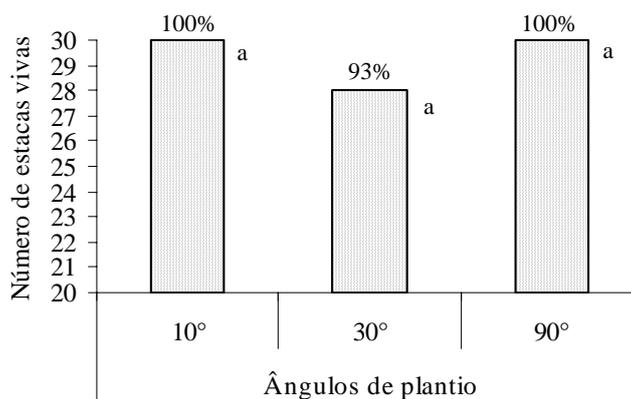


Figura 14 - Número de estacas vivas para *Phyllanthus sellowianus* para os três ângulos de plantio aos 90 dias. As barras seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey em nível de 5% de probabilidade de erro.

Salix humboldtiana também não apresentou diferença significativa entre a sobrevivência nos diferentes ângulos de plantio (Figura 15). No entanto, a sobrevivência demonstrou comportamento inverso ao do *Phyllanthus sellowianus*, ou seja, o ângulo de 30° foi o que proporcionou tendência de um número mais elevado de estacas vivas (correspondente a 87% de sobrevivência), enquanto os ângulos de 10° e 90° apresentaram um valor de 83% de sobrevivência.

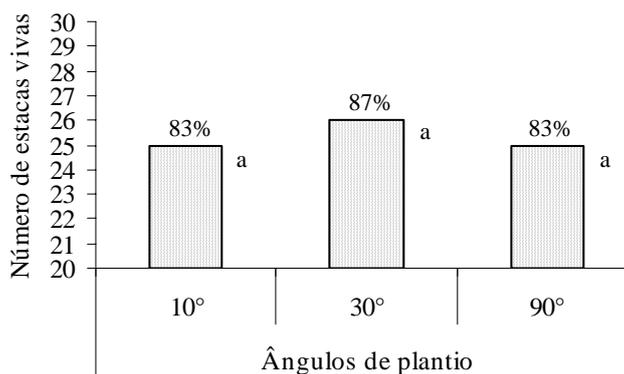


Figura 15 - Número de estacas vivas para *Salix humboldtiana* para os três ângulos de plantio aos 90 dias. As barras seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey em nível de 5% de probabilidade de erro.

Entretanto, somente informações referentes à sobrevivência das estacas não permitem julgá-las quanto à influência ou não do ângulo de plantio sobre o desenvolvimento de ambas as espécies. Assim, os valores estatísticos correspondentes ao número, ao diâmetro, ao comprimento e à massa seca dos brotos e raízes de estacas plantadas nos diferentes ângulos são apresentados nos itens subseqüentes.

4.1.2 Brotação primária

4.1.2.1 Ritmo de brotação

Quanto ao número de estacas brotadas, *Phyllanthus sellowianus* apresentou tendência de proporcionar maior número de estacas brotadas no final do período experimental, ou seja, demonstrou um ritmo de brotação crescente (Figura 16). As estacas plantadas em ângulo de 90° foram as que brotaram mais rápido, ou seja, aos 30 dias após o plantio, 29 estacas já estavam brotadas, seguidas daquelas plantadas em ângulo de 10°, as quais apresentaram 27 estacas brotadas; o menor número se deu quando as estacas foram plantadas em ângulo de 30°, com 26 estacas brotadas aos 30 dias. No entanto, a velocidade de brotação das estacas em função do ângulo de plantio, em cada período de avaliação, não evidenciou diferença significativa (Figura 16).

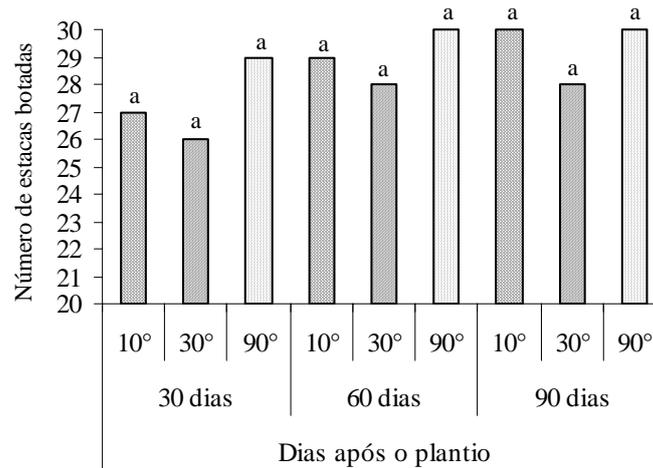


Figura 16 - Número de estacas brotadas de *Phyllanthus sellowianus* aos 30, 60 e 90 dias para cada ângulo de plantio. Valores seguidos da mesma letra, entre os diferentes ângulos de plantio no mesmo período de medição, não diferem entre si pelo teste de Tukey em nível de 5% de probabilidade de erro.

Para *Salix humboldtiana*, o ângulo que tendeu a proporcionar um número mais elevado de estacas brotadas foi o de 10° já aos 30 dias após o plantio, sendo que, no mesmo período, os ângulos de 30° e 90° apresentaram um número de estacas brotadas de 29, no entanto, estes valores não demonstram diferenças significativas entre os ângulos de plantio, em nenhum dos períodos de avaliação (Figura 17).

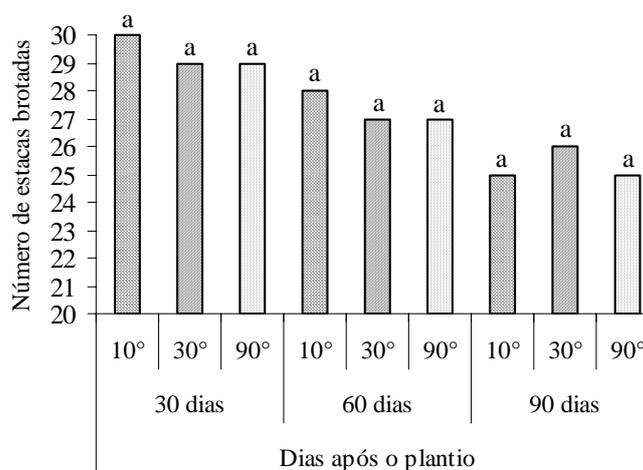


Figura 17 - Número de estacas brotadas de *Salix humboldtiana* aos 30, 60 e 90 dias para cada ângulo de plantio. Valores seguidos da mesma letra, entre os diferentes ângulos de plantio no mesmo período de medição, não diferem entre si pelo teste de Tukey em nível de 5% de probabilidade de erro.

Diferentemente do que se esperava, com o transcurso do período experimental, *Salix humboldtiana* tendeu a diminuir o número de estacas brotadas em virtude da morte de alguns brotos e de suas estacas. Isto é possível de ser constatado observando a Figura 17.

Analisando as Figuras 16 e 17 em paralelo, é possível constatar que *Phyllanthus sellowianus* tende a alcançar um número mais elevado de estacas brotadas com o decorrer do experimento, ou seja, a espécie brota mais lentamente que *Salix humboldtiana*, porém, uma vez brotada, mantém a brotação e não morre, fato constatado igualmente pela análise da sobrevivência. Diferente de *Phyllanthus sellowianus*, *Salix humboldtiana* tem uma forte brotação inicial, contudo, com o passar do tempo, vários brotos morrem levando à morte de toda a estaca e resultando em menor sobrevivência aos 90 dias (Figuras 14 e 15).

4.1.2.2 Número de brotos

O número de brotos das estacas de *Phyllanthus sellowianus* não apresentou variação significativa entre os ângulos de plantio durante todos os períodos de observação (Tabela 1).

Também na Tabela 1 é possível perceber que os valores mínimos e máximos não apresentaram grandes variações entre os ângulos em um mesmo período de observação, nem para um mesmo ângulo no decorrer do período de avaliação.

Ao se observar a Tabela 1, vê-se que, logo aos 30 dias após o plantio, as estacas de *Phyllanthus sellowianus* apresentaram um número de brotos que se manteve praticamente inalterado até os 90 dias. Estacas plantadas no ângulo de 10°, por exemplo, apresentaram 3,0, 3,4 e 3,3 brotos por estaca, em média, aos 30, 60 e 90 dias após o plantio, respectivamente.

Tabela 1 - Número de brotos de *Phyllanthus sellowianus* para os diferentes ângulos de plantio, aos 30, 60 e 90 dias.

Ângulo de plantio	Dias após plantio											
	30 dias				60 dias				90 dias			
	Mín	Máx	Méd	CV %	Mín	Máx	Méd	CV %	Mín	Máx	Méd	CV %
10°	0,0	7,0	3,0 a	62,3	0,0	7,0	3,4 a	47,2	1,0	8,0	3,3 a	45,6
30°	0,0	7,0	2,5 a	71,1	0,0	6,0	2,7 a	56,0	0,0	6,0	2,6 a	55,8
90°	0,0	8,0	3,2 a	50,9	1,0	6,0	3,4 a	37,7	1,0	5,0	3,2 a	36,3

Mín = mínimo; Máx = máximo; Méd = média; CV% = coeficiente de variação em porcentagem;

Médias seguidas de mesma letra, na mesma coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey em nível de 5% de probabilidade de erro.

Estes resultados concordam com os valores apresentados por Sutili (2004), o qual encontrou, após 5 meses de plantio, uma média em torno de três brotos para plantas de *Phyllanthus sellowianus*.

Já Vargas (2007), propagando vegetativamente *Phyllanthus sellowianus* em um canteiro experimental padrão (DURLO; SUTILI, 2005) encontrou resultados decrescentes do número médio de brotos por estaca de aproximadamente 4 e 2,5 no segundo e terceiro mês após plantio, respectivamente.

Da mesma forma que *Phyllanthus sellowianus*, o número de brotos de *Salix humboldtiana* não apresentou variação significativa entre os ângulos de plantio durante o período de observação, exceto aos 30 dias após o plantio, quando se nota uma pequena, mas significativa diferença entre as médias do número de brotos neste período. O ângulo de 90° proporcionou um maior número de brotos por estaca que os demais ângulos na fase inicial do experimento (Tabela 2). Assim como para o número de estacas brotadas (Figura 17), observa-se o declínio do número de brotos de *Salix humboldtiana* no decorrer da avaliação (Tabela 2).

Tabela 2 - Número de brotos de *Salix humboldtiana* para os diferentes ângulos de plantio, aos 30, 60 e 90 dias.

Ângulo de plantio	Dias após plantio											
	30 dias				60 dias				90 dias			
	Mín	Máx	Méd	CV %	Mín	Máx	Méd	CV %	Mín	Máx	Méd	CV %
10°	3,0	23	11,8 b	39,3	0,0	21	9,7 a	52,2	0,0	21	7,9 a	68,1
30°	0,0	24	12,9 ab	43,4	0,0	18	9,7 a	51,6	0,0	16	8,4 a	61,1
90°	0,0	24	15,5 a	38,2	0,0	18	11,0 a	49,8	0,0	16	10,1 a	53,5

Mín = mínimo; Máx = máximo; Méd = média; CV% = coeficiente de variação em porcentagem;

Médias seguidas de mesma letra, na mesma coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey em nível de 5% de probabilidade de erro.

O fato de *Phyllanthus sellowianus* e especialmente *Salix humboldtiana* terem emitido, já na fase inicial do experimento, grande número de brotos (a primeira emitiu em torno de três brotos por estaca (o que equivale a 42,4% do número máximo de brotos emitido por uma estaca no período observado) e a segunda entre 11,8 e 15,5 brotos por estaca (correspondendo, respectivamente, a 51,4% e 64,7% do número máximo de brotos emitido por uma estaca no mesmo período observado)), talvez possa ser explicada pelas características próprias das espécies. Tais características são relacionadas ao potencial regenerativo natural das espécies, às quantidades de substâncias de reserva no momento da coleta das estacas e às mudanças de

temperatura ao longo do período experimental, fatores influentes que também foram sugeridos por Vargas (2007). A menor emissão nos períodos seguintes pode, eventualmente, também ser correlacionada com o substrato utilizado que não oferecia nenhuma fonte nutricional para as estacas, servindo apenas como suporte e fonte de água.

Ao se observar as Tabelas 1 e 2, verifica-se que *Salix humboldtiana* apresentou valores maiores para o número de brotos quando comparado ao *Phyllanthus sellowianus* em todos os ângulos de plantio e durante todo o período experimental. Este comportamento também se observa para a variável que será apresentada em seguida, o comprimento de brotos. De acordo com Sutili (2004), ao se combinar as duas características, número e comprimento de brotos, *Salix humboldtiana* é a espécie que, entre as testadas em seu experimento, apresentou o maior volume de brotos. Isto também é possível de ser visualizado neste trabalho, comparando as Tabelas 5 e 6, apresentadas a seguir.

4.1.2.3 Comprimento dos brotos

Nas Tabelas 3 e 4, são apresentados os resultados referentes ao comprimento médio de brotos de *Phyllanthus sellowianus* e *Salix humboldtiana*, respectivamente, para os três períodos de medição e os três ângulos de plantio.

Ao se analisar as espécies em relação aos ângulos de plantio, verificou-se que *Phyllanthus sellowianus* apresentou diferença significativa entre o comprimento médio de brotos de estacas plantadas em ângulos diferentes, exceto aos 60 dias (Tabela 3).

Tabela 3 - Comprimento médio de brotos (cm) de *Phyllanthus sellowianus* para os três ângulos de plantio aos 30, 60 e 90 dias.

Ângulo de plantio	Dias após o plantio											
	30 dias				60 dias				90 dias			
	Mín	Máx	Méd	CV%	Mín	Máx	Méd	CV%	Mín	Máx	Méd	CV%
10°	0,0	22,9	8,3 b	63,8	0,0	36,5	20,0 a	39,1	15,0	41,5	26,1 b	28,3
30°	0,0	15,1	7,0 b	65,6	0,0	36,9	21,2 a	46,6	0,0	62,5	29,4 ab	46,2
90°	0,0	22,8	11,5 a	44,7	13,3	42,9	24,5 a	32,2	21,5	55,2	32,8 a	31,8

Mín = mínimo; Máx = máximo; Méd = média; CV% = coeficiente de variação em porcentagem; Médias seguidas de mesma letra, na mesma coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey em nível de 5% de probabilidade de erro.

O comprimento médio de brotos de *Salix humboldtiana* não apresentou diferença significativa entre os ângulos de plantio, em qualquer período de medição (Tabela 4). Apesar disso, as duas espécies apresentaram tendência de aumento da média do comprimento dos brotos do início até o fim do período experimental, tendência normal, quando não ocorre morte de brotos longos ou surgimento de brotos jovens e pequenos.

Tabela 4 - Comprimento médio de brotos (cm) de *Salix humboldtiana* para os três ângulos de plantio aos 30, 60 e 90 dias.

Ângulo de plantio	Dias após o plantio											
	30 dias				60 dias				90 dias			
	Mín	Máx	Méd	CV%	Mín	Máx	Méd	CV%	Mín	Máx	Méd	CV%
10°	1,1	7,9	4,2 a	39,0	0,0	14,8	6,5 a	55,5	0,0	25,4	9,0 a	68,7
30°	0,0	10,8	4,3 a	50,5	0,0	17,8	7,9 a	56,2	0,0	20,6	9,3 a	59,2
90°	0,0	8,2	3,7 a	48,2	0,0	15,3	7,0 a	54,6	0,0	19,5	8,3 a	64,5

Mín = mínimo; Máx = máximo; Méd = média; CV% = coeficiente de variação em porcentagem; Médias seguidas de mesma letra, na mesma coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey em nível de 5% de probabilidade de erro.

Para a análise da brotação, foi utilizada também a variável somatório do comprimento dos brotos, pelas razões expostas por Vargas (2007).

Na Tabela 5, são fornecidos valores estatísticos sobre a soma do comprimento de brotos de *Phyllanthus sellowianus*, bem como os resultados dos testes de comparação de média para esta variável.

Tabela 5 - Somatório do comprimento de brotos (cm) de *Phyllanthus sellowianus* para os três ângulos de plantio aos 30, 60 e 90 dias.

Ângulo de plantio	Dias após o plantio											
	30 dias				60 dias				90 dias			
	Mín	Máx	Méd	CV%	Mín	Máx	Méd	CV%	Mín	Máx	Méd	CV%
10°	0,0	67,9	26,9 ab	74,4	0,0	141,3	68,9 ab	53,1	15,6	166,1	85,1 ab	45,9
30°	0,0	75,6	22,4 b	89,9	0,0	116,5	57,9 b	51,3	0,0	135,5	72,8 b	43,6
90°	0,0	73,0	37,1 a	49,9	26,7	154,0	78,4 a	38,0	45,5	181,2	98,7 a	35,7

Mín = mínimo; Máx = máximo; Méd = média; CV% = coeficiente de variação em porcentagem; Médias seguidas de mesma letra, na mesma coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey em nível de 5% de probabilidade de erro.

A soma do comprimento de brotos das estacas de *Phyllanthus sellowianus* apresentou comportamento diferenciado em função do ângulo de plantio, ou seja, estacas plantadas no ângulo de 90° diferiram significativamente daquelas plantadas no ângulo de 30°, mas não diferiram daquelas plantadas no ângulo de 10°. As últimas, no entanto, são semelhantes às plantadas em ângulo de 30°.

As médias da soma do comprimento dos brotos variaram de 72,8 cm (30°) a 98,7 cm (90°) aos 90 dias após o plantio (Tabela 5). Após 90 dias, Sutili (2007) encontrou resultados semelhantes para estacas de *Phyllanthus sellowianus* mantidas em água e testadas em diferentes épocas do ano. Assim, no outono (abril – junho), encontrou uma soma de comprimento de brotos por estaca acima de 25 cm; no inverno (julho – setembro), abaixo de 25 cm; na primavera (outubro – dezembro), próximo de 100 cm; e no verão (janeiro – março) próximo de 50 cm.

Na Tabela 6, são fornecidos valores estatísticos para a soma do comprimento de brotos de *Salix humboldtiana*, bem como os resultados dos testes de comparação de média para esta variável.

O ângulo de plantio não apresentou influência na soma de comprimento de brotos das estacas de *Salix humboldtiana* em nenhum dos períodos de medição, embora aos 60 e aos 90 dias após o plantio as maiores médias tenham sido encontradas para as estacas plantadas em ângulo de 90° (Tabela 6).

Tabela 6 - Somatório do comprimento de brotos (cm) de *Salix humboldtiana* para os três ângulos de plantio aos 30, 60 e 90 dias.

Ângulo de plantio	Dias após o plantio											
	30 dias				60 dias				90 dias			
	Mín	Máx	Méd	CV%	Mín	Máx	Méd	CV%	Mín	Máx	Méd	CV%
10°	4,4	99,8	51,2 a	52,9	0,0	138,0	72,4 a	67,4	0,0	203,3	86,6 a	78,5
30°	0,0	139,7	60,8 a	65,3	0,0	208,6	84,8 a	65,0	0,0	236,6	88,3 a	71,5
90°	0,0	126,7	60,7 a	53,5	0,0	184,0	88,0 a	62,2	0,0	253,5	102,1 a	67,2

Mín = mínimo; Máx = máximo; Méd = média; CV% = coeficiente de variação em porcentagem; Médias seguidas de mesma letra, na mesma coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey em nível de 5% de probabilidade de erro.

A análise simultânea dos valores das Tabelas 1 e 3 para *Phyllanthus* e 2 e 4 para *Salix* permite concordar com a constatação de Sutili (2004), o qual afirma que, se forem

combinados o número e o comprimento de brotos, *Salix humboldtiana* fornecerá um maior volume de brotos.

Portanto, o indicado para engenharia natural seria o uso de espécies que produzam o maior número e o maior comprimento de brotos possível, visto que, como dito, a associação destas duas variáveis resulta em um volume mais elevado da arte aérea. Como a parte aérea está frequentemente sujeita à força das águas o uso de espécies que produzam brotos que se curvem sobre o talude e em função de seu volume formem uma camada protetora do solo, promove a redução da velocidade da água e por conseqüência redução do seu poder erosivo.

4.1.2.4 Diâmetro dos brotos

O diâmetro de brotos foi medido na base da brotação e apenas aos 90 dias após o plantio para ambas as espécies. Na Figura 18, têm-se as médias do diâmetro dos brotos de *Phyllanthus sellowianus* e *Salix humboldtiana* nos diferentes ângulos de plantio.

As estacas de *Phyllanthus sellowianus* tenderam a produzir elevada média de diâmetro dos brotos quando foram plantadas no ângulo de 90° (4,0 mm); no entanto, esta média não diferiu significativamente das médias do diâmetro dos brotos de estacas plantas nos ângulos de 30° (3,7 mm) e 10° (3,5 mm) (Figura 18).

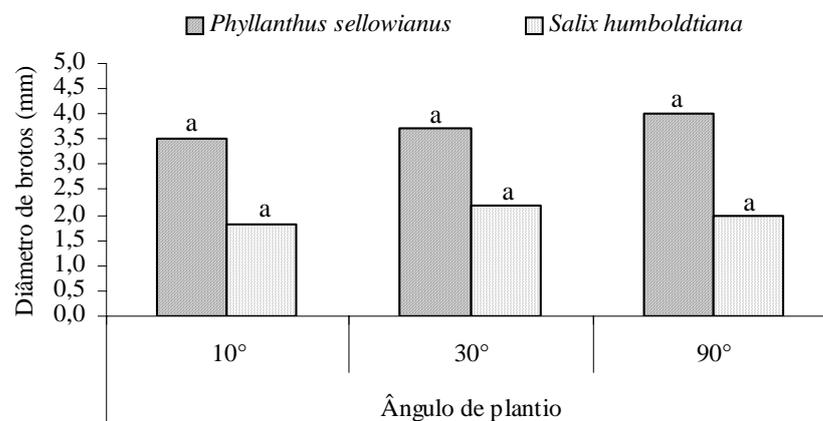


Figura 18 - Média do diâmetro de brotos (mm) de *Phyllanthus sellowianus* e *Salix humboldtiana* para os diferentes ângulos de plantio. Médias seguidas de mesma letra, para cada espécie, não diferem entre si pelo teste de Tukey em nível de 5% de probabilidade de erro.

Salix humboldtiana também não apresentou diferença significativa entre as médias do diâmetro dos brotos dos diferentes ângulos de plantio. Neste caso, as estacas que proporcionaram uma tendência de média mais elevada do diâmetro dos brotos foram as plantadas no ângulo de 30° (2,2 mm), seguidas daquelas plantadas nos ângulos de 90° (2,0 mm) e de 10° (1,8 mm).

4.1.2.5 Massa seca dos brotos

Outra variável que se mostrou influenciada pelo ângulo de plantio foi a massa seca dos brotos, visto que as estacas de *Phyllanthus sellowianus* plantadas em ângulo de 90° apresentaram valores superiores e estatisticamente diferentes quando comparados às estacas plantadas em ângulos de 10° e 30° (Figura 19).

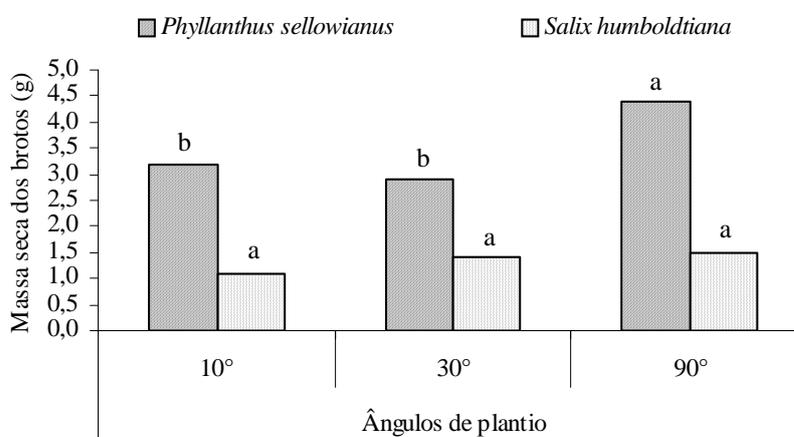


Figura 19 - Média da massa seca dos brotos (g) de *Phyllanthus sellowianus* e *Salix humboldtiana* para os diferentes ângulos de plantio. Médias seguidas de mesma letra, para cada espécie, não diferem entre si pelo teste de Tukey em nível de 5% de probabilidade de erro.

Em estacas plantadas nos ângulos de 10° e 30°, a massa seca dos brotos não passou de 7 g, enquanto naquelas plantadas em ângulo de 90° esta atingiu até 10 g. Na Figura 20, vê-se que a maioria das estacas plantadas nos ângulos de 10° e 30° apresentou massa seca entre 1 e 4 g. Fica visível ainda que a distribuição da massa seca dos brotos foi mais ampla quando as

estacas foram plantada no ângulo de 90°, embora quase 1/3 das estacas tenham apresentado massa seca em torno de 3 g.

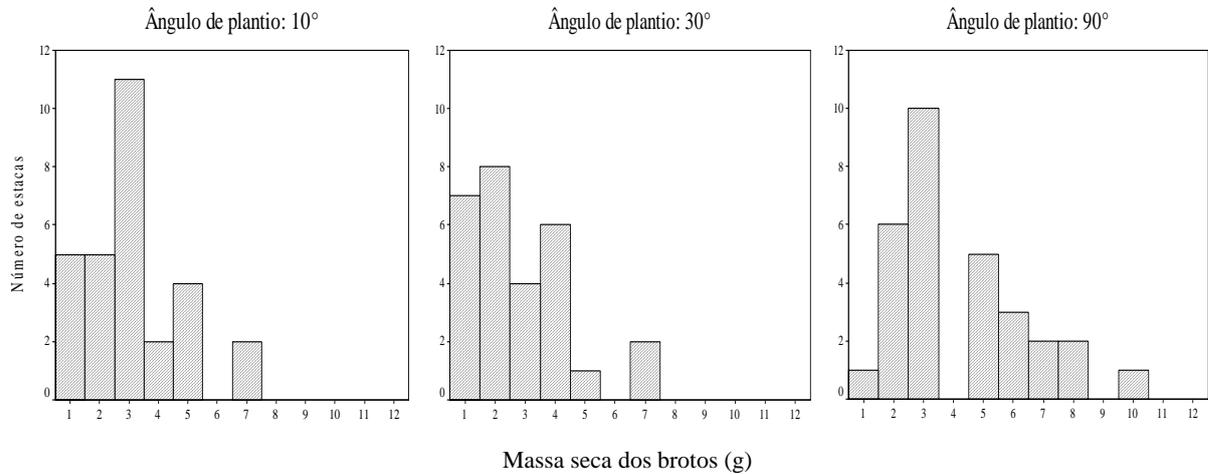


Figura 20 - Distribuição da frequência absoluta da massa seca dos brotos (g) de *Phyllanthus sellowianus* para os diferentes ângulos de plantio.

As médias da massa seca dos brotos de *Salix humboldtiana* para as estacas plantadas no ângulo de 10°, 30° e 90° não apresentaram uma diferença significativa entre os ângulos de plantio (Figura 19).

A grande maioria das estacas apresentou massa seca dos brotos abaixo de 2 g em todos os ângulos de plantio. No entanto, a distribuição da massa seca dos brotos foi mais ampla quando as estacas foram plantadas no ângulo de 30° e 90, pois em torno de ½ das estacas plantadas no ângulo de 10° tiveram menos de 0,55 g de massa seca de brotos (Figura 21).

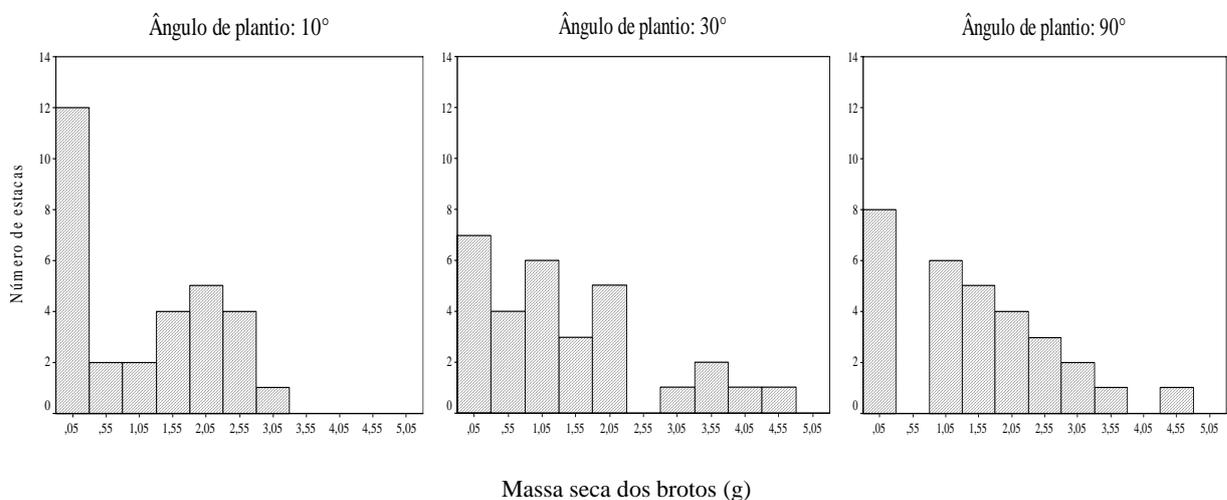


Figura 21 - Distribuição de frequência absoluta da massa seca dos brotos (g) de *Salix humboldtiana* para os diferentes ângulos de plantio.

O conhecimento do comportamento das variáveis analisadas acima, referentes à parte aérea das plantas, é de grande importância quando se objetiva utilizar estas espécies em obras de engenharia natural, em especial, em função do tipo de obra e da forma como as plantas serão utilizadas, ou seja, em que posições elas serão colocadas em relação à superfície do talude. Como dito por Sutili (2004), para reter o solo de uma encosta sujeita à erosão superficial, deve-se lançar mão de espécies vegetais que produzam um grande número de brotos. Já, quando se deseja conter materiais mais grosseiros (cascalho, pedras, entulho, etc.), o ideal é utilizar espécies que ofereçam ramos mais vigorosos.

No entanto, Sutili (2004) salienta que, embora seja importante a obtenção de informações ligadas à parte aérea, visto que esta contribui para a estabilização e conseqüente proteção dos taludes fluviais, não se deve esquecer que características fundamentais e talvez até de maior relevância para as intervenções biotécnicas estão vinculadas ao sistema radicial das plantas.

Em vista disso, serão apresentados, na seqüência, os resultados obtidos para as variáveis relativas ao sistema radicial de *Phyllanthus sellowianus* e *Salix humboldtiana*.

4.1.3 Enraizamento primário

4.1.3.1 Número de raízes

Ao contrário do que se observou para o número de brotos, o ângulo de plantio influenciou o número de raízes por metro de estaca enterrada de *Phyllanthus sellowianus*.

Pode-se visualizar na Figura 22, que estacas plantadas em ângulo de 90° produziram maior número de raízes (315 raízes/m). A diferença em relação ao número de raízes de estacas plantadas nos ângulos de 10° (201 raízes/m) e 30° (245 raízes/m) foi significativa, segundo o teste de Tukey em nível de 5% de probabilidade de erro.

Experimentos realizados por Sutili (2007) com estacas de *Phyllanthus sellowianus* coletadas em diferentes épocas do ano apresentaram os seguintes resultados: em torno de 113 raízes por metro de estaca enterrada no período do outono ao inverno (abril a setembro), 30 raízes/m no período do verão ao outono (fevereiro a junho) e 130 raízes/m para estacas cultivadas da primavera ao verão (setembro a fevereiro).

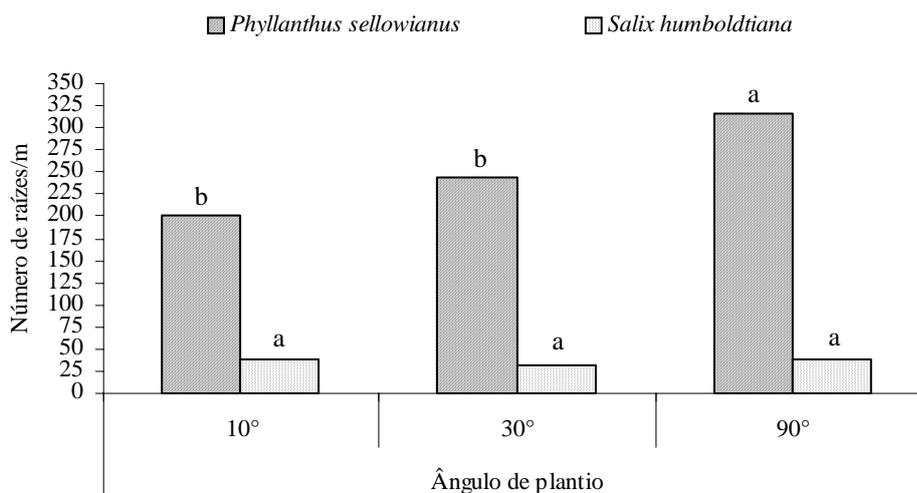


Figura 22 - Número de raízes por metro de estaca enterrada de *Phyllanthus sellowianus* e *Salix humboldtiana* para os três ângulos de plantio. Médias seguidas de mesma letra, para cada espécie, não diferem entre si pelo teste de Tukey em nível de 5% de probabilidade de erro.

Também Vargas (2007), trabalhando com *Phyllanthus sellowianus*, *Salix x rubens* e *Sebastiania schottiana*, obteve valores para o número de raízes em torno de 115 raízes/m a 120 raízes/m, 125 raízes/m e 20 raízes/m, respectivamente, aos três meses após o plantio.

No entanto, o número de raízes por metro de estaca enterrada de *Salix humboldtiana* não foi influenciado significativamente pelo ângulo de plantio. As médias foram de 38 raízes/m, 32 raízes/m e 38 raízes/m para estacas plantadas nos ângulos de 10°, 30° e 90°, respectivamente (Figura 22).

O trabalho de Sutili (2007), citado anteriormente, que também analisou o enraizamento de estacas de *Salix humboldtiana* em diferentes épocas do ano, reporta números de raízes por planta variando de 74 raízes por metro de estaca enterrada do outono ao inverno (abril a setembro) e de 13 raízes/m no período do verão ao outono (fevereiro a junho).

O conhecimento do número de raízes por estaca é uma variável de fundamental importância, pois a quantidade de raízes, além do comprimento e do diâmetro 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. Ambas as espécies produzem quantidade suficiente de raízes que permite utilizá-las em obras de engenharia natural, como já vem sendo pesquisado e constatado por outros autores.

4.1.3.2 Comprimento de raízes

A Tabela 7 apresenta os valores de mínimo, máximo, média e coeficiente de variação para o comprimento médio de raízes por estaca de *Phyllanthus sellowianus* e *Salix humboldtiana*.

Ambas as espécies não mostraram diferenças significativas para esta variável entre as estacas nos diferentes ângulos.

Tabela 7 - Comprimento médio de raízes (cm) de *Phyllanthus sellowianus* e *Salix humboldtiana* para os diferentes ângulos de plantio.

Ângulo de plantio	<i>Phyllanthus sellowianus</i>				<i>Salix humboldtiana</i>			
	Mínimo	Média	Máximo	CV%	Mínimo	Média	Máximo	CV%
10°	3,0	13,1 a	22,0	33,4	0,0	18,9 a	49,3	59,4
30°	0,0	12,0 a	18,5	34,5	0,0	22,6 a	66,7	63,1
90°	7,0	14,1 a	22,6	28,1	0,0	27,5 a	79,9	69,3

CV % = coeficiente de variação em porcentagem;

Médias seguidas de mesma letra, na mesma coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey em nível de 5% de probabilidade de erro.

Também é possível visualizar na Tabela 7 que *Salix humboldtiana* apresentou valores do comprimento médio de raízes por estaca superiores aos encontrados para *Phyllanthus sellowianus*.

No entanto, de acordo com Sutili (2007), apenas a análise dos valores médios do comprimento de raízes por estaca não fornece informações muito precisas, e podem, inclusive, levar a um erro de avaliação sobre a competência biotécnica das plantas.

Por esta razão, são apresentados na Tabela 8 os valores de mínimo, máximo, média e coeficiente de variação da soma do comprimento de raízes de *Phyllanthus sellowianus* e *Salix humboldtiana*, bem como o teste de comparação de média para esta variável.

Para *Phyllanthus sellowianus*, as estacas plantadas em ângulo de 90° foram as que proporcionaram a maior média da soma do comprimento de raízes (44,9 m), diferindo significativamente da média das estacas plantadas em ângulos de 10° e 30° (Tabela 8).

A soma do comprimento de raízes também foi avaliada por Sutili (2007) quando realizou os experimentos com estacas de *Phyllanthus sellowianus* em diferentes épocas do

ano, tendo como substrato a água, obtendo valores em torno de 13 m por metro de estaca enterrada do outono ao inverno (abril a setembro), de 3 m no período do verão a outono (fevereiro a junho) e de 20 m para estacas cultivadas da primavera ao verão (setembro a fevereiro).

Tabela 8 - Soma de comprimento de raízes (m) por metro de estaca enterrada de *Phyllanthus sellowianus* e *Salix humboldtiana* para os diferentes ângulos de plantio.

Ângulo de plantio	<i>Phyllanthus sellowianus</i>				<i>Salix humboldtiana</i>			
	Mínimo	Média	Máximo	CV%	Mínimo	Média	Máximo	CV%
10°	3,7	25,7 b	58,6	48,9	0,0	7,5 a	17,7	67,4
30°	0,0	29,9 b	64,2	48,4	0,0	8,0 a	24,3	73,2
90°	12,5	44,9 a	96,4	46,4	0,0	9,6 a	35,0	82,1

CV % = coeficiente de variação em porcentagem;

Médias seguidas de mesma letra, na mesma coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey em nível de 5% de probabilidade de erro.

As estacas de *Salix humboldtiana* plantadas em ângulo de 90° apresentaram tendência à média mais elevada soma do comprimento de raízes; no entanto, esta não apresentou diferença significativa em relação à média das estacas plantadas nos ângulos de 10° e 30° (Tabela 8).

Outra característica importante para a engenharia natural é a forma como os diferentes comprimentos de raízes se distribuem. Para verificar tal propriedade, a Figura 23 demonstra a distribuição da frequência absoluta do comprimento das raízes de *Phyllanthus sellowianus* nos três ângulos de plantio.

Os ângulos de plantio de 10° e 30° apresentaram um maior número de raízes (maior frequência de raízes) com valores do comprimento das raízes, variando de 2,5 a 15 cm e a minoria acima destes valores, atingindo máximos de 55 e 60 cm, respectivamente. No entanto, a maioria das raízes de estacas plantadas no ângulo de 90° apresentou valores variando de 2,5 a 15 cm, além de muitas raízes com valores acima de 35 cm (Figura 23).

A Figura 24 possibilita visualizar que a distribuição do comprimento de raízes de *Salix humboldtiana* foi semelhante em todos os ângulos de plantio.

Salix humboldtiana apresentou uma distribuição do comprimento de raízes semelhantes nos três ângulos de plantio, ou seja, a maioria das raízes (maior frequência de raízes) apresentou valores entre 5 e 30 cm e poucas acima deste comprimento (Figura 24).

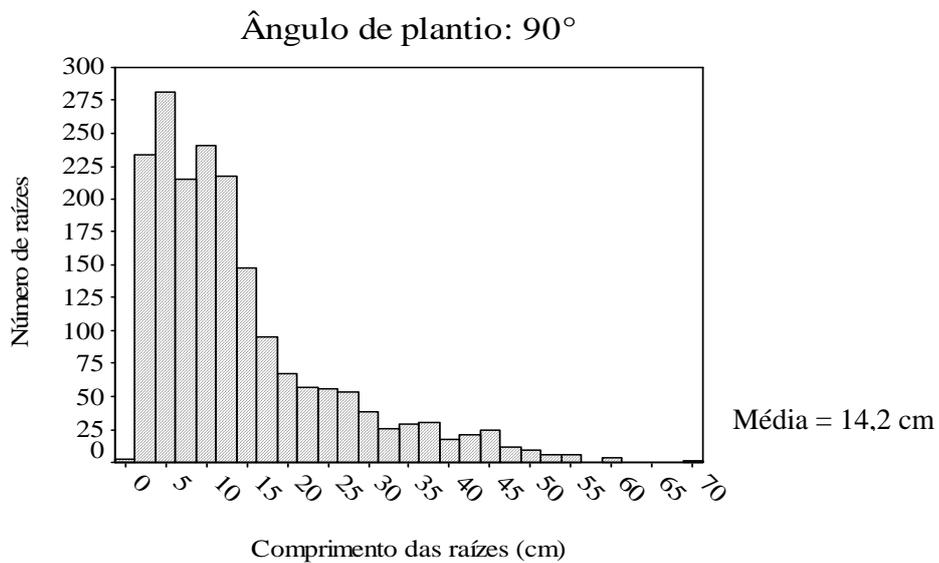
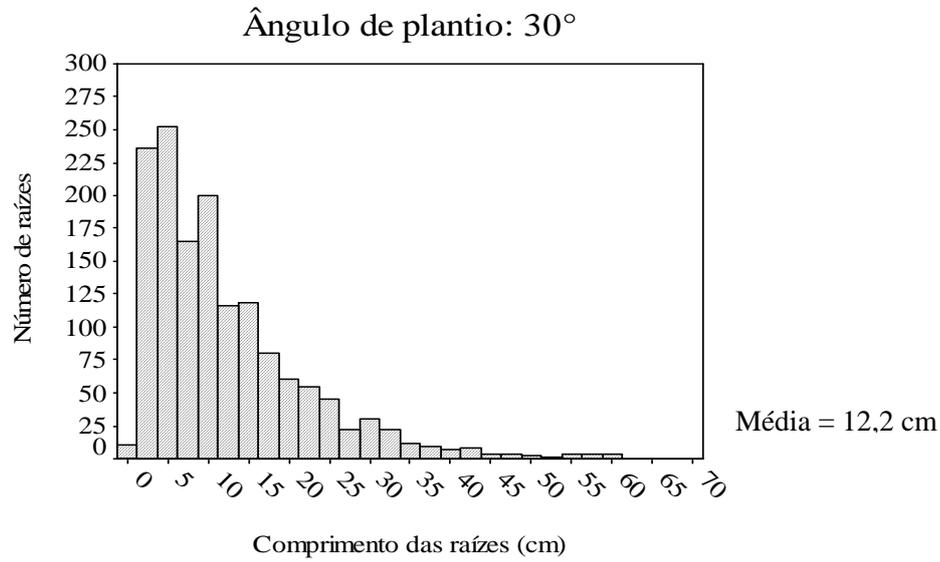
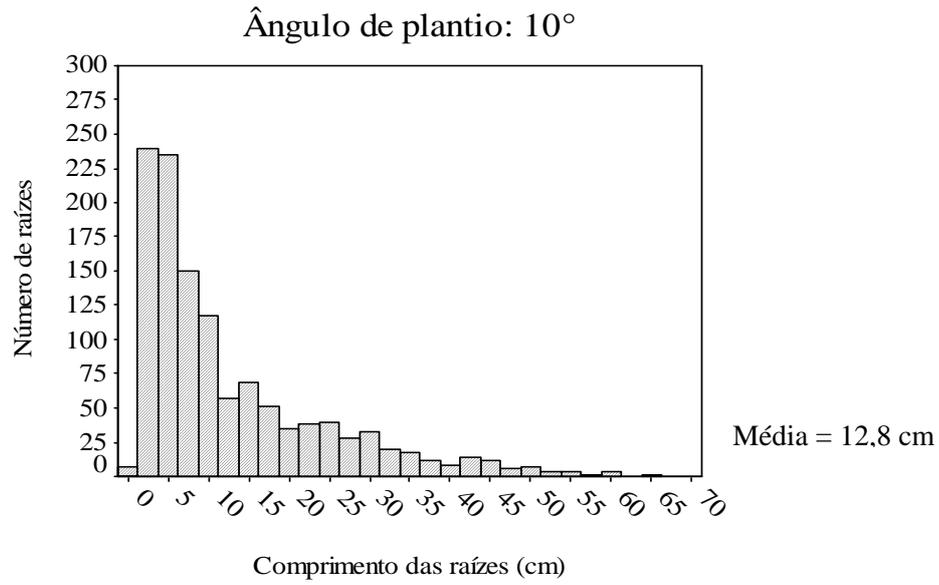


Figura 23 - Distribuição de freqüência absoluta do comprimento de raízes (cm) de *Phyllanthus sellowianus* para os diferentes ângulos de plantio.

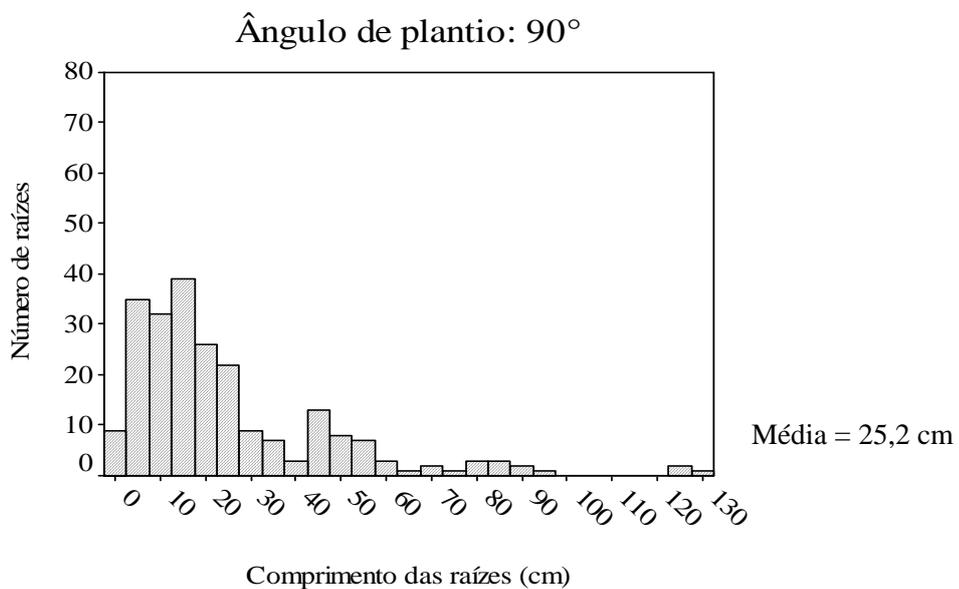
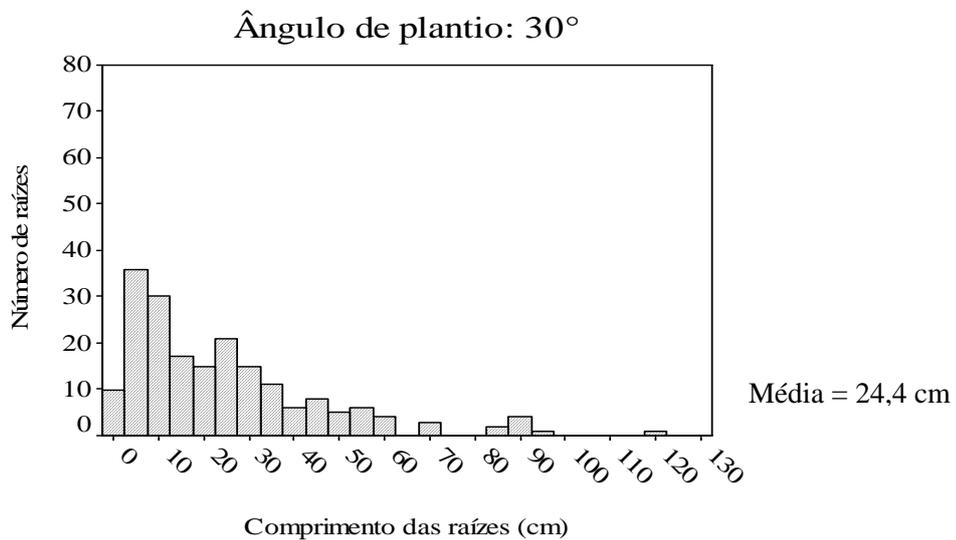
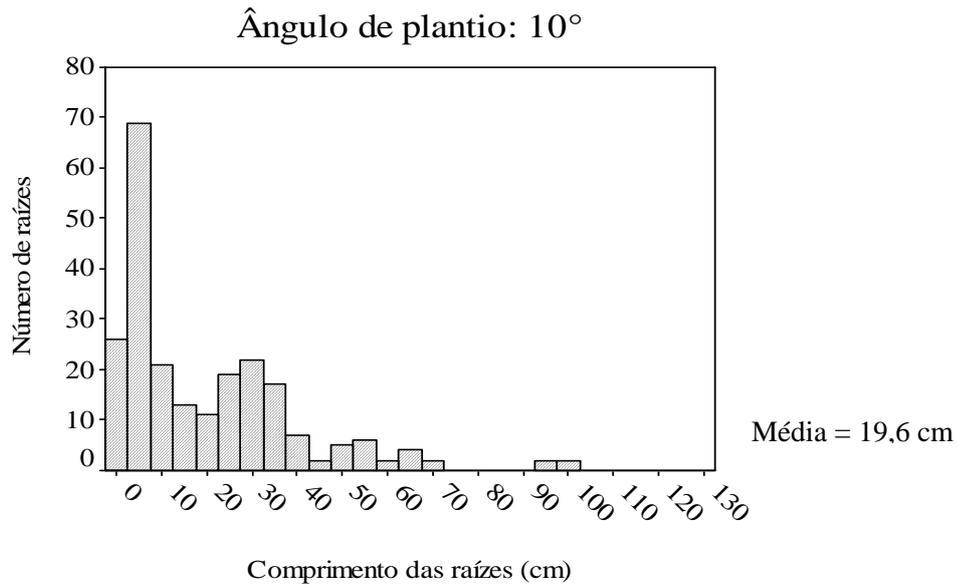


Figura 24 - Distribuição de freqüência absoluta do comprimento de raízes (cm) de *Salix humboldtiana* para os diferentes ângulos de plantio.

4.1.3.3 Comprimento e diâmetro da raiz mais longa

O comprimento da raiz mais longa é um indicativo do alcance potencial do sistema radicial em obras de engenharia natural. Uma planta pode produzir um grande número e volume de raízes pequenas e ser boa para determinados fins ou apresentar poucas raízes, porém longas, servindo para outros objetivos.

Os comprimentos da raiz mais longa de *Phyllanthus sellowianus* e de *Salix humboldtiana*, respectivamente, são apresentados na Figura 25. Nesta, é possível observar, para *Phyllanthus sellowianus*, que os valores da mediana para cada ângulo de plantio são semelhantes, embora o ângulo de 30° tenha apresentado menor mediana, além da maioria de suas estacas possuírem comprimento da raiz mais longa abaixo da mediana.

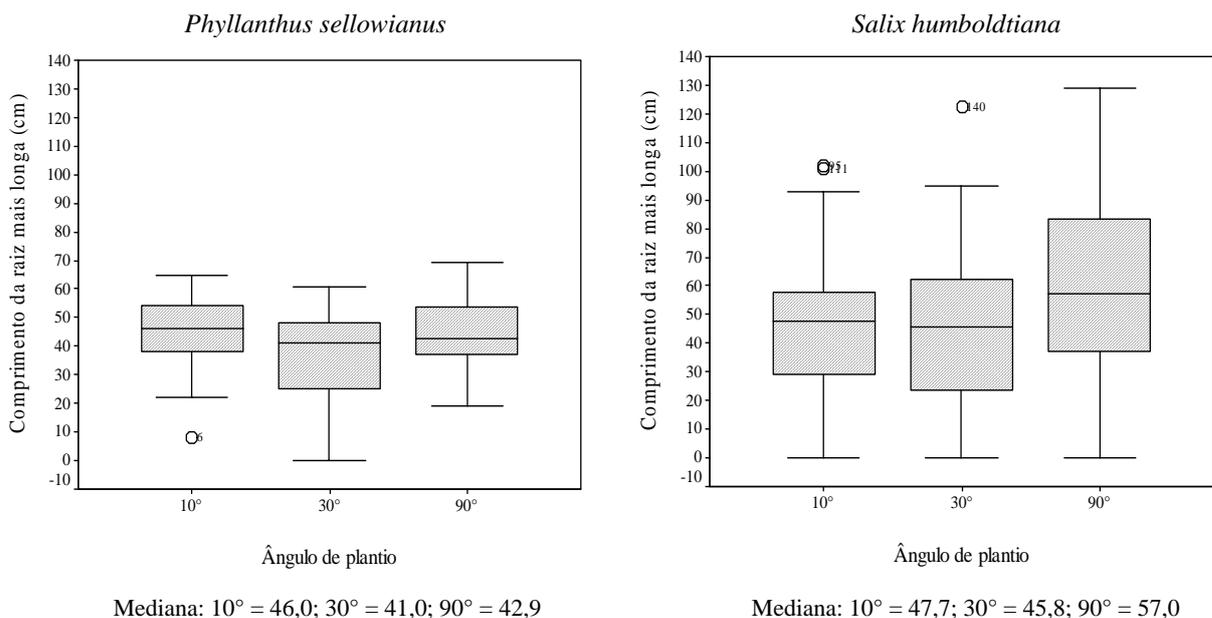


Figura 25 - Comprimento da raiz mais longa (cm) de *Phyllanthus sellowianus* e *Salix humboldtiana* para os diferentes ângulos de plantio.

Estacas plantadas no ângulo de 10° tiveram tendência de valor mais elevado da média do comprimento da raiz mais longa seguidas das plantadas em ângulos de 90° e de 30°. No entanto, a diferença entre as médias não foi significativa, ou seja, o ângulo de plantio não influenciou significativamente o comprimento da raiz mais longa de *Phyllanthus sellowianus* e *Salix humboldtiana* (Tabela 9).

Tabela 9 - Médias do comprimento da raiz mais longa (cm) de *Phyllanthus sellowianus* e *Salix humboldtiana* para os diferentes ângulos de plantio.

Espécies	Ângulos de plantio		
	10°	30°	90°
<i>Phyllanthus sellowianus</i>	45,3 a	38,5 a	43,8 a
<i>Salix humboldtiana</i>	44,9 a	48,0 a	60,2 a

Médias seguidas de mesma letra, na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey em nível de 5% de probabilidade de erro.

Na Figura 25, é apresentada também a distribuição do comprimento da raiz mais longa de *Salix humboldtiana*, na qual se pode notar que o ângulo de 90° apresentou a maior mediana e maior número de estacas com valores acima desta.

O ângulo de plantio não influenciou significativamente o comprimento da raiz mais longa de *Salix humboldtiana* (Tabela 9).

A Figura 26 apresenta as médias do diâmetro da raiz mais longa por estaca de *Phyllanthus sellowianus* e *Salix humboldtiana* nos três ângulos de plantio.

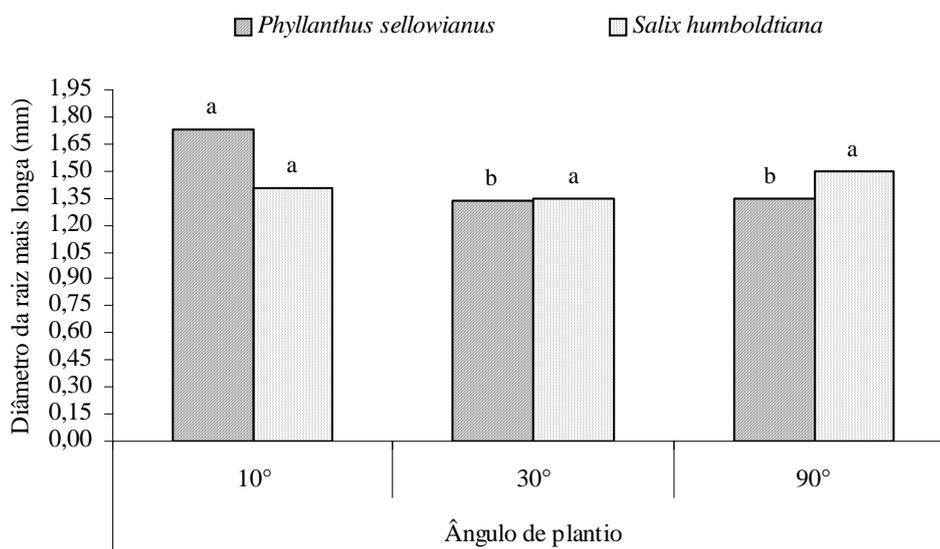


Figura 26 - Diâmetro médio da raiz mais longa (mm) de *Phyllanthus sellowianus* e *Salix humboldtiana* para os diferentes ângulos de plantio. Médias seguidas de mesma letra, para cada espécie, não diferem entre si pelo teste de Tukey em nível de 5% de probabilidade de erro.

Como é possível observar, não houve diferença significativa entre os tratamentos para

nenhuma das duas espécies (Figura 26).

Os valores médios do diâmetro da raiz mais longa por estaca neste trabalho foram superiores aos obtidos por Vargas (2007), que, ao avaliar *Phyllanthus sellowianus* e *Salix x rubens*, 90 dias após o plantio, encontrou valores do diâmetro médio das raízes muito próximos entre as duas espécies e abaixo de 1 mm.

4.1.3.4 Massa seca das raízes

A média da massa seca das raízes de *Phyllanthus sellowianus* apresentou diferença significativa entre os ângulos de plantio: as estacas plantadas no ângulo de 90° foram as que apresentaram o maior valor não diferindo das plantadas em 10°, mas diferente das plantadas no ângulo de 30° (Figura 27).

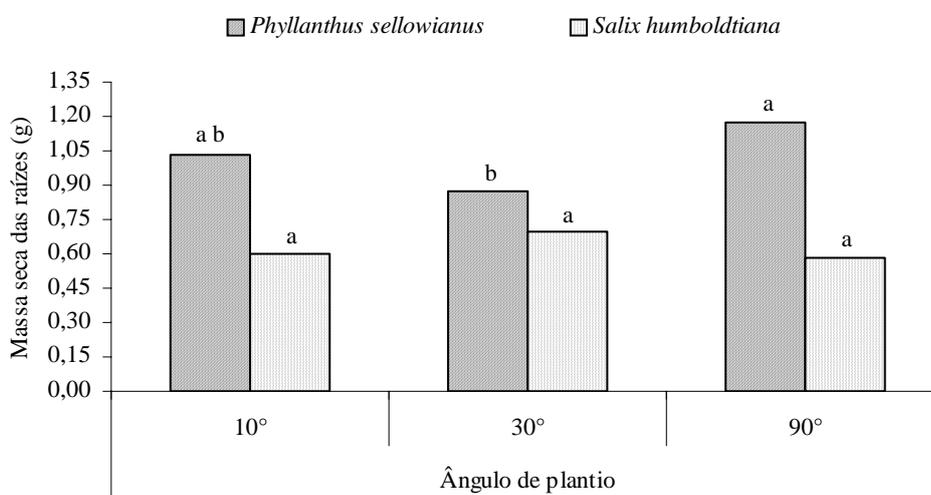


Figura 27 - Média da massa seca das raízes (g) de *Phyllanthus sellowianus* e *Salix humboldtiana* para os diferentes ângulos de plantio. Médias seguidas de mesma letra, para cada espécie, não diferem entre si pelo teste de Tukey em nível de 5% de probabilidade de erro.

O ângulo de 30° foi o que proporcionou tendência mais elevada da média da massa seca das estacas de *Salix humboldtiana*, mas esta não apresentou diferença significativa em relação à média das estacas plantadas nos ângulos de 10° e 90° (Figura 27).

Na comparação entre as duas espécies, foi comprovada a diferença significativa

(Tabela 13). A produção de massa seca de *Phyllanthus sellowianus* é superior.

4.1.3.5 Volume de raízes

Os valores estatísticos referentes ao volume de raízes por estaca de *Phyllanthus sellowianus* e *Salix humboldtiana* são apresentados na Tabela 10.

Tabela 10 - Volume de raízes (cm³) de *Phyllanthus sellowianus* e *Salix humboldtiana* para os diferentes ângulos de plantio.

Ângulo de plantio	<i>Phyllanthus sellowianus</i>				<i>Salix humboldtiana</i>			
	Mínimo	Média	Máximo	CV%	Mínimo	Média	Máximo	CV%
10°	0,5	5,0a	11,5	54,5	0,0	2,8a	10,5	93,7
30°	0,0	3,9a	12,0	72,0	0,0	3,2a	10,0	94,8
90°	0,0	5,9a	21,0	81,2	0,0	2,3a	8,0	96,9

CV % = coeficiente de variação em porcentagem;

Médias seguidas de mesma letra, na mesma coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey em nível de 5% de probabilidade de erro.

Estacas de *Phyllanthus sellowianus* plantadas em ângulo de 90° apresentaram tendência mais elevada da média do volume de raízes; no entanto, este valor não diferiu significativamente das médias de estacas plantadas nos ângulos de 10° e 30°.

Também para *Salix humboldtiana* não houve diferença significativa entre as médias do volume de raízes de estacas plantadas nos três ângulos de plantio.

4.1.3.6 Distribuição das raízes

A distribuição das raízes foi feita pela contagem das mesmas segregando-as em dois grupos: estacas com raízes só na base (0-10 cm) e estacas com raízes distribuídas em toda a extensão da porção enterrada (20 cm) (Figura 28).

A Tabela 11 deixa claro que, para os ângulos de plantio de 10° e 90°, a maioria das

estacas de *Phyllanthus sellowianus* apresentou enraizamento apenas nos seus 10 cm basais. O ângulo de 30°, ao contrário, favoreceu o aparecimento de raízes ao longo das estacas (Figura 28).

A mesma Tabela 11 evidencia, ainda, que, quando ocorreu o enraizamento ao longo de toda a estaca, o número de raízes produzido foi superior ao produzido pelas estacas que só enraizaram na base. Para estacas plantadas em ângulos de 10° e 30°, estas diferenças foram significativas, o que não ocorreu para as estacas plantadas em ângulo de 90°.

Tabela 11 - Número de estacas e número de raízes de *Phyllanthus sellowianus* distribuídas ao longo ou na base das estacas, por tratamento.

Ângulo de plantio	Ao longo da estaca					Na base da estaca				
	N estacas	Mín	Méd	Máx	CV%	N estacas	Mín	Méd	Máx	CV%
10°	10*	27	52,6a*	69	26,8	20*	9	30,7b*	53	43,6
30°	18ns	41	57,5a*	98	28,0	11ns	14	35,4b*	56	38,5
90°	7*	30	70,0a ns	94	31,2	23*	32	54,9a ns	117	36,9

N estacas = número de estacas; Mín = mínimo; Méd = média; Máx = máximo; CV % = coeficiente de variação em porcentagem;

Médias seguidas da mesma letra, na mesma coluna, não apresentam influência do tratamento, pelo teste de Tukey em nível de 5% de probabilidade de erro.

Número de estacas e médias do número de raízes, na mesma linha, ligados por * ou por ns, apresentam diferença significativa ou não significativa, respectivamente, pela análise do teste F.

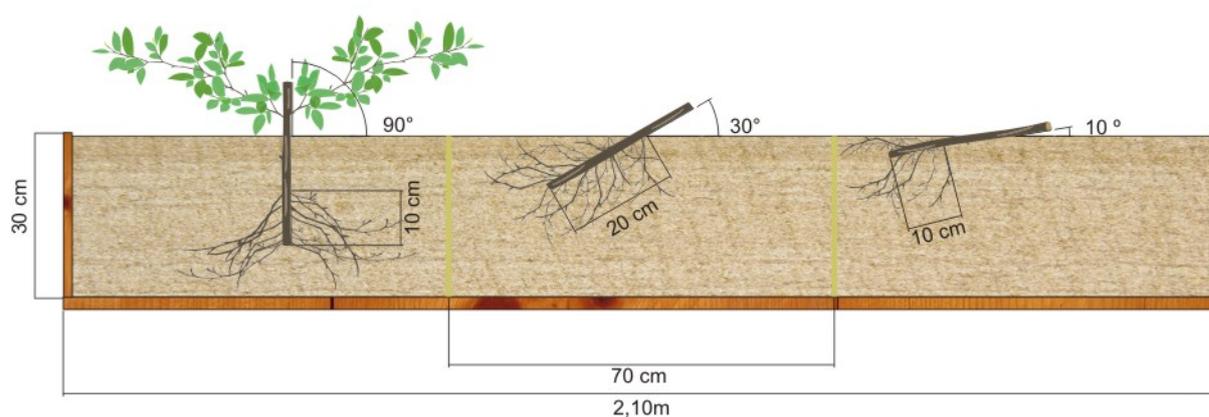


Figura 28 - Distribuição das raízes nas estacas de *Phyllanthus sellowianus* para os três ângulos de plantio.

Observando-se na Tabela 12 a distribuição das raízes de *Salix humboldtiana*, verifica-se que a maioria das estacas enraíza apenas na porção basal (0-10 cm) (Figura 29). De

maneira similar ao observado para *Phyllanthus sellowianus*, o ângulo de plantio de 30° parece proporcionar o surgimento de raízes também ao longo de toda a porção enterrada da estaca, embora este fato tenha ocorrido em um pequeno número de estacas (Tabela 12).

Tabela 12 - Número de estacas e número de raízes de *Salix humboldtiana* distribuídas ao longo ou na base das estacas, por tratamento.

Ângulo de plantio	Ao longo da estaca					Na base da estaca				
	N estacas	Mín	Méd	Máx	CV%	N estacas	Mín	Méd	Máx	CV%
10°	0	0	0	0	0	29	1	7,2a	14	49,5
30°	6	4	7,0	11	37,3	21	1	6,4a	13	44,9
90°	0	0	0	0	0	27	1	7,6a	23	74,0

N estacas = número de estacas; Mín = mínimo; Méd = média; Máx = máximo; CV % = coeficiente de variação em porcentagem;

Médias seguidas da mesma letra, na mesma coluna, não apresentam influência do tratamento, pelo teste de Tukey, em nível de 5% de probabilidade de erro.

Número de estacas e médias do número de raízes, na mesma linha, ligados por * ou por ns, apresentam diferença significativa ou não significativa, respectivamente, pela análise do teste F.

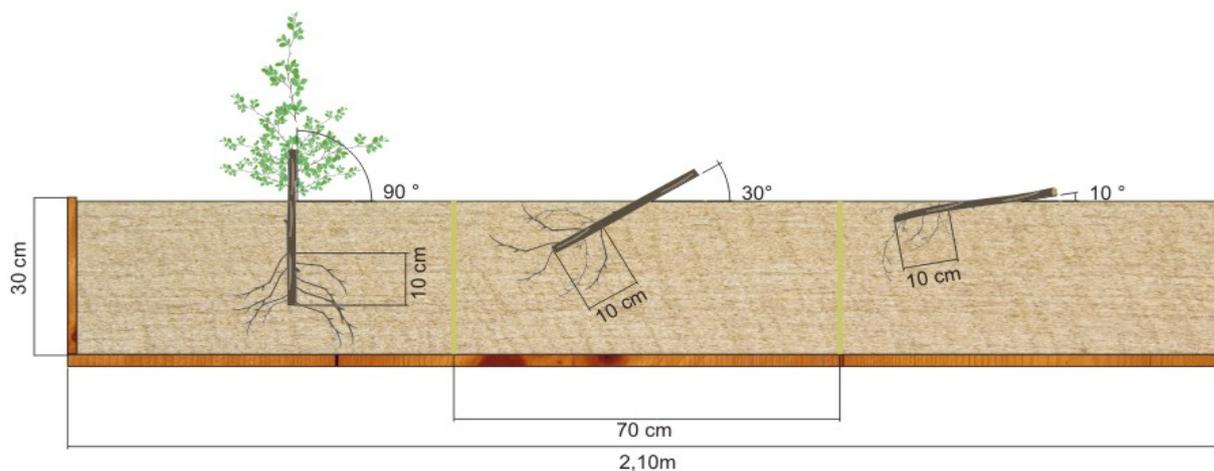


Figura 29 - Distribuição das raízes nas estacas de *Salix humboldtiana* para os três ângulos de plantio.

A média do número de raízes de *Salix humboldtiana* localizadas na base das estacas não apresentou diferença significativa entre os ângulos de plantio (Tabela 12). De maneira geral, a maioria das estacas de *Salix humboldtiana* produziu suas raízes na base da estaca, embora algumas estacas plantadas em ângulo de 30° tenham apresentado raízes ao longo de toda a porção enterrada. No entanto, não se realizou a comparação da distribuição das raízes

entre os compartimentos para cada ângulo de plantio, em função de que os ângulos de 10° e 90° não apresentaram nenhuma estaca com raízes distribuídas ao longo de toda a porção enterrada.

A tendência de distribuição das raízes observada neste trabalho mostrou-se diferenciada daquela mencionada por Sutili (2004), visto que este observou em *Salix humboldtiana* uma clara tendência de providenciar a maioria de suas raízes distribuídas igualmente em toda a extensão enterrada da estaca, ao passo que *Phyllanthus sellowianus* teria apresentado a maioria de suas raízes na base da estaca.

4.2 Comparações entre as espécies

A Tabela 13 apresenta a comparação entre *Phyllanthus sellowianus* e *Salix humboldtiana* para os valores de algumas variáveis de maior interesse para a engenharia natural. Ao se observar a análise de variância e a significância de F, apresentadas nos APÊNDICES A - H, para cada variável, é possível constatar que houve diferenças significativas entre as espécies.

Tabela 13 - Comparação da brotação e enraizamento de *Phyllanthus sellowianus* e *Salix humboldtiana* sem considerar os ângulos de plantio.

Espécie	Brotação			Enraizamento				
	NB	SCB	MSB	NR	SCR	MSR	CRL	VR
<i>Phyllanthus sellowianus</i>	3,04*	85,51ns	3,49*	50,73*	670,55*	1,02*	42,53*	4,93*
<i>Salix humboldtiana</i>	8,80*	92,34ns	1,33*	7,19*	167,71*	0,63*	51,06*	2,74*

NB = número de brotos; SCB = soma do comprimento de brotos; MSB = massa seca de brotos; NR = número de raízes; SCR = soma do comprimento de raízes; MSR = massa seca de raízes; CRL = comprimento da raiz mais longa; VR = volume de raízes.

* há diferença significativa entre as espécies; ns = não há diferença significativa entre as espécies.

As médias da massa seca dos brotos, do número, da soma do comprimento, da massa seca e do volume de raízes de *Phyllanthus sellowianus* foram superiores às encontradas para *Salix humboldtiana*. A única variável que não apresentou diferença significativa entre as duas espécies foi a soma do comprimento dos brotos.

Salix humboldtiana apresentou apenas as médias do número de brotos e o comprimento da raiz mais longa superiores às de *Phyllanthus sellowianus*.

Diante destes resultados, pode-se afirmar que, para a engenharia natural, *Phyllanthus sellowianus* apresentou melhores características biotécnicas.

4.3 Estatística inferencial

A fim de verificar se há correlação entre variáveis de maior interesse referentes à parte aérea ou à radicial e o tamanho das estacas, utilizou-se a área da seção transversal, obtendo-se os resultados dos itens 4.3.1 e 4.3.2. Para estas análises, foram utilizados apenas os dados de estacas vivas.

4.3.1 Relação entre a parte aérea e a área da seção transversal das estacas

A fim de verificar a correlação entre as variáveis de maior interesse referentes à parte aérea e à área da seção transversal das estacas de ambas as espécies estudadas, observaram-se os valores de significância da correlação de Pearson (Apêndice I).

A correlação entre o número, a soma do comprimento e a massa seca dos brotos e a área da seção transversal das estacas de *Phyllanthus sellowianus* apresentou-se significativa e positiva para o ângulo de plantio de 10° (Apêndice I). Também foi significativa e positiva a correlação entre a massa seca dos brotos e a área da seção transversal das estacas desta espécie, quando plantadas em ângulo de 30°.

Salix humboldtiana apresentou correlação significativa e positiva entre a área da seção transversal das estacas e a soma do comprimento dos brotos para o ângulo de plantio de 90°, bem como entre a área da seção transversal de estacas e a massa seca dos brotos para os ângulos de 30° e 90° (Apêndice I).

As Figuras 30 e 31 mostram, respectivamente, a estimativa do número e da soma do comprimento de brotos de *Phyllanthus sellowianus*, em ângulo de plantio de 10°, em função da área da seção transversal das estacas.

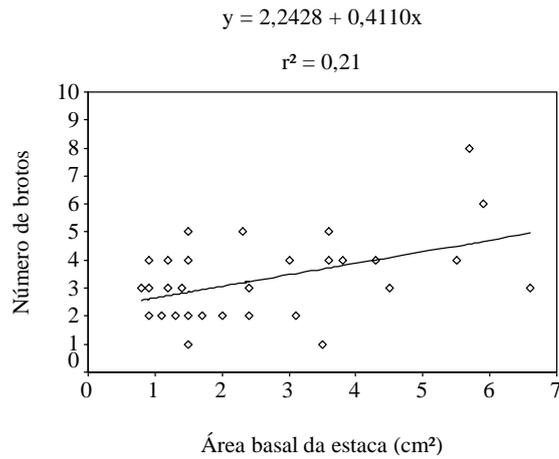


Figura 30 - Número de brotos em função da área da seção transversal das estacas de *Phyllanthus sellowianus* para o ângulo de plantio de 10°.

Observa-se, em ambas as figuras 30 e 31, que a tendência do aumento do número e da soma do comprimento dos brotos se dá de forma linear em relação ao aumento da área da seção transversal das estacas. Resultados semelhantes também foram observados por Vargas (2007), ao avaliar estacas de *Phyllanthus sellowianus* aos quatro meses após o plantio.

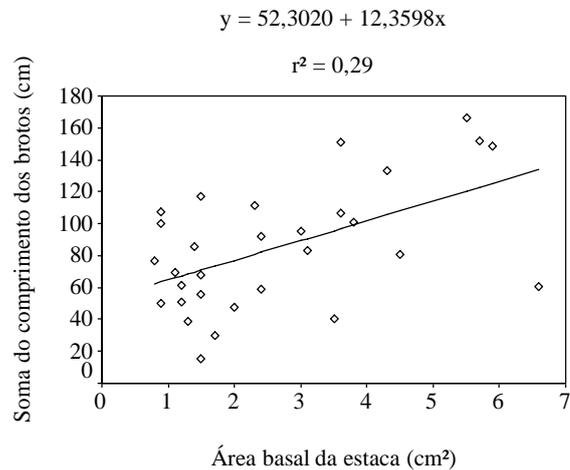


Figura 31 - Soma do comprimento dos brotos em função da área da seção transversal das estacas de *Phyllanthus sellowianus* para o ângulo de plantio de 10°.

Embora os modelos apresentados nas Figuras 30 e 31 sejam significativos, os baixos coeficientes de determinação ($r^2 = 0,21$ e $0,29$, respectivamente) não permitem que tais relações sejam encaradas mais fortemente do que apenas tendências.

A Tabela 14 apresenta os modelos de regressão e os respectivos coeficientes de determinação (r^2) para algumas variáveis que mostraram correlação de Pearson significativa.

Tabela 14 - Modelos de regressão e coeficientes de determinação para algumas variáveis de brotação em função da área da seção transversal da estaca para *Phyllanthus sellowianus* e *Salix humboldtiana*.

Espécies	Variáveis	Modelo	r^2
<i>Phyllanthus sellowianus</i>	MSB 10°	$y = 2,1141 + 0,4062x$	0,16
	MSB 30°	$y = 1,5686 + 0,5821x$	0,15
<i>Salix humboldtiana</i>	SCB 90°	$y = 63,6993 + 7,6437x$	0,16
	MSB 30°	$y = -0,2412 + 1,230 \ln x$	0,19
	MSB 90°	$y = 0,6664 + 0,3406x$	0,16

SCB = soma do comprimento de brotos; MSB = massa seca dos brotos; 10°, 30° e 90° = ângulos de plantio.

Pode-se observar que os modelos estatísticos foram todos lineares, exceto o modelo que representa a correlação entre a área da seção transversal da estaca e a massa seca dos brotos de *Salix humboldtiana* em ângulo de plantio de 30°, o qual é logarítmico.

Em razão dos baixos coeficientes de determinação, que variam de 0,15 a 0,19, ainda que os modelos mostrados na Tabela 14 tenham sido significativos, estes últimos permitem apenas a afirmação de que existem apenas tendências de as relações entre a área da seção transversal e as variáveis analisadas portarem-se de acordo com o modelo.

4.3.2 Relação entre o sistema radicial e a área da seção transversal das estacas

Também para conferir a correlação entre as variáveis de maior interesse referentes ao sistema radicial e a área da seção transversal das estacas de ambas as espécies estudadas, observaram-se os valores de significância da correlação de Pearson (Apêndice J).

Ambas as espécies apresentaram apenas uma variável com correlação significativa em função da área da seção transversal. Para *Phyllanthus sellowianus*, esta variável foi o número de raízes das estacas plantadas em ângulo de 10°, enquanto para *Salix humboldtiana* foi a massa seca das raízes, também para estacas plantadas em ângulo de 10° (Apêndice J).

Na Tabela 15, são apresentados os modelos de regressão e os respectivos coeficientes de determinação (r^2) para o número e massa seca de raízes de *Phyllanthus sellowianus* e *Salix humboldtiana*, respectivamente, em função da área da seção transversal da estaca.

Tabela 15 - Modelos de regressão e coeficientes de determinação para o número e a massa seca das raízes em função da área da seção transversal da estaca para *Phyllanthus sellowianus* e *Salix humboldtiana*.

Espécies	Variáveis	Modelo	r^2
<i>Phyllanthus sellowianus</i>	NR 10°	$y = 50,8427 - 3,9985x$	0,16
<i>Salix humboldtiana</i>	MSR 90°	$y = 0,1910 + 0,1821x$	0,22

NR = número de raízes; MSR = massa seca das raízes; 10° e 90° = ângulos de plantio.

Devido aos seus baixos coeficientes de determinação, como também observado para os modelos anteriores, apenas é possível afirmar que o número de raízes de *Phyllanthus sellowianus* apresentou tendência de diminuir, enquanto a massa seca das raízes de *Salix humboldtiana* aumentou, em função do aumento da área da seção transversal das estacas.

4.3.3 Relação entre a parte aérea e a radicial

Para conferir a correlação entre as variáveis de maior interesse, confeccionou-se, para ambas as espécies, em cada ângulo de plantio, uma matriz de correlação de Pearson (Apêndices L – Q). Quando houve correlação significativa, procurou-se escolher o modelo que melhor a descrevesse.

A Figura 32 mostra a relação entre a massa seca e o volume das raízes em função do número de brotos de *Phyllanthus sellowianus* para o ângulo de plantio de 10°. Ambas as relações foram mais bem descritas por uma função logarítmica, porém com coeficientes de determinação não muito elevados.

Percebe-se, na Figura 33, que a tendência do aumento da massa seca e do volume das raízes ocorre de forma linear em função do aumento da soma do comprimento dos brotos de *Phyllanthus sellowianus* para o ângulo de plantio de 10°. Já o aumento do comprimento da raiz mais longa em função do aumento da soma do comprimento dos brotos se dá de forma

logarítmica.

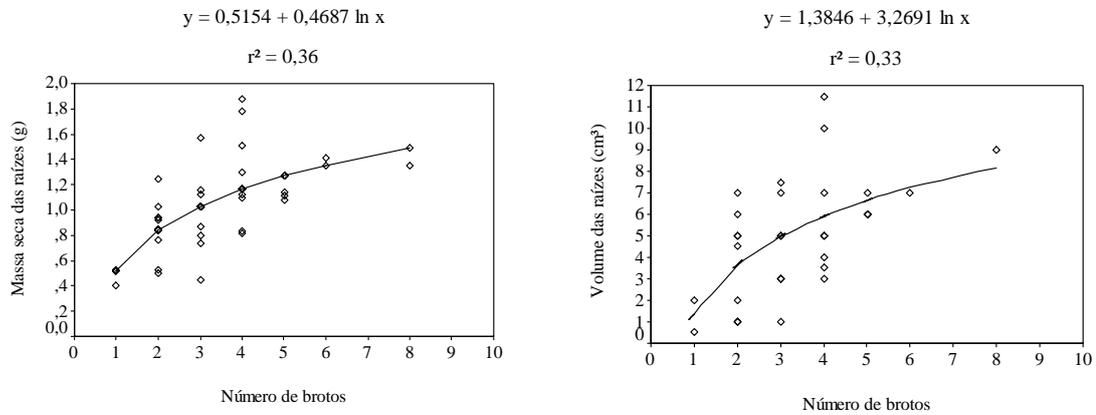


Figura 32 - Massa seca e volume das raízes em função do número de brotos de *Phyllanthus sellowianus* para o ângulo de plantio de 10°.

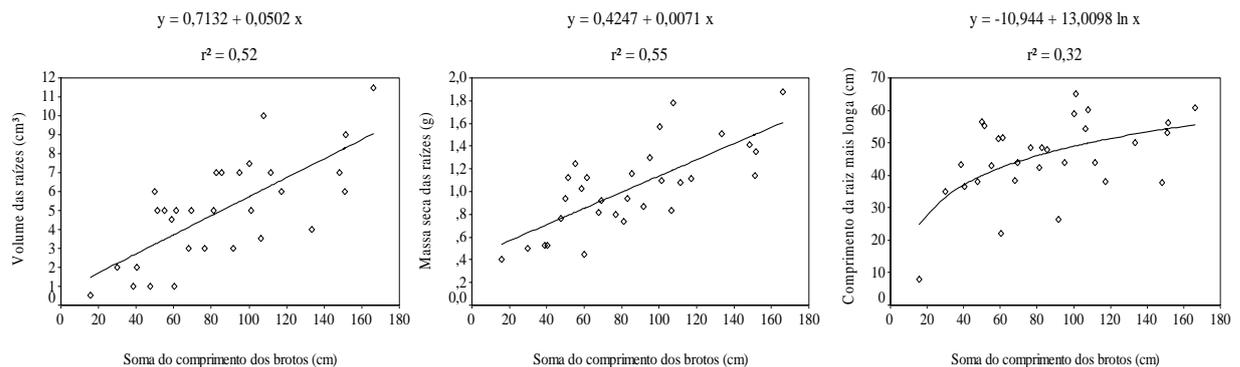


Figura 33 - Comprimento da raiz mais longa, massa seca e volume das raízes em função da soma do comprimento dos brotos de *Phyllanthus sellowianus* para o ângulo de plantio de 10°.

As demais variáveis analisadas em função da massa seca dos brotos têm seus modelos de regressão e os respectivos coeficientes de determinação apresentados na Tabela 16. O comprimento da raiz mais longa e a soma do comprimento das raízes tiveram seu aumento de forma linear em função do aumento da massa seca dos brotos de estacas de *Phyllanthus sellowianus* plantadas em ângulo de 10°, enquanto a massa seca e volume das raízes aumentaram de forma logarítmica.

Da Tabela 16 pode-se extrair que diversas variáveis do sistema radicial, de difícil mensuração, podem ser estimadas pela massa seca dos brotos com bons coeficientes de determinação.

Tabela 16 - Modelos de regressão e coeficientes de determinação para variáveis do sistema radicial em função da massa seca dos brotos para *Phyllanthus sellowianus* em ângulo de 10°.

Espécie	Variáveis	Modelo	r ²
<i>Phyllanthus sellowianus</i>	CRL	$y = 38,3622 + 7,7884 \ln x$	0,46
	SCR	$y = 405,575 + 122,287 \ln x$	0,27
	MSR	$y = 0,4916 + 0,1691 x$	0,59
	VR	$y = 1,3099 + 1,1508 x$	0,53

CRL = comprimento da raiz mais longa; SCR = soma do comprimento das raízes; MSR = massa seca das raízes; VR = volume das raízes.

As variáveis do sistema radicial de *Phyllanthus sellowianus* em ângulo de 30° não apresentaram correlação significativa em função do aumento do número de brotos (Apêndice M).

Na Tabela 17, são apresentadas as retas que representam as tendências de aumento do comprimento da raiz mais longa, da soma do comprimento e da massa seca das raízes das estacas de *Phyllanthus sellowianus* plantadas em ângulo de 30°, em função da soma do comprimento dos brotos. Todas as variáveis apresentaram funções lineares, embora seus coeficientes de determinação não sejam muito elevados.

Tabela 17 - Modelos de regressão e coeficientes de determinação para variáveis do sistema radicial em função da soma do comprimento dos brotos de *Phyllanthus sellowianus* para o ângulo de plantio de 30°.

Espécie	Variáveis	Modelo	r ²
<i>Phyllanthus sellowianus</i>	CRL	$y = 21,9064 + 0,2372 x$	0,21
	SCR	$y = 186,653 + 5,7319 x$	0,31
	MSR	$y = 0,5592 + 0,0046 x$	0,20

CRL = comprimento da raiz mais longa; SCR = soma do comprimento das raízes; MSR = massa seca das raízes.

Na Tabela 18, são apresentados os modelos de regressão que representam a correlação entre algumas variáveis da parte radicial e a massa seca dos brotos de estacas de *Phyllanthus sellowianus* em ângulo de 30° e seus coeficientes de determinação. Vê-se que o comprimento da raiz mais longa, a soma do comprimento e a massa seca das raízes aumentam de forma linear em função do aumento da massa seca dos brotos. Esta tendência é confirmada pelos

coeficientes de determinação, os quais possuem valores relativamente altos, 0,42, 0,45 e 0,55, respectivamente.

Tabela 18 - Modelos de regressão e coeficientes de determinação para variáveis do sistema radicial em função da massa seca dos brotos para *Phyllanthus sellowianus* em ângulo de 30°.

Espécie	Variáveis	Modelo	r ²
<i>Phyllanthus sellowianus</i>	CRL	$y = 23,2986 + 5,5277 x$	0,42
	SCR	$y = 281,292 + 113,87 x$	0,45
	MSR	$y = 0,5268 + 0,1263 x$	0,55

CRL = comprimento da raiz mais longa; SCR = soma do comprimento das raízes; MSR = massa seca das raízes.

Para as estacas de *Phyllanthus sellowianus* plantadas em ângulo de 90°, apenas o comprimento da raiz mais longa apresentou correlação significativa com o número de brotos (Apêndice N).

Das variáveis correlacionadas à soma do comprimento dos brotos de estacas de *Phyllanthus sellowianus* em ângulo de 90°, todas apresentaram tendência linear crescente (Tabela 19).

Tabela 19 - Modelos de regressão e coeficientes de determinação para variáveis do sistema radicial em função da soma do comprimento dos brotos para *Phyllanthus sellowianus* em ângulo de 90°.

Espécie	Variáveis	Modelo	r ²
<i>Phyllanthus sellowianus</i>	NR	$y = 35,5132 + 0,2792 x$	0,19
	CRL	$y = 22,9362 + 0,2111 x$	0,45
	SCR	$y = 79,3883 + 8,3023 x$	0,49
	MSR	$y = 0,0963 + 0,0109 x$	0,56
	VR	$y = -3,4716 + 0,095 x$	0,49

NR = número de raízes; CRL = comprimento da raiz mais longa; SCR = soma do comprimento das raízes; MSR = massa seca das raízes; VR = volume das raízes.

Os valores dos coeficientes de determinação para quase todos os modelos foram baixos, exceto para a massa seca das raízes que apresentou um valor de 0,56.

Os modelos de regressão que representam a correlação entre algumas variáveis do sistema radicial e a massa seca dos brotos para estacas de *Phyllanthus sellowianus* plantadas em ângulo de 90° e os seus coeficientes de determinação estão apresentados na Tabela 20. É possível perceber que somente o comprimento da raiz mais longa apresentou função logarítmica, enquanto todas as demais variáveis têm tendência linear crescente.

Os coeficientes de determinação podem ser considerados altos, exceto para o número de raízes, o qual apresentou valor de 0,32.

Tabela 20 - Modelos de regressão e coeficientes de determinação para variáveis do sistema radicial em função da massa seca dos brotos para *Phyllanthus sellowianus* em ângulo de 90°.

Espécie	Variáveis	Modelo	r ²
<i>Phyllanthus sellowianus</i>	NR	$y = 36,5268 + 6,0391 x$	0,32
	CRL	$y = 19,2575 + 17,8925 \ln x$	0,60
	SCR	$y = 195,503 + 159,989 x$	0,65
	MSR	$y = 0,2405 + 0,2122 x$	0,76
	VR	$y = -2,6154 + 1,9377 x$	0,72

NR = número de raízes; CRL = comprimento da raiz mais longa; SCR = soma do comprimento das raízes; MSR = massa seca das raízes; VR = volume das raízes.

Assim como para *Phyllanthus sellowianus*, muitas variáveis radiciais de *Salix humboldtiana* apresentaram correlação de Pearson significativa com variáveis da parte aérea (Apêndices O-Q). Entretanto, a Tabela 21 mostra os modelos somente para a soma do comprimento e a massa seca das raízes por serem as mais importantes para as obras de engenharia natural. Como variáveis independentes, foram eleitos apenas o número e a soma do comprimento dos brotos, por serem de fácil medição.

As correlações de todas as variáveis, para os três ângulos de plantio, deram-se de forma linear. No entanto, em razão dos baixos coeficientes de determinação, isto apenas indica uma tendência linear crescente das variáveis de enraizamento em função do aumento do número e da soma do comprimento dos brotos.

Uma afirmação mais positiva de relacionamento pode ser feita para a massa seca das raízes em função da soma do comprimento dos brotos, para estacas plantadas em ângulos de 30° e 90°. A massa seca de raízes, para estes dois ângulos de plantio depende 57% e 65%, respectivamente, da soma do comprimento dos brotos.

Tabela 21 - Modelos de regressão e coeficientes de determinação para variáveis do sistema radicial em função do número e da soma do comprimento dos brotos para *Salix humboldtiana* em ângulos de 10°, 30° e 90°.

Espécie	Ângulo de plantio	Variáveis independentes	Modelo	r ²
<i>Salix humboldtiana</i>	10°	NB	SCR = 83,5486 + 9,8415 x	0,23
		SCB	SCR = 102,227 + 0,714 x MSR = 0,4948 + 0,0016 x	0,23 0,18
	30°	NB	SCR = 23,1537 + 16,3198 x	0,40
		SCB	SCR = 47,7971 + 1,3163 x MSR = 0,2401 + 0,0053 x	0,46 0,57
	90°	SCB	SCR = 78,1312 + 1,2278 x MSR = 0,3434 + 0,0027 x	0,21 0,65

NB = número de brotos; SCB = soma do comprimento dos brotos; SCR = soma do comprimento das raízes; MSR = massa seca das raízes.

5 CONCLUSÕES

A partir do estudo da influência do ângulo de plantio de estacas de *Phyllanthus sellowianus* Müll. Arg., *Salix humboldtiana* Willd. e *Sebastiania schottiana* (Müll. Arg.) Müll. Arg., após 90 dias, foi possível elaborar as seguintes conclusões:

- o fato de *Sebastiania schottiana* não ter apresentado brotação, nem enraizamento, talvez possa ser explicado pela época de coleta das estacas, devendo ser testada em outras épocas do ano;

- o ângulo de plantio não influencia na sobrevivência de *Phyllanthus sellowianus*;

- o ângulo de plantio influencia no comportamento de brotação de *Phyllanthus sellowianus*: a soma do comprimento e a massa seca dos brotos são maiores para as estacas plantadas verticalmente;

- o número de estacas brotadas, o número e o diâmetro dos brotos de *Phyllanthus sellowianus* não são influenciados pelo ângulo de plantio;

- o ângulo de plantio influencia no enraizamento de *Phyllanthus sellowianus*: o número, a soma do comprimento e a massa seca das raízes são maiores para estacas plantadas verticalmente;

- a sobrevivência de *Salix humboldtiana* não é influenciada pelo ângulo de plantio;

- o ângulo de plantio não exerce influência sobre a brotação e o enraizamento de *Salix humboldtiana*;

- ambas as espécies apresentam a maioria das estacas com raízes localizadas na porção basal. Entretanto, o ângulo de 30° favorece a distribuição das raízes ao longo de toda a porção enterrada das estacas;

- diversas variáveis da parte aérea e radicial apresentam correlação positiva com a área da seção transversal da estaca, o que, entretanto, ainda não permite indicar que é melhor usar ramos mais grossos em obras de engenharia natural;

- com o número de brotos e/ou a soma do comprimento de brotos, consegue-se estimar relativamente bem diferentes variáveis do sistema radicial de cada uma das espécies;

- ao se comparar as duas espécies com vistas ao seu uso em engenharia natural, este estudo mostra que *Phyllanthus sellowianus* apresenta valores superior a *Salix humboldtiana*, com relação à maioria das variáveis analisadas.

6 RECOMENDAÇÕES

Com base nos resultados e nas conclusões apresentados neste trabalho é possível elaborar algumas recomendações:

- para a avaliação de trabalhos desta natureza é fundamental e de grande eficiência medir o número e o comprimento de brotos, visto que são variáveis de fácil obtenção, dão idéia do volume de parte aérea, além de poder se mostrar eficientes para estabelecer correlações entre a parte aérea e a radicial;

- para o sistema radicial também se recomenda a observação do número e do comprimento das raízes;

- ambas as espécies podem ser recomendadas para o uso em engenharia natural;

- a escolha de uma ou de outra espécie para o uso em uma determinada técnica de engenharia natural deve levar em consideração o ângulo em que as estacas serão plantadas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALTREITER, W.; PLUNGER, K. Ingenieurbiologische Maßnahmen am Rio Guarda-mor Südbrasilien. 2004, 164 f. Diplomarbeit an der Universität für Bodenkultur, Wien.

ARAÚJO, G. H. de S.; ALMEIDA, J. R. de; GUERRA, A. J. T. **Gestão ambiental de áreas degradadas**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2005. 320 p.

ASSIS, T. F. de; TEIXEIRA, S. L. Enraizamento de plantas lenhosas. In: TORRES, A. C.; CALDAS, L. S.; BUSSO, J. A. **Cultura de tecidos e transformação genética de plantas**. Brasília: EMBRAPA – SPI / EMBRAPA – CNPH, 1998. p. 261-296, v. 1.

AWAD, M.; CASTRO, P. R. C. **Introdução à fisiologia vegetal**. São Paulo: Nobel, 1983. 177 p.

BARBOSA, L. M.; GISLER, C. V. T.; ASPERTI, L. M. Desenvolvimento inicial de oito espécies vegetais arbóreas em dois modelos de reflorestamento implantados em área de mata ciliar degradada em Santa Cruz das Palmeiras, SP. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS, 3., 1997, Ouro Preto. **Anais...** Viçosa. Sociedade Brasileira de Recuperação de Áreas Degradadas. Universidade Federal de Viçosa, 1997. p. 156-165.

BLAKESLEY, D. Auxin metabolism and adventitious root formation. In: Davis T. D., Hassig, B. E. (Eds), **Biology of Adventitious Root Formation**. New York, 1994. p. 143-154,.

BOELCKE, O. **Plantas vasculares de la Argentina nativas y exóticas**. Buenos Aires, 1981.

CABRERA, A. L. et al. **Flora de la Provincia de Buenos Aires: Oxalidáceas a Umbelíferas**. Parte IV. Buenos Aires: Instituto Nacional de Tecnología Agropecuária, 1965.

CARPANEZZI, A. A. Benefícios indiretos da floresta. In: GALVÃO, A. P. M. (Org) **Reflorestamento de propriedades rurais para fins produtivos e ambientais: um guia para ações municipais e regionais**. Colombo: Embrapa Florestas, 2000. p 19-55.

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**, Oxford, v. 29, n. 6, p. 315-324, Aug. 2004.

DAVIDE, A. C. et al. Restauração de matas ciliares. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 21, n. 207, p. 65-74, nov./dez. 2000.

DENARDI, L. **Anatomia e flexibilidade do caule de quatro espécies lenhosas para o manejo biotécnico de cursos de água**. 2007. 112 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria.

DURLO, M. A. Biotécnicas no manejo de cursos de água. **Ciência & Ambiente**. Santa Maria, v. 21, n. 2, p. 81-90, jul./dez. 2000.

DURLO, M. A.; SUTILI, F. J. Uso da bioengenharia na estabilização de um talude fluvial. In: SIMPÓSIO LATINO-AMERICANO SOBRE MANEJO FLORESTAL, 3., 2004, Santa Maria. **Anais...** Santa Maria. Programa de Pós-graduação em Engenharia Florestal. Universidade Federal de Santa Maria, 2004. p. 312-323.

DURLO, M. A.; SUTILI, F. J. **Bioengenharia: manejo de cursos de água**. Porto Alegre: EST, 2005. 189 p.

FACHINELLO, J. C. et al. **Propagação de plantas frutíferas de clima temperado**. Pelotas: UFPEL, 1994. 179 p.

FIORI, A. P.; CARMIGNANI, L. Influência da vegetação na estabilidade de taludes. In: **Fundamentos de mecânica dos solos e das rochas: aplicações na estabilidade de taludes**. Curitiba: Ed. da UFPR, 2001. cap. 8, p. 295-318.

FLORINETH, F. **Pflanzen statt Beton: Handbuch zur Ingenieurbiologie und Vegetationstechnik**. Berlin – Hannover: Patzer Verlag, 2004. 272 p.

FRASSETTO, E. G. **Enraizamento adventício de estacas de *Sebastiania schottiana* Müll. Arg.** 2007, 113 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria.

HARTMANN, H. T.; KESTER, D. E. **Plant propagation: principles and practices**. 3rd ed. New Jersey: Englewood Cliffs, 1975. 662 p.

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

LOMBARDO, A. **Flora arbórea y arborescente del Uruguay**. 2. ed. Montevideo, 1964, 218 p.

LORENZI, H. **Árvores brasileiras: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil**. Nova Odessa: Plantarum, 1992, 352 p.

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

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

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

NAG, S. et al. Role of auxin and polyamines in adventitious root formation in relation to changes in compounds involved in rooting. **Journal of Plant Growth Regulation**. New York, v. 20, n. 2, p. 182-194, June 2001.

NETTO, A. L. C. Hidrologia de Encosta na Interface com a Geomorfologia. In: GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S. B. (Org.). **Geomorfologia: Uma Atualização de Bases e Conceitos**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil. 2001, p. 93-148.

PORTO, M. L. Os campos sulinos: sustentabilidade e manejo. **Ciência & Ambiente**. Santa Maria, v. 24, n. 1, p. 119-138, jan./jun. 2002.

QUADROS, F. L. F. de; PILLAR, V. de P. Transições floresta-campo no Rio Grande do Sul. **Ciência & Ambiente**. Santa Maria, v. 24, n. 1, p. 109-118, jan./jun. 2002.

RAVEN, P. H.; EVERT, R. F.; CURTIS, H. **Biologia Vegetal**. 5 ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 1996. 728 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.

SCHIECHTL, H. M. **Bioingegneria forestale: Basi - materiali da costruzione vivi - metodi**. Feltre: Ed. Castaldi, 1973, 263 p.

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

SCHWARZBOLD, A. O que é um rio? **Ciência & Ambiente**, v. 21, n. 2, p. 57-68, jul./dez. 2000.

SMITH, L. B.; DOWNS, R.J.; KLEIN, R. M. Euforbiáceas. In: REITZ, P. R. (Org.) **Flora ilustrada catarinense**. Itajaí: Herbário Barbosa Rodrigues, 1988. 408 p.

SOARES, P. R. de B.; PEREZ FILHO, A. Recomposição de mata ciliar em planícies de inundação – proposta metodológica. In.: SIMPÓSIO NACIONAL DE RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS, 3., 1997, Ouro Preto. **Anais...** Viçosa. Sociedade Brasileira de Recuperação de Áreas Degradadas. Universidade Federal de Viçosa, 1997. p. 14-26.

SOUZA, V. C.; LORENZI, H. **Botânica Sistemática**: guia ilustrado para identificação das famílias de Angiospermas dicotiledôneas da flora brasileira, baseado em APG II. Nova Odessa: Plantarum, 2005. 640 p.

STORCK, L.; LOPES, S. J.; LÚCIO, A. D. **Experimentação II**. 3. ed. Santa Maria: UFSM, CCR, Departamento de Fitotecnia, 2004. 207 p.

STYCZEN, M. E.; MORGAN, R. P. C. Engineering properties of vegetation. In: MORGAN, R. P. C.; RICKSON, R. J. **Slope stabilization and erosion control**: a bioengineering approach. London: E & FN Spon, 1995. p. 5 - 58.

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

SUTILI, F. J.; DURLO, M. A.; BRESSAN, D. A. Potencial biotécnico do sarandi-branco (*Phyllanthus sellowianus* Müll. Arg.) e vime (*Salix viminalis* L.) para revegetação de margens de curso de água. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 14, n. 1, p. 13-20, jun. 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. 95 f. Tese de Doutorado (Instituto de Bioengenharia de Solos e Planejamento da Paisagem) - Universidade Rural de Viena, Viena, Áustria.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia Vegetal**. 3. ed. Porto Alegre: Artmed, 2004, 719 p.

VARGAS, C. O. **Características biotécnicas de *Phyllanthus sellowianus* Müll. Arg., *Salix x rubens* Schanck e *Sebastiania schottiana* (Müll. Arg) Müll. Arg.** 2007. 84 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria.

WASSNER, D.; RAVETTA, D. Vegetative propagation of *Grindelia chiloensis* (Asteraceae). **Industrial Crops and Products**, Amsterdam, v.11, n. 1, p.7-10, Jan. 2000.

WILSON, P. J. The growth and form of potted mother plants of *Eucalyptus globulus* Labill. ssp. *globulus* in relation to the rooting ability of stem cuttings. **Journal Of Horticultural Science & Biotechnology**. Ashford, v. 74, n. 5, p. 956-959, Sept./Oct. 1999.

ANEXOS

Anexo A - Laudo de solos.



MEC - Universidade Federal de Santa Maria
Centro de Ciências Rurais - Departamento de Solos

Santa Maria/RS. CEP: 97105-900
Fone/Fax: (55)3220-8153
<http://www.usfm.br/solos>

Laudo de Análise de Solo



DEPARTAMENTO DE SOLOS-CCR-UFSM

Nome: JOSITA SOARES MONTEIRO
Município: SANTA MARIA
Localidade:

Solicitante: MIGUEL DURLO
Endereço:
Entrada: 10/09/07

Emissão: 26/09/07

Registro	Cx.	Cel.	Identificação da amostra	Área(ha)	Sistema de cultivo	Prof.(cm)	Georef.
10791	B13	23	areia				

Diagnóstico para acidez do solo e calagem

Registro	pH água	Ca	Mg	Al	H+Al	CTC efet.	Saturação (%)		Índice
	1:1	----- Cmol/dm ³ -----				Al	Bases	SMP	
10791	5,7	0,1	0,1	0,0	0,9	0,3	0	22	7,4

Diagnóstico para macronutrientes e recomendação de adubação NPK-S

Registro	% MO	% argila	Textura	S	P-Mehlich	P-resina	K	CTC pH _{7,0}	K
	----- m/v -----			----- mg/dm ³ -----			----- Cmol/dm ³ -----	mg/dm ³	
10791	0,1	8	4	-X-	4,5	-X-	0,06	1,2	24

Diagnóstico para micronutrientes e relações molares

Registro	Cu	Zn	B	Fe	Mn	Na	Relações Molares		
	----- mg/dm ³ -----						Ca/Mg	(Ca+Mg)/K	K/(Ca+Mg) ^{1/2}
10791	-X-	-X-	-X-	-X-	-X-	-X-	1,0	3,2	0,137

Busca N 13/07



SELO DE QUALIDADE
Análise Básica + Micronutrientes
2007

PESQUISA
Eng. Agr. Hardi Rene Bartz
CREA: 006028

APÊNDICES

Apêndice A - Análise da variância para a comparação do número de brotos de *Phyllanthus sellowianus* entre os ângulos de plantio (10°, 30° e 90°) aos 30 dias.

CV	GL	SQ	QM	Fc	Sig
Tratamento	2	6,867	3,433	1,109	0,334 ns
Erro	87	269,233	3,095		
Total	89	276,100			

Apêndice B - Análise da variância para a comparação do número de brotos de *Phyllanthus sellowianus* entre os ângulos de plantio (10°, 30° e 90°) aos 60 dias.

CV	GL	SQ	QM	Fc	Sig
Tratamento	2	8,022	4,011	1,858	0,162 ns
Erro	87	187,800	2,159		
Total	89	195,822			

Apêndice C - Análise da variância para a comparação do número de brotos de *Phyllanthus sellowianus* entre os ângulos de plantio (10°, 30° e 90°) aos 90 dias.

CV	GL	SQ	QM	Fc	Sig
Tratamento	2	9,156	4,578	2,390	0,098 ns
Erro	87	166,667	1,916		
Total	89	175,822			

Apêndice D - Análise da variância para a comparação do comprimento médio de brotos de *Phyllanthus sellowianus* entre os ângulos de plantio (10°, 30° e 90°) aos 30 dias.

CV	GL	SQ	QM	Fc	Sig
Tratamento	2	331,820	165,910	6,558	0,002*
Erro	87	2200,899	25,298		
Total	89	2532,720			

Apêndice E - Análise da variância para a comparação do comprimento médio de brotos de *Phyllanthus sellowianus* entre os ângulos de plantio (10°, 30° e 90°) aos 60 dias.

CV	GL	SQ	QM	Fc	Sig
Tratamento	2	315,972	157,986	2,139	0,124 ns
Erro	87	6425,909	73,861		
Total	89	6741,881			

Apêndice F - Análise da variância para a comparação do comprimento médio de brotos de *Phyllanthus sellowianus* entre os ângulos de plantio (10°, 30° e 90°) aos 90 dias.

CV	GL	SQ	QM	Fc	Sig
Tratamento	2	669,464	334,732	2,883	0,061*
Erro	87	10099,497	116,086		
Total	89	10768,961			

Apêndice G - Análise da variância para a comparação da soma comprimento de brotos de *Phyllanthus sellowianus* entre os ângulos de plantio (10°, 30° e 90°) aos 30 dias.

CV	GL	SQ	QM	Fc	Sig
Tratamento	2	3412,393	1706,196	4,452	0,014*
Erro	87	33344,876	383,274		
Total	89	36757,269			

Apêndice H - Análise da variância para a comparação da soma comprimento de brotos de *Phyllanthus sellowianus* entre os ângulos de plantio (10°, 30° e 90°) aos 60 dias.

CV	GL	SQ	QM	Fc	Sig
Tratamento	2	6278,762	3139,381	3,026	0,054*
Erro	87	90253,638	1037,398		
Total	89	96532,400			

Apêndice I - Análise da variância para a comparação da soma do comprimento de brotos de *Phyllanthus sellowianus* entre os ângulos de plantio (10°, 30° e 90°) aos 90 dias.

CV	GL	SQ	QM	Fc	Sig
Tratamento	2	10087,853	5043,926	4,013	0,022*
Erro	87	109357,343	1256,981		
Total	89	119445,196			

Apêndice J - Análise da variância para a comparação da massa seca de brotos de *Phyllanthus sellowianus* entre os ângulos de plantio (10°, 30° e 90°) aos 90 dias.

CV	GL	SQ	QM	Fc	Sig
Tratamento	2	38,149	19,075	5,605	0,005*
Erro	87	296,078	3,403		
Total	89	334,227			

Apêndice K - Análise da variância para a comparação do diâmetro médio de brotos de *Phyllanthus sellowianus* entre os ângulos de plantio (10°, 30° e 90°) aos 90 dias.

CV	GL	SQ	QM	Fc	Sig
Tratamento	2	4,819	2,409	2,080	0,131 ns
Erro	87	100,766	1,158		
Total	89	105,585			

Apêndice L - Análise da variância para a comparação do número de brotos de *Salix humboldtiana* entre os ângulos de plantio (10°, 30° e 90°) aos 30 dias.

CV	GL	SQ	QM	Fc	Sig
Tratamento	2	217,622	108,811	3,697	0,029*
Erro	87	2560,333	29,429		
Total	89	2777,956			

Apêndice M - Análise da variância para a comparação do número de brotos de *Salix humboldtiana* entre os ângulos de plantio (10°, 30° e 90°) aos 60 dias.

CV	GL	SQ	QM	Fc	Sig
Tratamento	2	37,422	18,711	0,693	0,503 ns
Erro	87	2348,400	26,993		
Total	89	2385,822			

Apêndice N - Análise da variância para a comparação do número de brotos de *Salix humboldtiana* entre os ângulos de plantio (10°, 30° e 90°) aos 90 dias.

CV	GL	SQ	QM	Fc	Sig
Tratamento	2	80,867	40,433	1,416	0,248 ns
Erro	87	2483,533	28,546		
Total	89	2564,400			

Apêndice O - Análise da variância para a comparação do comprimento médio de brotos de *Salix humboldtiana* entre os ângulos de plantio (10°, 30° e 90°) aos 30 dias.

CV	GL	SQ	QM	Fc	Sig
Tratamento	2	6,316	3,158	0,929	0,399 ns
Erro	87	295,803	3,400		
Total	89	302,120			

Apêndice P - Análise da variância para a comparação do comprimento médio de brotos de *Salix humboldtiana* entre os ângulos de plantio (10°, 30° e 90°) aos 60 dias.

CV	GL	SQ	QM	Fc	Sig
Tratamento	2	26,182	13,091	0,825	0,442 ns
Erro	87	1380,616	15,869		
Total	89	1406,798			

Apêndice Q - Análise da variância para a comparação do comprimento médio de brotos de *Salix humboldtiana* entre os ângulos de plantio (10°, 30° e 90°) aos 90 dias.

CV	GL	SQ	QM	Fc	Sig
Tratamento	2	15,542	7,771	0,237	0,790 ns
Erro	87	2853,857	32,803		
Total	89	2869,398			

Apêndice R - Análise da variância para a comparação da soma comprimento de brotos de *Salix humboldtiana* entre os ângulos de plantio (10°, 30° e 90°) aos 30 dias.

CV	GL	SQ	QM	Fc	Sig
Tratamento	2	1816,771	908,385	0,809	0,449 ns
Erro	87	97668,513	1122,627		
Total	89	99485,284			

Apêndice S - Análise da variância para a comparação da soma comprimento de brotos de *Salix humboldtiana* entre os ângulos de plantio (10°, 30° e 90°) aos 60 dias.

CV	GL	SQ	QM	Fc	Sig
Tratamento	2	4040,017	2020,008	0,719	0,490 ns
Erro	87	244258,066	2807,564		
Total	89	248298,083			

Apêndice T - Análise da variância para a comparação da soma do comprimento de brotos de *Salix humboldtiana* entre os ângulos de plantio (10°, 30° e 90°) aos 90 dias.

CV	GL	SQ	QM	Fc	Sig
Tratamento	2	4303,801	2151,900	0,484	0,618 ns
Erro	87	386594,360	4443,613		
Total	89	390898,161			

Apêndice U - Análise da variância para a comparação da massa seca de brotos de *Salix humboldtiana* entre os ângulos de plantio (10°, 30° e 90°) aos 90 dias.

CV	GL	SQ	QM	Fc	Sig
Tratamento	2	2,901	1,450	1,048	0,355 ns
Erro	87	120,424	1,384		
Total	89	123,324			

Apêndice V - Análise da variância para a comparação do diâmetro médio de brotos de *Salix humboldtiana* entre os ângulos de plantio (10°, 30° e 90°) aos 90 dias.

CV	GL	SQ	QM	Fc	Sig
Tratamento	2	2,148	1,074	1,307	0,276 ns
Erro	87	71,510	0,822		
Total	89	73,658			

Apêndice W - Análise da variância para a comparação do número de raízes por metro de estaca enterrada de *Phyllanthus sellowianus* entre os ângulos de plantio (10°, 30° e 90°).

CV	GL	SQ	QM	Fc	Sig
Tratamento	2	199291,667	99645,833	10,158	0,000*
Erro	87	853448,333	9809,751		
Total	89	1052740,000			

Apêndice X - Análise da variância para a comparação da soma do comprimento de raízes (m), por metro de estaca enterrada de *Phyllanthus sellowianus* entre os ângulos de plantio (10°, 30° e 90°).

CV	GL	SQ	QM	Fc	Sig
Tratamento	2	6116,522	3058,261	11,437	0,000*
Erro	87	23263,383	267,395		
Total	89	29379,905			

Apêndice Y - Análise da variância para a comparação do comprimento médio de raízes (cm) de *Phyllanthus sellowianus* entre os ângulos de plantio (10°, 30° e 90°).

CV	GL	SQ	QM	Fc	Sig
Tratamento	2	65,154	32,577	1,879	0,159 ns
Erro	87	1508,095	17,334		
Total	89	1573,249			

Apêndice Z - Análise da variância para a comparação do comprimento médio da raiz mais longa (cm) de *Phyllanthus sellowianus* entre os ângulos de plantio (10°, 30° e 90°) aos 90 dias.

CV	GL	SQ	QM	Fc	Sig
Tratamento	2	763,596	381,798	2,304	0,106 ns
Erro	87	14416,769	165,710		
Total	89	15180,365			

Apêndice AA - Análise da variância para a comparação da massa seca de raízes (g) de *Phyllanthus sellowianus* entre os ângulos de plantio (10°, 30° e 90°).

CV	GL	SQ	QM	Fc	Sig
Tratamento	2	1,373	0,686	4,086	0,020*
Erro	87	14,617	0,168		
Total	89	15,990			

Apêndice AB - Análise da variância para a comparação do diâmetro médio da raiz mais longa (mm) de *Phyllanthus sellowianus* entre os ângulos de plantio (10°, 30° e 90°).

CV	GL	SQ	QM	Fc	Sig
Tratamento	2	3,072	1,536	5,431	0,006*
Erro	87	24,608	0,283		
Total	89	27,681			

Apêndice AC - Análise da variância para a comparação do volume de raízes (cm³) de *Phyllanthus sellowianus* entre os ângulos de plantio (10°, 30° e 90°).

CV	GL	SQ	QM	Fc	Sig
Tratamento	2	60,139	30,069	2,359	0,101 ns
Erro	87	1109,142	12,749		
Total	89	1169,281			

Apêndice AD - Análise da variância para a comparação do número de raízes por metro de estaca enterrada de *Salix humboldtiana* entre os ângulos de plantio (10°, 30° e 90°).

CV	GL	SQ	QM	Fc	Sig
Tratamento	2	703,889	351,944	0,578	0,563 ns
Erro	87	52990,833	609,090		
Total	89	53694,722			

Apêndice AE - Análise da variância para a comparação da soma do comprimento de raízes (m) por metro de estaca enterrada de *Salix humboldtiana* entre os ângulos de plantio (10°, 30° e 90°).

CV	GL	SQ	QM	Fc	Sig
Tratamento	2	71,660	35,830	0,876	0,420 ns
Erro	87	3556,865	40,884		
Total	89	3628,525			

Apêndice AF - Análise da variância para a comparação do comprimento médio de raízes (cm) de *Salix humboldtiana* entre os ângulos de plantio (10°, 30° e 90°).

CV	GL	SQ	QM	Fc	Sig
Tratamento	2	1123,096	561,548	2,427	0,094 ns
Erro	87	20128,502	231,362		
Total	89	21251,598			

Apêndice AG - Análise da variância para a comparação do comprimento médio da raiz mais longa (cm) de *Salix humboldtiana* entre os ângulos de plantio (10°, 30° e 90°) aos 90 dias.

CV	GL	SQ	QM	Fc	Sig
Tratamento	2	3891,839	1945,919	1,946	0,149 ns
Erro	87	87007,583	1000,087		
Total	89	90899,422			

Apêndice AH - Análise da variância para a comparação da massa seca de raízes (g) de *Salix humboldtiana* entre os ângulos de plantio (10°, 30° e 90°).

CV	GL	SQ	QM	Fc	Sig
Tratamento	2	0,205	0,103	0,891	0,414 ns
Erro	87	10,012	0,115		
Total	89	10,217			

Apêndice AI - Análise da variância para a comparação do diâmetro médio da raiz mais longa (mm) de *Salix humboldtiana* entre os ângulos de plantio (10°, 30° e 90°).

CV	GL	SQ	QM	Fc	Sig
Tratamento	2	0,350	0,175	0,325	0,723 ns
Erro	87	46,775	0,538		
Total	89	47,125			

Apêndice AJ - Análise da variância para a comparação do volume de raízes (cm³) de *Salix humboldtiana* entre os ângulos de plantio (10°, 30° e 90°).

CV	GL	SQ	QM	Fc	Sig
Tratamento	2	13,117	6,558	0,951	0,390 ns
Erro	87	599,795	6,894		
Total	89	612,911			

Apêndice AK - Análise da variância para a comparação do número de brotos de *Phyllanthus sellowianus* e *Salix humboldtiana*, sem considerar os ângulos de plantio.

CV	GL	SQ	QM	Fc	Sig
Tratamento	1	1490,689	1490,689	96,833	0,000*
Erro	178	2740,222	15,395		
Total	179	4230,911			

Apêndice AL - Análise da variância para a comparação da soma do comprimento de brotos de *Phyllanthus sellowianus* e *Salix humboldtiana*, sem considerar os ângulos de plantio.

CV	GL	SQ	QM	Fc	Sig
Tratamento	1	2103,301	2103,301	,734	0,393 ns
Erro	178	510343,357	2867,098		
Total	179	512446,657			

Apêndice AM - Análise da variância para a comparação da massa seca de brotos de *Phyllanthus sellowianus* e *Salix humboldtiana*, sem considerar os ângulos de plantio.

CV	GL	SQ	QM	Fc	Sig
Tratamento	1	209,779	209,779	81,610	0,000*
Erro	178	457,551	2,571		
Total	179	667,330			

Apêndice AN - Análise da variância para a comparação do número de raízes de *Phyllanthus sellowianus* e *Salix humboldtiana*, sem considerar os ângulos de plantio.

CV	GL	SQ	QM	Fc	Sig
Tratamento	1	85325,339	85325,339	343,172	0,000*
Erro	178	44257,389	248,637		
Total	179	129582,728			

Apêndice AO - Análise da variância para a comparação da soma do comprimento de raízes de *Phyllanthus sellowianus* e *Salix humboldtiana*, sem considerar os ângulos de plantio.

CV	GL	SQ	QM	Fc	Sig
Tratamento	1	11378162,952	11378162,952	153,371	0,000*
Erro	178	13205344,194	74187,327		
Total	179	24583507,146			

Apêndice AP - Análise da variância para a comparação da massa seca de raízes de *Phyllanthus sellowianus* e *Salix humboldtiana*, sem considerar os ângulos de plantio.

CV	GL	SQ	QM	Fc	Sig
Tratamento	1	7,116	7,116	48,335	0,000*
Erro	178	26,207	,147		
Total	179	33,323			

Apêndice AQ - Análise da variância para a comparação do comprimento da raiz mais longa de *Phyllanthus sellowianus* e *Salix humboldtiana*, sem considerar os ângulos de plantio.

CV	GL	SQ	QM	Fc	Sig
Tratamento	1	3271,682	3271,682	5,490	0,020*
Erro	178	106079,787	595,954		
Total	179	109351,469			

Apêndice AR - Análise da variância para a comparação do volume de raízes de *Phyllanthus sellowianus* e *Salix humboldtiana*, sem considerar os ângulos de plantio.

CV	GL	SQ	QM	Fc	Sig
Tratamento	1	215,168	215,168	21,497	0,000*
Erro	178	1781,678	10,009		
Total	179	1996,846			

Apêndice AS - Relação entre a área da seção transversal das estacas de *Phyllanthus sellowianus* e *Salix humboldtiana* e a parte aérea.

Espécie		Variáveis								
		NB10°	NB30°	NB90°	SCB10°	SCB30°	SCB90°	MSB10°	MSB30°	MSB90°
<i>Phyllanthus sellowianus</i>	g_{estaca}	0,460*	-0,152	0,111	0,537**	0,239	0,327	0,403*	0,389*	0,326
<i>Salix humboldtiana</i>	g_{estaca}	-0,108	0,076	0,385	0,175	0,388	0,400*	0,266	0,415*	0,397*

g_{estaca} = área da seção transversal das estacas (cm²); NB = número de brotos; SCB = soma do comprimento de brotos; MSB = massa seca dos brotos; 10°, 30° e 90° = ângulos de plantio das estacas;

** correlação significativa em nível de 1% de probabilidade de erro.

* correlação significativa em nível de 5% de probabilidade de erro.

Apêndice AT - Relação entre a área da seção transversal das estacas de *Phyllanthus sellowianus* e *Salix humboldtiana* e as variáveis do sistema radicial.

Espécie		Variáveis								
		NR10°	NR30°	NR90°	SCR10°	SCR30°	SCR90°	MSR10°	MSR30°	MSR90°
<i>Phyllanthus sellowianus</i>	g_{estaca}	-0,402*	0,027	0,247	-0,348	0,090	0,197	0,124	0,082	0,265
<i>Salix humboldtiana</i>	g_{estaca}	-0,062	0,003	-0,277	0,254	0,183	-0,189	0,471**	0,210	0,232

g_{estaca} = área da seção transversal das estacas (cm²); NB = número de brotos; SCB = soma do comprimento de brotos; MSB = massa seca dos brotos; 10°, 30° e 90° = ângulos de plantio das estacas.

** correlação significativa em nível de 1% de probabilidade de erro.

* correlação significativa em nível de 5% de probabilidade de erro.

Apêndice AU - Matriz de correlação de Pearson entre as variáveis de *Phyllanthus sellowianus* para o ângulo de 10°.

Variáveis	NB	SCB	MSB	NR	SCR	CRL	MSR	VR
NB	1	0,819**	0,637**	-0,035	0,177	0,346	0,541**	0,558**
SCB		1	0,878**	0,142	0,323	0,470**	0,741**	0,721**
MSB			1	0,284	0,462*	0,492**	0,770**	0,724**
NR				1	0,806**	0,459*	0,403*	0,413*
SCR					1	0,701**	0,687**	0,726**
CRL						1	0,662**	0,657**
MSR							1	0,872**
VR								1,000

NB = número de brotos; SCB = soma do comprimento de brotos; MCB = média do comprimento de brotos; MSB = massa seca de brotos; NR = número de raízes; SCR = soma do comprimento de raízes; MCR = média do comprimento de raízes; CRL = comprimento da raiz mais longa; MSR = massa seca de raízes; VR = volume de raízes.

** Correlação significativa em nível de 1% de probabilidade de erro.

* Correlação significativa em nível de 5% de probabilidade de erro.

Apêndice AV - Matriz de correlação de Pearson entre as variáveis de *Phyllanthus sellowianus* para o ângulo de 30°.

Variáveis	NB	SCB	MSB	NR	SCR	CRL	MSR	VR
NB	1	0,551**	0,087	0,332	0,307	-0,061	-0,064	-0,242
SCB		1	0,729**	0,347	0,557**	0,462*	0,447*	0,074
MSB			1	0,328	0,669**	0,650**	0,742**	0,358
NR				1	0,712**	0,075	0,343	0,128
SCR					1	0,487**	0,802**	0,539**
CRL						1	0,646**	0,517**
MSR							1	0,666**
VR								1

NB = número de brotos; SCB = soma do comprimento de brotos; MCB = média do comprimento de brotos; MSB = massa seca de brotos; NR = número de raízes; SCR = soma do comprimento de raízes; MCR = média do comprimento de raízes; CRL = comprimento da raiz mais longa; MSR = massa seca de raízes; VR = volume de raízes.

** Correlação significativa em nível de 1% de probabilidade de erro.

* Correlação significativa em nível de 5% de probabilidade de erro.

Apêndice AW - Matriz de correlação de Pearson entre as variáveis de *Phyllanthus sellowianus* para o ângulo de 90°.

Variáveis	NB	SCB	MSB	NR	SCR	CRL	MSR	VR
NB	1	0,686**	0,386*	0,141	0,355	0,445*	0,358	0,318
SCB		1	0,877**	0,441*	0,701**	0,668**	0,749**	0,697**
MSB			1	0,570**	0,807**	0,725**	0,870**	0,850**
NR				1	0,821**	0,518**	0,649**	0,555**
SCR					1	0,796**	0,864**	0,801**
CRL						1	0,742**	0,627**
MSR							1	0,948**
VR								1

NB = número de brotos; SCB = soma do comprimento de brotos; MCB = média do comprimento de brotos; MSB = massa seca de brotos; NR = número de raízes; SCR = soma do comprimento de raízes; MCR = média do comprimento de raízes; CRL = comprimento da raiz mais longa; MSR = massa seca de raízes; VR = volume de raízes.

** Correlação significativa em nível de 1% de probabilidade de erro.

* Correlação significativa em nível de 5% de probabilidade de erro.

Apêndice AX - Matriz de correlação de Pearson entre as variáveis de *Salix humboldtiana* para o ângulo de 10°.

Variáveis	NB	SCB	MSB	NR	SCR	CRL	MSR	VR
NB	1	0,722**	0,664**	0,196	0,475*	0,260	0,213	0,178
SCB		1	0,981**	0,164	0,479*	0,192	0,428*	0,382
MSB			1	0,087	0,464*	0,212	0,454*	0,391
NR				1	0,680**	0,185	0,181	0,268
SCR					1	0,693**	0,399*	0,462*
CRL						1	0,316	0,369
MSR							1	0,803**
VR								1

NB = número de brotos; SCB = soma do comprimento de brotos; MCB = média do comprimento de brotos; MSB = massa seca de brotos; NR = número de raízes; SCR = soma do comprimento de raízes; MCR = média do comprimento de raízes; CRL = comprimento da raiz mais longa; MSR = massa seca de raízes; VR = volume de raízes.

** Correlação significativa em nível de 1% de probabilidade de erro.

* Correlação significativa em nível de 5% de probabilidade de erro.

Apêndice AY - Matriz de correlação de Pearson entre as variáveis de *Salix humboldtiana* para o ângulo de 30°.

Variáveis	NB	SCB	MSB	NR	SCR	CRL	MSR	VR
NB	1	0,706**	0,509**	0,608**	0,624**	0,541**	0,374	0,554**
SCB		1	0,936**	0,426*	0,677**	0,616**	0,754**	0,864**
MSB			1	0,328	0,637**	0,514**	0,840**	0,916**
NR				1	0,756**	0,392*	0,203	0,365
SCR					1	0,756**	0,546**	0,610**
CRL						1	0,456*	0,507**
MSR							1	0,853**
VR								1

NB = número de brotos; SCB = soma do comprimento de brotos; MCB = média do comprimento de brotos; MSB = massa seca de brotos; NR = número de raízes; SCR = soma do comprimento de raízes; MCR = média do comprimento de raízes; CRL = comprimento da raiz mais longa; MSR = massa seca de raízes; VR = volume de raízes.

** Correlação significativa em nível de 1% de probabilidade de erro.

* Correlação significativa em nível de 5% de probabilidade de erro.

Apêndice AZ - Matriz de correlação de Pearson entre as variáveis de *Salix humboldtiana* para o ângulo de 90°.

Variáveis	NB	SCB	MSB	NR	SCR	CRL	MSR	VR
NB	1	0,552**	0,371	-0,121	0,070	0,434*	0,302	0,240
SCB		1	0,936**	0,248	0,461*	0,305	0,807**	0,792**
MSB			1	0,160	0,380	0,240	0,803**	0,787**
NR				1	0,879**	-0,078	0,329	0,275
SCR					1	0,259	0,582**	0,548**
CRL						1	0,350	0,403*
MSR							1	0,865**
VR								1

NB = número de brotos; SCB = soma do comprimento de brotos; MCB = média do comprimento de brotos; MSB = massa seca de brotos; NR = número de raízes; SCR = soma do comprimento de raízes; MCR = média do comprimento de raízes; CRL = comprimento da raiz mais longa; MSR = massa seca de raízes; VR = volume de raízes.

** Correlação significativa em nível de 1% de probabilidade de erro.

* Correlação significativa em nível de 5% de probabilidade de erro.