

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

Mariana Fauerharmel

PROPAGAÇÃO VEGETATIVA E SELEÇÃO DE GENÓTIPOS DE
Jacaranda mimosifolia D. Don **PARA O ENRAIZAMENTO ADVENTÍCIO**
DE MINIESTACAS

Santa Maria, RS, Brasil
2021

Mariana Fauerharmel

PROPAGAÇÃO VEGETATIVA E SELEÇÃO DE GENÓTIPOS DE *Jacaranda mimosifolia* D. Don PARA O ENRAIZAMENTO ADVENTÍCIO DE MINIESTACAS

Tese apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, Área de Concentração em Silvicultura, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS) como requisito parcial para obtenção do grau de **Doutora em Engenharia Florestal**.

Orientador: Prof. Dilson Antônio Bisognin, PhD.

Santa Maria, RS, Brasil
2021.

Fauerharmel, Mariana

Propagação vegetativa e seleção de genótipos de Jacaranda mimosifolia D. Don para o enraizamento adventício de miniestacas / Mariana Fauerharmel.- 2021. 75 p.; 30 cm

Orientador: Dilson Antônio Bisognin
Coorientador: Frederico Dimas Fleig
Tese (doutorado) - Universidade Federal de Santa Maria, Centro de Ciências Rurais, Programa de Pós Graduação em Engenharia Florestal, RS, 2021

1. jacaranda 2. propagação vegetativa 3. seleção de genótipos 4. miniestaquia I. Bisognin, Dilson Antônio II. Dimas Fleig, Frederico III. Título.

Sistema de geração automática de ficha catalográfica da UFSM. Dados fornecidos pelo autor(a). Sob supervisão da Direção da Divisão de Processos Técnicos da Biblioteca Central. Bibliotecária responsável Paula Schoenfeldt Patta CRB 10/1728.

Declaro, MARIANA FAUERHARMEL, para os devidos fins e sob as penas da lei, que a pesquisa constante neste trabalho de conclusão de curso (Tese) foi por mim elaborada e que as informações necessárias objeto de consulta em literatura e outras fontes estão devidamente referenciadas. Declaro, ainda, que este trabalho ou parte dele não foi apresentado anteriormente para obtenção de qualquer outro grau acadêmico, estando ciente de que a inveracidade da presente declaração poderá resultar na anulação da titulação pela Universidade, entre outras consequências legais.

Mariana Fauerharmel

**PROPAGAÇÃO VEGETATIVA E SELEÇÃO DE GENÓTIPOS DE *Jacaranda mimosifolia* D. Don PARA O ENRAIZAMENTO ADVENTÍCIO DE
MINIESTACAS**

Tese apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, Área de Concentração em Silvicultura, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS) como requisito parcial para obtenção do grau de **Doutora em Engenharia Florestal**.

Aprovado em 30 de abril de 2021:

Dilson Antônio Bisognin, PhD. (UFSM)
(Presidente/Orientador)

Thaise da Silva Tonetto, Dra. (UFSM) - Parecer



Documento assinado digitalmente
Kelen Haygert Lencina
Data: 02/06/2021 15:16:43-0300
CPF: 011.476.800-26
Verifique as assinaturas em <https://w.ufsc.br>

Kelen Haygert Lencina, Dra. (UFSC) - Parecer



Documento assinado digitalmente
Andressa Vasconcelos Flores
Data: 07/06/2021 14:55:15-0300
CPF: 001.437.810-81
Verifique as assinaturas em <https://w.ufsc.br>

Andressa Vasconcelos Flores, Dra. (UFSC) - Parecer



Documento assinado digitalmente
Eneas Ricardo Konzen
Data: 08/06/2021 16:17:35-0300
CPF: 011.229.200-32
Verifique em <https://verificador.iti.br>

Enéas Ricardo Konzen, Dr. (UFRGS) – Parecer

Santa Maria, RS
2021

AGRADECIMENTOS

A Universidade Federal de Santa Maria e a Pós-graduação em Engenharia Florestal, juntamente com os professores que contribuíram direta ou indiretamente para a obtenção deste título.

Ao CNPq, pela concessão de apoio financeiro, possibilitando a realização desta pesquisa.

Ao meu orientador, Prof. Dilson Antônio Bisognin, pela orientação, contribuição, paciência e ensinamentos transmitidos.

A banca examinadora, pela disponibilidade e contribuições para este trabalho.

Aos colegas e amigos do Núcleo de Melhoramento e Propagação Vegetativa de Plantas (MPVP/UFSM).

As pessoas que tornaram essa tese possível, com certeza sozinha eu não teria conseguido.

As minhas amigas de longa data, vocês foram e são fundamentais na minha vida.

A minha família, pelo amor, carinho, força e atenção indispensável em todos os momentos.

Ao meu companheiro João Marcelo, as minhas filhas Maria Rita e Helena, muito obrigada por tudo e por estarem sempre ao meu lado.

MUITO OBRIGADA!

A vida é feita de momentos,
momentos pelos quais temos que passar,
sendo bons ou não,
para o nosso aprendizado.
Precisamos fazer a nossa parte,
desempenhar nosso papel no palco da vida,
lembrando que a vida nem sempre segue nosso querer,
mas ela é perfeita naquilo que tem que ser.

Chico Xavier

RESUMO

PROPAGAÇÃO VEGETATIVA E SELEÇÃO DE GENÓTIPOS DE *Jacaranda mimosifolia* D. Don PARA O ENRAIZAMENTO ADVENTÍCIO DE MINIESTACAS

AUTORA: Mariana Fauerharmel
ORIENTADOR: Dilson Antônio Bisognin

Jacaranda mimosifolia D. Don (Bignoniaceae), conhecida popularmente como jacarandá, é uma espécie muito utilizada na arborização urbana. Quanto a sua propagação, a maioria das informações disponíveis tratam da propagação por sementes, e pouco se conhece sobre a propagação vegetativa. Este trabalho teve como objetivo estudar a produção de mudas de jacarandá por miniestaquia e selecionar genótipos para a sua propagação por esta técnica. Um minijardim clonal foi estabelecido para fornecer brotações para a confecção de miniestacas. Para o enraizamento adventício, as miniestacas foram tratadas com solução hidroalcoólica de ácido indolbutírico (AIB) nas concentrações de 0, 1000 ou 2000 mg L⁻¹ e cultivadas em casa de vegetação climatizada. A sobrevivência das miniestacas foi avaliada aos 30, 60 e 90 dias e as porcentagens de enraizamento, calos e brotação, área foliar, área de raiz, massa seca da parte aérea, massa seca de raízes, massa seca total e relação da massa seca da parte aérea/radicial aos 90 dias de cultivo. As miniestacas enraizadas foram tratadas com diferentes volumes de solução nutritiva (0, 25 ou 50 mL) e avaliadas quanto à sobrevivência, à altura, ao diâmetro do colo, à área foliar, à área radicular, à massa seca da parte aérea, à massa seca radicial e à relação massa seca da parte aérea/radicial das plantas após 30 dias de cultivo em casa de sombra e pleno sol. Para a seleção quanto à competência ao enraizamento adventício de miniestacas, foram avaliados 23 genótipos durante seis coletas sucessivas durante 13 meses. Os genótipos foram estabelecidos em minijardim clonal para desenvolvimento das brotações e fornecimento das miniestacas. Em cada uma das seis coletas, as miniestacas foram estaqueadas em tubetes contendo substrato comercial e vermiculita, e avaliadas para a porcentagem de enraizamento e o número de miniestacas produzidas e número de miniestacas enraizadas aos 60 dias de cultivo em casa de vegetação climatizada. Os componentes da variância foram estimados com base em medidas repetidas pelo método da máxima verossimilhança restrita (REML) e a predição dos valores fenotípicos e genotípicos pela melhor predição linear não viciada (BLUP). O jacarandá pode ser estabelecido em minijardim clonal para a produção de brotações necessárias para o preparo de miniestacas. As miniestacas enraizam em casa de vegetação e sem a necessidade de AIB. As mudas produzidas podem ser aclimatizadas em casa de sombra e rusticadas em pleno sol. Mudanças de jacarandá podem ser produzidas por miniestaquia. Foi observada variabilidade genética para o número de miniestacas produzidas e de miniestacas enraizadas, com acurácias de 0,84 e 0,74, respectivamente para seis coletas consecutivas. Foram selecionados sete genótipos de jacarandá para o número de miniestacas enraizadas, resultando em um ganho de seleção de 53,5%. Os resultados deste trabalho demonstram a viabilidade da produção de mudas de jacarandá por meio da miniestaquia e evidenciam um alto potencial para o melhoramento genético da espécie para a propagação vegetativa por miniestaquia, bem como indicam a possibilidade de altos ganhos de seleção. O processo de produção de mudas de jacarandá por miniestaquia é bastante eficiente, dispensa o uso de regulador de crescimento e de câmara úmida para enraizamento e, possibilita o aproveitamento do excedente de solução nutritiva da fertirrigação do minijardim clonal durante a aclimatização e rusticificação das mudas. O jacarandá apresenta grande potencial para a propagação vegetativa, sendo a seleção de genótipos uma estratégia promissora de melhoramento e produção de mudas por miniestaquia.

Palavras-chave: Jacarandá. Miniestaquia. AIB. Ganho de seleção. REML/BLUP.

ABSTRACT

VEGETATIVE PROPAGATION AND SELECTION OF *Jacaranda mimosifolia* D. Don GENOTYPES FOR ADVENTITIOUS ROOTING OF MINI-CUTTINGS

AUTHOR: Mariana Fauerharmel
ADVISOR: Dilson Antônio Bisognin

Jacaranda - *Jacaranda mimosifolia* D. Don – (Bignoniaceae), popularly known as jacaranda, is a tree species widely used in urban afforestation. As for its propagation, most of the available information deals with seed propagation, and little is known about its vegetative propagation. This work aimed to study the production of jacaranda plantlets by mini-cuttings, and select genotypes for their propagation by this technique. A clonal mini-garden was established for the production of mini-cuttings. For adventitious rooting, the mini-cuttings were treated with hydroalcoholic solution of indolebutyric acid (IBA) in the concentration of 0, 1000 or 2000 mg L⁻¹ and cultivated in a greenhouse. Mini-cuttings were evaluated for survival at 30, 60 and 90 days, and for rooting, calluses, shooting, leaf area, root area, aerial dry matter, root dry matter, total dry matter and aerial/root dry matter at 90 days. The rooted mini-cuttings were treated with different volumes of nutrient solution (0, 25 or 50 mL) and evaluated for survival, height, stem diameter, leaf area, root area, aerial dry mass, root dry mass and dry air/root dry mass ratio after 30 days of cultivation in a shade house and full sun area. Twenty-three genotypes were selected for evaluated adventitious rooting competence during six successive collections during 13 months. The genotypes were established in a clonal mini-garden to produce shoots for preparing the mini-cuttings. In each of the six collections, the mini-cuttings were planted in tubes containing commercial substrate and vermiculite, and evaluated for the percentage of rooting and the number of mini-cuttings produced and rooted at 60 days of cultivation in the greenhouse. The components of variance were estimated based on repeated measures by the method of maximum restricted likelihood (REML) and the prediction of phenotypic and genotypic values by the best non-addicted linear prediction (BLUP). *Jacaranda* can be established in a clonal mini-garden for the production of shoots necessary for the preparation of mini-cuttings. Mini-cuttings root in a greenhouse and without the need of IBA application. The produced plantlets can be acclimatized in a shade house and hardened in full sun. *Jacaranda* plantlets can be produced by mini-cutting. Genetic variability was observed for the number of produced and rooted mini-cuttings, with the accuracy of 0.84 and 0.74, respectively for six evaluations. Seven jacaranda genotypes were selected for the number of rooted mini-cuttings, resulting in a selection gain of 53.5%. The results of this work show a high potential for breeding jacaranda for vegetative propagation by mini-cuttings and indicate the possibility of high selection gains. The production process of jacaranda plantlets by mini-cutting is very efficient, it does not require the use of growth regulator and a humid chamber for rooting, and allows the use of excess nutrient solution from the fertigation of the clonal mini-garden during the acclimatization and hardening of the plantlets. The jacaranda has great potential for vegetative propagation, and the selection of genotypes is a promising strategy for improvement and production of plantlets by minicutting.

keywords: Jacarandá. Mini-cutting. AIB. Selection gains. REML/BLUP.

LISTA DE FIGURAS

REVISÃO DE LITERATURA

Figura 1 – Características morfológicas de *Jacaranda mimosifolia* D. Don 16

ARTIGO 1

Figure 2 – *Jacaranda* mini-clonal hedge established in a soilless cultivation system (A), minicutting rooted in a greenhouse (B), and rustified plantlet (C)..... 36

ARTIGO 2

Figure 3 – Coefficient of determination, accuracy and selective efficiency in function of the number of collections for the number of produced and rooted mini-cuttings of *Jacaranda mimosifolia* genotypes..... 59

LISTA DE TABELAS

ARTIGO 1

Table 1 - Percentage of survival after 30, 60, and 90 days and percentage of rooting, callus formation, and sprouting after 90 days of cultivation of minicuttings of jacaranda treated with different doses of indolebutyric acid (IBA) in a greenhouse. 37

Table 2 - Root and leaf area (cm²), dry mass (mg) of aerial parts and roots, total dry mass (mg), and the ratio of dry mass of aerial parts to roots of jacaranda minicuttings treated with different doses of indolebutyric acid (IBA) after 90 days of cultivation in a greenhouse. 38

Table 3 - Survival percentage (%), initial height (cm), increase in height (cm⁻¹), initial stem diameter (mm), and increase in stem diameter (mm⁻¹) of treated jacaranda plantlets with different volumes of nutrient solution during 30 days under a shade house (SH) and full sun (FS) cultivation. 41

Table 4 - Root and leaf area (cm²), dry mass (mg) of aerial parts and roots, total dry mass (mg), and the ratio of the dry mass of aerial parts to that of roots of jacaranda plantlets subjected to different volumes of nutrient solution during 30 days of cultivation in a shade house and in full sun. 42

ARTIGO 2

Table 1. Deviance values for the number of minicuttings produced and rooted and for the rooting percentage of 23 *J. mimosifolia* genotypes in six consecutive collections and evaluated at 60 days of cultivation in a greenhouse. 54

Table 2. Variance components and genetic parameters for the number of minicuttings produced and rooted of *Jacaranda mimosifolia* genotypes in six consecutive collections and evaluated at 60 days of cultivation in a greenhouse. 57

Table 3. Permanent phenotypic effect (*Pp*), permanent phenotypic value ($u + Pp$), selection gain (SG), new media (Nm) and the relative performance in percentage (*RP*) estimated for the number of minicuttings produced and rooted and for the rooting percentage of the seven selected genotypes of *Jacaranda mimosifolia* in six consecutive collections and evaluated at 60 days of cultivation in a greenhouse. 61

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	12
2 REFERENCIAL TEÓRICO	15
2.1 <i>Jacaranda mimosifolia</i> D. Don	15
2.2 PROPAGAÇÃO VEGETATIVA POR MINiestaQUIA.....	17
2.3 FATORES QUE AFETAM O ENRAIZAMENTO ADVENTÍCIO	19
2.3.1 Aplicação de fitorregulador.....	19
2.3.2 Substrato para enraizamento	22
2.4 PARÂMETROS DE QUALIDADE DE MUDAS	26
2.5 SELEÇÃO PARA O ENRAIZAMENTO ADVENTÍCIO	28
3 ARTIGO 1 – Production of jacaranda plantlets by minicutting	30
4 ARTIGO 2 – SELECTION OF <i>Jacaranda mimosifolia</i> GENOTYPES FOR VEGETATIVE PROPAGATION BY MINI-CUTTING	47
5 DISCUSSÃO GERAL.....	66
6 CONCLUSÕES GERAIS	68
REFERÊNCIAS	69

1 INTRODUÇÃO

As distintas espécies florestais arbóreas exercem função importante na manutenção da qualidade dos serviços ambientais, como equilíbrio ecológico, na regulação do ambiente e do clima, bem como na atuação sobre aspectos econômicos, sociais e culturais. Dessa forma, é essencial que se conheçam os meios e fatores que influenciam o desenvolvimento e o crescimento das espécies, visando sua conservação e o fornecimento de informações para plantios e programas de reflorestamento.

A única fonte segura para atender à demanda por produtos madeireiros ou não-madeireiros está nas florestas plantadas ou nas florestas nativas manejadas em regime de produção, seguindo os princípios da sustentabilidade (PIRES et al., 2015). Nesse cenário, salienta-se a produção de mudas, cuja atividade surgiu com a modernização da agricultura e a segmentação do mercado (LUZ; PAULA; GUIMARÃES, 2000). Desse modo, parte fundamental do desenvolvimento da silvicultura é a tecnologia de produção de mudas, que compreende desde o melhoramento florestal até o plantio (PIRES et al., 2015).

Destaca-se, dentre as espécies arbóreas, *Jacaranda mimosifolia* D. Don, pertencente à família Bignoniaceae, conhecida popularmente como jacarandá ou jacarandá-mimoso, a qual possui porte arbóreo e ampla distribuição (LORENZI; SOUZA; TORRES, 2003), sendo considerada como pioneira na sucessão florestal (GRAU et al., 1997). A espécie pode ser empregada em marcenaria, arborização urbana e tratamento de enfermidades (LORENZI; SOUZA; TORRES, 2003), possuindo ainda forte apelo econômico, social, ambiental e paisagístico. Contudo, o jacarandá possui entraves no seu cultivo, uma vez que as sementes demandam mais de seis meses para tornarem-se maduras após a polinização, bem como a espécie apresenta uma longa fase juvenil, em torno de 4 a 5 anos, antes da floração (MIYAJIMA et al., 2004; SOCOLOWSKI; TAKAKI, 2004). Sendo assim, a produção de mudas se restringe à curtos períodos, o que interfere na disponibilidade de mudas da espécie, e por sua vez, no seu cultivo. Além disso, deve ser salientado que, em muitos casos, a coleta de sementes não considera os aspectos genéticos, fator essencial para obtenção de avanços silviculturais por meio do melhoramento genético. Desta forma e pela importância da espécie, são requeridos estudos que contornem os problemas na produção e qualidade genética das mudas produzidas, sendo a silvicultura clonal uma alternativa potencial.

Existem diferentes técnicas com objetivo de propagar vegetativamente uma planta, sendo as principais a estaquia e a miniestaquia (HARTMANN et al., 2011), pois essas constituem alternativas de superação de dificuldades na propagação de espécies arbóreas, sendo empregadas para fins comerciais, no resgate e na conservação de recursos genéticos florestais (DIAS et al., 2012).

A técnica da miniestaquia pode ser considerada uma especialização da estaquia convencional (FERRIANI; ZUFFELATO-RIBAS; WENDLING, 2010), tendo seu desenvolvimento na década de 90, a partir da necessidade de superar problemas do cultivo *in vitro* em *Eucalyptus*, sendo hoje consolidada e amplamente utilizada na propagação desse gênero. Em função das vantagens obtidas com o uso da miniestaquia na produção de mudas de *Eucalyptus*, sua aplicação para as demais espécies florestais se faz muito importante, a fim de superar os problemas inerentes a produção de mudas a partir de sementes (FERRIANI; ZUFFELATO-RIBAS; WENDLING, 2010; DIAS et al., 2012).

Assim, a miniestaquia apresenta-se como uma alternativa promissora para o aproveitamento do potencial juvenil endógeno das espécies, favorável ao enraizamento e consequente produção de mudas (FERRIANI; ZUFFELATO-RIBAS; WENDLING, 2010). Nesse sentido, uma alternativa para propagação de espécies recalcitrantes é o estabelecimento de minijardim clonal, uma vez que este atuará como fonte permanente de propágulos (FERNANDES et al., 2017). Além disso, a miniestaquia constitui uma técnica ambiental e economicamente viável, bem como possibilita maior acessibilidade de uso por pequenos e médios produtores (FERRIANI; ZUFFELATO-RIBAS; WENDLING, 2010). A técnica da miniestaquia foi considerada adequada para espécies como *Ilex paraguariensis* Saint Hilaire (BRONDANI et al., 2007), *Calophyllum brasiliense* Cambess. (SILVA et al., 2010), *Anadenanthera macrocarpa* (Benth) Brenan (DIAS et al., 2015), *Handroanthus heptaphyllus* (Vell.) Mattos (PIMENTEL et al., 2016), entre outras.

Após a produção das mudas por miniestaquia, bem como por meio de outras técnicas de propagação, é necessário o fornecimento de condições de crescimento adequadas para a obtenção de mudas de elevada qualidade. Para isso, utiliza-se de práticas culturais que são capazes de alterar a qualidade morfofisiológica das plantas tais como: tipo de recipiente e de substrato, irrigação, fertilização, densidade de cultivo, aclimação, transporte, armazenamento, dentre outros (BIRCHLER et al., 1998). Quanto ao substrato, buscam-se tipos e/ou combinações com características adequadas de aeração, drenagem, pH, salinidade, baixa densidade, presença reduzida de plantas invasoras e pragas,

homogeneidade do material, facilidade de manuseio e de disponibilidade (KÄMPF, 2005).

Outro aspecto importante a ser considerado na produção de mudas é a nutrição mineral, uma vez que são extremamente relevantes as funções essenciais exercidas pelos nutrientes minerais no metabolismo das plantas, como, por exemplo, a estrutura das moléculas de clorofila necessárias à fotossíntese, na qual o nitrogênio atua como componente (JACOBS; LANDIS, 2009). Nesse caso, os estudos são realizados buscando identificar o uso, frequência e concentrações de fertilização, as quais fornecem o suprimento nutricional necessário para garantir o bom desenvolvimento das plantas nas diferentes fases de produção de mudas.

Essas diferentes fases de produção de mudas consistem basicamente na mudança de condições ambientais, especialmente, no que diz respeito à disponibilidade de água e luminosidade. Segundo Afonso et al. (2012) a luz influencia no crescimento e na plasticidade das espécies. Nesse contexto, a definição dos níveis ótimos desses fatores disponibilizados em cada etapa do processo produtivo consiste em informações técnicas relevantes para a produção de mudas de alta qualidade. Além disso, se destaca a necessidade de estudos voltados aos aspectos genéticos da propagação vegetativa, principalmente, no que se refere à produtividade das minicepas e à competência ao enraizamento adventício. Ambas as características, correspondem a produtividade do minijardim e resultam na maior eficiência em viveiro (FREITAS et al., 2017).

Assim, tendo em vista o potencial comercial e ecológico do jacarandá, uma espécie adaptada às condições edafoclimáticas regionais, este estudo se justifica devido à necessidade do conhecimento acerca da produção de mudas de qualidade genética, morfológica e fisiológica, visando o emprego em maior escala e para distintas finalidades. Desse modo, o presente estudo teve como objetivos gerais estudar a produção de mudas de jacarandá por miniestaquia e selecionar genótipos para a sua propagação por essa técnica.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 *Jacaranda mimosifolia* D. Don

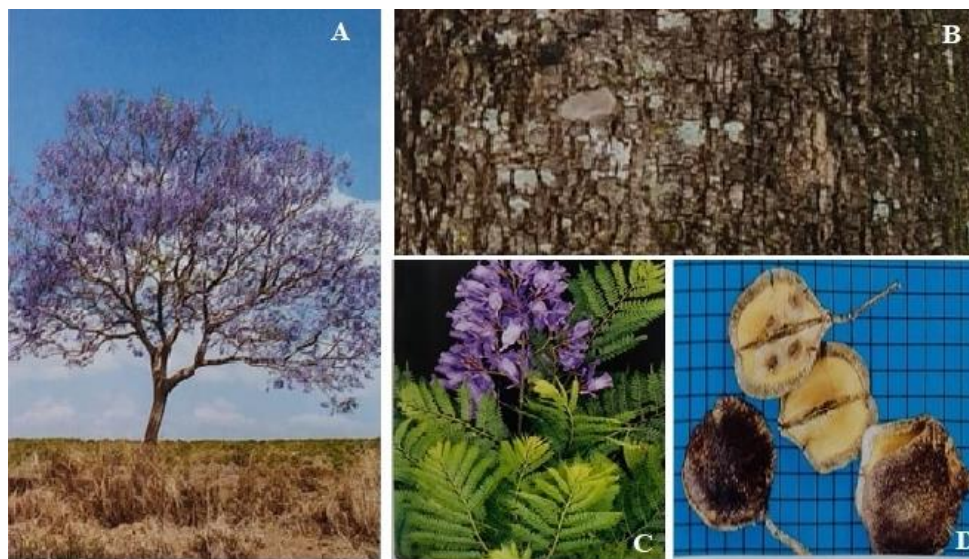
Jacaranda mimosifolia D. Don (Bignoniaceae), conhecida popularmente como jacarandá ou jacarandá-mimoso, é uma espécie arbórea que atinge até 15 metros de altura (Figura 1A) (LORENZI; SOUZA; TORRES, 2003). Seu tronco possui casca gretada (Figura 1B), a qual se desprende em lâminas retangulares, de copa arredondada e aberta (LORENZI; BACHER; TORRES, 2018). As folhas são opostas, compostas bipinadas, com folíolos pequenos, ovalados e opostos (Figura 1C) (LORENZI; BACHER; TORRES, 2018).

O jacarandá tem inflorescências terminais, em panículas piramidais, formadas com a planta quase totalmente desprovida de sua folhagem, com flores azul-violeta (Figura 1C) e frutos na forma de cápsulas lenhosas, ovaladas, entumescidas e deiscentes (Figura 1D) (LORENZI, BACHER, TORRES, 2018). A espécie possui sementes aladas, o que pode facilitar a dispersão pelo vento a grandes distâncias, representando uma vantagem de colonização (GOGOSZ et al., 2015). A germinação, das sementes caracteriza-se como hipógea-fanerocotiledonar (OLIVEIRA et al., 2018).

A espécie é nativa da Argentina, Bolívia e Paraguai (LORENZI; SOUZA; TORRES, 2003), amplamente distribuída em regiões temperadas, tropicais e subtropicais do mundo (NAZ et al., 2020). Trata-se de uma espécie pioneira (GRAU et al., 1997), presente em todos os processos de sucessão de uma floresta secundária, de acordo com estudo realizado no noroeste da Argentina durante 50 anos (SOCOLOWSKI; TAKAKI, 2004).

O jacarandá pode ser empregado na arborização urbana, na marcenaria para confecção de forros e caixotaria, no tratamento de doenças, feridas, úlceras e como adstringente (LORENZI; SOUZA; TORRES, 2003). As folhas do jacarandá são uma boa fonte de produtos naturais com propriedades antioxidantes, anti-inflamatórias e anticancerígenas, para potenciais aplicações terapêuticas, nutracêuticas e alimentares funcionais (NAZ et al., 2020).

Figura 1 – Características morfológicas de *Jacaranda mimosifolia* D. Don



A= Porte arbóreo; B= Casca; C= Folhas; D= Frutos. Fonte: Lorenzi; Bacher; Torres (2018).

As flores são vistosas e muito atrativas para os insetos, que utilizam o pólen e néctar e auxiliam no processo de polinização. Além disso, as espécies da família Bignoniaceae são frequentemente utilizadas no paisagismo, devido à beleza cênica e ao grande potencial ornamental das plantas, se destacando também *Handroanthus chrisotrychus* (ipê-amarelo) e *H. heptaphyllus* (ipê-roxo), entre outras.

O jacarandá apresenta sistema radicular axial, cujo desenvolvimento é mais rápido do que observado à parte aérea, o que confere a espécie uma vantagem ecológica, que proporciona um melhor aproveitamento dos recursos do substrato (OLIVEIRA et al., 2018).

A propagação do jacarandá pode ser realizada a partir de sementes, entretanto, a espécie demanda um longo período de maturação após a polinização, cerca de seis meses (MIYAJIMA et al., 2004), o que torna demorada a obtenção de mudas. Além disso, as sementes apresentam baixo vigor e taxa de germinação (LI et al., 2012), fato este que também reduz as chances de obtenção de mudas em quantidade e qualidade para atender o mercado (FAUERHARMEL et al., 2020). Outro aspecto relevante é a sazonalidade da produção de sementes, o que dificulta ainda mais a produção de mudas em anos de ausência ou menor frutificação das plantas (TONETTO et al., 2015). Como alternativa, a propagação vegetativa por miniestaquia é uma opção para a produção massal de mudas

de jacarandá (DIAS et al., 2012), como vem sendo utilizada com sucesso em espécies do gênero *Eucalyptus*.

O jacarandá também pode ser propagado vegetativamente por meio da cultura de tecidos (MARUYAMA et al., 1993) e por estaquia (MIYAJIMA et al., 2004), entretanto, não há na literatura estudos que abordem a propagação da espécie por miniestaquia.

2.2 PROPAGAÇÃO VEGETATIVA POR MINIESTAQUIA

A propagação vegetativa ou clonagem consiste na reprodução assexuada a partir de diferentes partes do vegetal como células, órgãos, tecidos ou propágulos, em função da potencialidade celular, em condições adequadas, de regenerar uma planta completa, sendo o material vegetal obtido idêntico a planta matriz (WENDLING, 2002; BARBOSA; LOPES, 2007). A propagação vegetativa possibilita a formação de plantios com alta produtividade, uniformidade e a perpetuação de qualquer genótipo (MAHLSTEDE, 1957), independentemente de ser homozigoto ou heterozigoto. Além disso, a propagação vegetativa é uma importante alternativa para a multiplicação de genótipos que sejam heterozigotos e que apresentem características superiores, as quais seriam perdidas, caso a planta fosse propagada por sementes (PAIVA; GOMES, 2011). Dentre as técnicas de propagação vegetativa utilizadas em espécies arbóreas, tem-se a enxertia, a estaquia, a miniestaquia e a micropropagação.

A miniestaquia é uma variação da técnica da estaquia, que utiliza brotações de mudas produzidas por sementes, estaquia, micropropagação ou pela própria miniestaquia, para a produção dos propágulos vegetativos utilizados para originar novas plantas (ALFENAS et al., 2009; FERRIANI; ZUFFELLATO-RIBAS; WENDLING, 2010; KONZEN et al., 2018). Na miniestaquia, os propágulos são produzidos por minicepas estabelecidas em minijardins clonais cultivados em sistema apropriado. As minicepas são podadas periodicamente, a fim de estimular a produção de novas brotações, como resultado da quebra da dominância apical (FERRIANI; ZUFFELLATO-RIBAS; WENDLING, 2010). As brotações fornecem os propágulos vegetativos, denominados de miniestacas, as quais são enraizadas em volume e tipo apropriados de substrato e em condições específicas de temperatura e umidade relativa, entre outros fatores (DIAS et al., 2012).

Os estudos da técnica da miniestaquia tiveram início na década de 90, para a propagação vegetativa de *Eucalyptus* (HIGASHI et al., 2000), sendo uma alternativa

encontrada para superar as limitações impostas pela propagação *in vitro* (ALFENAS et al., 2009; FERRIANI; ZUFFELLATO-RIBAS; WENDLING, 2010). Com isso, a miniestaquia tornou-se a principal técnica de propagação para o gênero, utilizada pelas empresas florestais brasileiras (KONZEN et al., 2018). A miniestaquia também é uma importante alternativa para a produção de mudas de espécies nativas (DIAS et al., 2012). Sua aplicação possibilita propagar genótipos selecionados e produzir mudas de espécies florestais nativas que apresentam problemas de propagação seminal, seja pela baixa disponibilidade de sementes ou baixo poder germinativo (DIAS et al., 2012). Essa técnica também possibilita a propagação de genótipos de difícil enraizamento, pelo aumento da porcentagem de enraizamento e da qualidade do sistema radicial produzido (FERRIANI; ZUFFELLATO-RIBAS; WENDLING, 2010).

O uso da miniestaquia tem proporcionado a otimização do processo de produção de mudas, maior produção de propágulos, menor tempo de formação da muda em viveiro, menor variação sazonal dos índices de enraizamento, bem como tem possibilitado eliminar o uso de fitorreguladores e reduzir a área destinada aos minijardins clonais (ALFENAS et al., 2009; KOZEN et al., 2018; FERRIANI; ZUFFELLATO-RIBAS; WENDLING, 2010). Além disso é uma técnica ambiental e economicamente viável, utilizada em larga escala, e também possível de ser empregada por pequenos e médios produtores de mudas (DIAS et al., 2012).

As vantagens da miniestaquia justificaram diversos estudos em espécies nativas, como *Anadenanthera macrocarpa* (Benth.) Brenan (DIAS et al., 2015), *Sapium glandulatum* (Vell.) Pax (FERREIRA, 2008), *Handroanthus heptaphyllus* (Velloso) Mattos (PIMENTEL et al., 2016), *Toona ciliata* M. Roemer (SOUZA et al., 2009), *Cabralea canjerana* (Vell) Martius (GIMENES et al., 2015; BURIN et al., 2018a; BURIN et al., 2018b), *Cordia trichotoma* (Vell.) Arrab. ex. Steud (KIELSE et al., 2015), *Handroanthus heptaphyllus* (Velloso) Mattos (RODRIGUES, 2018), e *Ilex paraguariensis* A. Sant.-Hil (BISOGNIN et al., 2018; PIMENTEL et al., 2019; GAZZANA, 2019; PIMENTEL et al., 2020).

A miniestaquia não resolve todos os problemas na formação das raízes adventícias, em função da maior sensibilidade dos propágulos às condições ambientais durante o processo de enraizamento. Assim, é necessário definir um cronograma de trabalho bem mais sincronizado e organizado se comparada com a estaquia convencional (KONZEN et al., 2018). Esta técnica também depende de métodos eficientes de rejuvenescimento, para obter material propagativo com adequado grau de juvenildade

(DIAS et al., 2012). Desta forma, diversos autores relatam que há carência de estudos sobre o enraizamento adventício com foco em fatores relevantes, tais como, a aplicação de promotores de enraizamento, o tipo de propágulo e a composição do substrato (DIAS et al., 2012).

2.3 FATORES QUE AFETAM O ENRAIZAMENTO ADVENTÍCIO

Como o processo de enraizamento das miniestacas é complexo e afetado por inúmeros fatores, dentre os quais, o genótipo interfere drasticamente no enraizamento das espécies florestais, que pode apresentar percentuais e qualidade de enraizamento diferentes, até mesmo entre clones de uma mesma espécie. Além disso, o enraizamento é afetado pelo sistema e manejo do minijardim, condições ambientais e vigor fisiológico e de aspectos nutricionais das minicepas. Ainda, o enraizamento adventício está associado a fatores ligados a miniestaca, como a aplicação de reguladores de crescimento, o substrato utilizado para o enraizamento, tipo e tamanho de propágulo, entre outros, e a fatores ambientais como luminosidade, temperatura e umidade (ALFENAS et al., 2009; XAVIER; WENDLING; SILVA, 2009). Conhecer e manejar esses fatores aumenta a chance de sucesso para produção de mudas a partir da propagação vegetativa.

2.3.1 Aplicação de fitorregulador

Os fitormônios são substâncias orgânicas cuja função principal é a regulação do crescimento e desenvolvimento vegetal. Isso porque a regulação e coordenação do metabolismo, crescimento e morfogênese depende de sinais químicos de uma parte da planta para outra. Esses sinais se dão através dos mensageiros químicos, que fazem a mediação da comunicação intercelular. Essas substâncias podem ser produzidas em um tecido e transportado para outro, atuando como resposta fisiológica, e outros agem no mesmo tecido onde foram produzidas. Essa resposta age como um sinal para o desenvolvimento ou estado fisiológico de células, tecidos e órgãos (TAIZ; ZEIGER, 2013).

Já os reguladores de crescimento, também conhecidos como fitorreguladores, são substâncias sintéticas que podem ser aplicadas diretamente na planta e apresentam efeito semelhante aos fitormônios no estímulo a uma resposta celular.

O desenvolvimento vegetal é afetado por seis tipos de hormônios: auxinas, giberelinas, citocininas, etileno, ácido abscísico e brassinosteróides. Essas substâncias são amplamente utilizadas na propagação vegetativa de plantas, com destaque para as auxinas, uma vez que estas participam de inúmeros processos do desenvolvimento vegetal, sobretudo, nas respostas relacionadas ao enraizamento adventício (HARTMANN et al., 2011; BOTIN; CARVALHO, 2015).

As auxinas estão associadas ao crescimento e a alongação celular, estimulam a dominância apical, promovem a formação de raízes laterais e adventícias, retardam o início da abscisão foliar, regulam o desenvolvimento das gemas florais, promovem o desenvolvimento de frutos, induzem a diferenciação vascular, favorecem o estabelecimento da polaridade apical-basal do embrião, entre outros (HARTMANN et al., 2011; TAIZ; ZEIGER, 2013).

Em definição, as auxinas são um grupo de sinais derivados do aminoácido triptofano (SAMPAIO, 2010; POP et al., 2011), sendo este o seu provável precursor, entretanto, cabe destacar a existência de rotas de biossíntese independente do triptofano, ainda não elucidadas totalmente (TAIZ; ZEIGER, 2013). A sua síntese pode ocorrer em todos os tecidos em baixos níveis, contudo, os principais lugares são os meristemas apicais e caules e as folhas jovens. A síntese de auxinas no meristema apical de raízes é importante para a alongação, contudo ainda permanece dependente da auxina produzida na parte aérea (TAIZ; ZEIGER, 2013).

O transporte se dá, de forma polar para as raízes, por meio das células parenquimáticas junto ao tecido vascular, em caules e folhas, ou de forma apolar no floema, quando sintetizada em folhas maduras (SAMPAIO, 2010; TAIZ; ZEIGER, 2013), a fim de coordenar o crescimento e facilitar à resposta as variações ambientais (POP et al., 2011).

A descoberta do ácido indol-3-acético (AIA), principal fitormônio pertencente a classe, desvendou sua importância fisiológica e ocorrência natural abundante, bem como trouxe a luz diversos conhecimentos sobre a fisiologia e desenvolvimento das plantas (TAIZ; ZEIGER, 2013). Após a identificação do AIA, muitas outras auxinas foram descobertas, dentre elas o ácido indolbutírico ou AIB (TAIZ; ZEIGER, 2013).

O AIA, por ter uma estrutura simples, possibilitou produzir sinteticamente em laboratório, diversas moléculas com atividade auxínica como os fitorreguladores ácido naftalenoacético (ANA) e o 2,4-diclorofenoxiacético (2,4-D) (TAIZ; ZEIGER, 2013) os quais são capazes de atuar em diversos processos do desenvolvimento vegetal,

especialmente, na divisão e alongamento celular, na diferenciação dos tecidos vasculares e na indução da atividade de genes de sinalização de moléculas envolvidas na formação de raízes adventícias e laterais (XAVIER; WENDLING; SILVA, 2009; HARTMANN et al., 2011; TAIZ; ZEIGER, 2013; KONZEN et al., 2018). Os principais usos comerciais de auxinas sintéticas estão relacionados ao enraizamento de estacas e miniestacas, prevenção de abscisão foliar e de frutos, e como herbicidas.

A aplicação de reguladores de crescimento vegetal pode influenciar no enraizamento, uma vez que para a formação de raízes adventícias é necessária a presença de fitormônios (XAVIER; WENDLING; SILVA, 2009). Dependendo da espécie, a aplicação exógena de um regulador de crescimento pode promover a iniciação das raízes (XAVIER; WENDLING; SILVA, 2009). Geralmente, quanto maior a relação auxina/citocinina maior a formação de raízes, enquanto o contrário facilita a formação de ramos (TAIZ; ZEIGER, 2013). Isso se deve ao fato das citocininas serem mais relacionadas com o crescimento da parte aérea.

A indução do enraizamento adventício em miniestacas é a chave para o sucesso da propagação vegetativa. Desta forma, as auxinas sintéticas são amplamente utilizadas na propagação vegetativa de plantas, tendo como principal finalidade a indução de raízes adventícias (XAVIER; WENDLING; SILVA, 2009; BOTIN; CARVALHO, 2015) e o controle da morfogênese na micropropagação. A auxina, quando aplicada de forma exógena, é capaz de estimular maior velocidade e qualidade do sistema radicial (HARTMANN et al., 2011; BOTIN; CARVALHO, 2015). Sua aplicação ocorre, principalmente, através da superfície de corte da miniestaca, sendo rapidamente absorvida pelas células por impulso de pH e por transportadores de influxo (POP et al., 2011).

Ao utilizar a auxina de forma exógena em órgãos vegetais, deve-se saber que esta é capaz de promover o aumento da resposta do enraizamento na planta, conforme o acréscimo da concentração, entretanto acima da concentração supra ótima há a possibilidade de ocorrer uma resposta inibitória na formação de raízes (XAVIER; WENDLING; SILVA, 2009). Porém, nem todas as espécies irão responder ao tratamento com auxina, sendo mais eficiente em espécies que tenham conteúdo endógeno insuficiente para a indução do enraizamento adventício (HARTMANN et al., 2011).

O requerimento da aplicação exógena de auxina varia conforme as diferentes fases do enraizamento e o conteúdo endógeno de auxina da planta, devendo-se ponderar qual auxina será utilizada, a forma de aplicação e o tempo de contato desta com o propágulo, a fim de evitar efeito negativo sobre o processo de enraizamento (XAVIER;

WENDLING; SILVA, 2009; BOTIN; CARVALHO, 2015). Contudo, a literatura sugere o uso de concentrações menores de reguladores de crescimento ou a sua eliminação do processo de propagação vegetativa (BOTIN; CARVALHO, 2015), a fim de reduzir custos e o trabalho despendido no processo (XAVIER; WENDLING; SILVA, 2009). Dentre as auxinas existentes o ácido indolbutírico (AIB) e o ácido naftalenoacético (ANA) são as mais eficazes no enraizamento em comparação ao AIA (HARTMANN et al., 2011). Isso porque o AIB é mais estável quimicamente, menos móvel nos tecidos da estaca, pode ser usado em uma ampla faixa de concentração sem causar toxidez às plantas, além de ser menos fotossensível (XAVIER; WENDLING; SILVA, 2009; GOMES; PAIVA, 2011; BOTIN; CARVALHO, 2015).

O AIB é aplicado, de maneira exógena, em diversas espécies florestais a fim de para facilitar a promoção do enraizamento adventício, entretanto, a aplicação e concentração depende de cada espécie (TITON et al., 2003; XAVIER; WENDLING; SILVA, 2009). Em clones de *Eucalyptus grandis* a aplicação de 1.000 a 2.000 mg L⁻¹ de AIB proporcionou os melhores índices de enraizamento e sobrevivência de miniestacas (TITON et al., 2003). O enraizamento adventício em miniestacas de *E. benthamii* dependeu do material genético e da aplicação, sendo que a concentração de 2.000 mg L⁻¹ apresentou maiores porcentagens de enraizamento (BRONDANI et al., 2014).

Em estudo realizado por Freitas et al., (2015) foi avaliado o efeito da aplicação de diferentes concentrações de AIB no enraizamento de miniestacas apicais de *H. heptaphyllus* (ipê-roxo), não sendo condicionante para o enraizamento, embora tenha resultado em mudas com maior comprimento de raízes de primeira ordem e número de raízes de segunda ordem na concentração de 8.000 mg L⁻¹. Outro estudo realizado com ipê-roxo também demonstrou que a aplicação de AIB não é essencial para a sobrevivência e o enraizamento das miniestacas (RODRIGUES et al., 2017) e confirmando que o AIB não é essencial o enraizamento de miniestacas da espécie (OLIVEIRA et al., 2015; OLIVEIRA et al., 2016). Resultados similares foram obtidos em outras espécies, como *Toona ciliata* (SOUZA et al., 2009) e *Ilex paraguariensis* (PIMENTEL et al., 2019).

2.3.2 Substrato para enraizamento

O substrato interfere no enraizamento adventício uma vez que irá fornecer sustentação às miniestacas e proporcionar aeração, umidade e nutrição apropriada para o desenvolvimento e crescimento das raízes (XAVIER; WENDLING; SILVA, 2009). O

substrato pode ser definido como um meio poroso, onde as plantas desenvolvem as raízes e crescem, podendo ser formado por um ou mais componentes que irão exercer a função de sustentação da parte aérea da planta, disponibilizar nutrientes, água e oxigênio (CARNEIRO, 1995; KÄMPF, 2005; WENDLING; GATO, 2012). Além disso, a mistura de componentes de um substrato deve atender a uma finalidade específica (fase de enraizamento e/ou crescimento), de modo que, a composição possa ser facilmente reproduzida e contemple as características adequadas de acordo com a fase de produção de mudas e a espécie a ser propagada (WENDLING et al., 2002).

A composição do substrato pode influenciar, tanto o percentual de enraizamento quanto a qualidade do sistema radicial formado, e irá também depender da espécie a ser propagada (XAVIER; WENDLING; SILVA, 2009). O substrato deve favorecer a umidade necessária para o enraizamento adventício, criar um ambiente escuro para estimular a rizogênese, manter a estaca no lugar durante o período de enraizamento, bem como proporcionar a troca de ar na base da miniestaca, uma vez que o oxigênio é fundamental para a formação de calos e emissão de raízes (XAVIER; WENDLING; SILVA, 2009; HARTMANN et al., 2011; PAIVA; GOMES, 2011).

Existem diversos materiais que podem ser utilizados como substrato, porém dificilmente um único material irá contemplar todas as propriedades necessárias (KÄMPF, 2005). Sendo assim, é recomendado que o substrato para enraizamento seja constituído por uma mistura de componentes, que deve conter de 60 a 80% de material mais poroso, juntamente com 20 a 40% de um material menos poroso (WENDLING et al., 2002). Os principais componentes utilizados são o substrato comercial a base de casca de pinus, a casca de arroz carbonizada e a vermiculita.

Dentre os substratos, Fachinello et al. (2005) comentam que a vermiculita está sendo cada vez mais utilizada para o enraizamento, devido à elevada porosidade e capacidade de retenção de água, características almejavéis para a formação de primórdios radiculares. De acordo com Dias et al. (2015) o uso de vermiculita proporcionou expressiva massa seca para o *Anadenanthera macrocarpa* (angico-vermelho), fator diretamente relacionado a quantidade de raízes emitidas.

Para Abreu et al. (2017) o substrato comercial apresenta um bom volume total de poros, macroporosidade e pouca densidade, permitindo trocas gasosas de forma eficiente e favorecendo o crescimento das raízes. Contudo, existe uma variação de composição de acordo com a marca comercial e, conforme Caldeira et al. (2011) as principais marcas comercializadas são preparadas à base de casca de pinus e turfa. Em estudos com

Maytenus ilicifolia (espinheira-santa) o enraizamento das miniestacas pode ser realizado em substrato Plantmax HT[®] ou areia (LIMA et al., 2009).

Para o enraizamento de *Psidium cattleianum* (araçazeiro) o melhor substrato é a mistura de vermiculita e cinza, seguida da mistura de areia e cinza e da areia (NACHTIGAL; FACHINELLO, 1995). Zietemann e Roberto (2007) indicam o substrato composto por casca de arroz carbonizada e vermiculita para o enraizamento de estacas de *Psidium guajava* L. cultivar ‘Paluma’ (goiabeira). No enraizamento de *I. paraguariensis* (erva-mate) o uso do substrato casca de arroz carbonizada e substrato para enraizamento a base de casca de pinus e vermiculita (1:1, v/v) foi o aconselhado por Brondani et al. (2007).

Para o *H. heptaphyllus* (ipê-roxo), em estudos de enraizamento como o realizado por Oliveira et al. (2016) foi utilizado substrato comercial à base de casca de pinus decomposta. Já em outro experimento realizado por Freitas et al. (2015) o substrato utilizado para enraizar miniestacas de ipê-roxo foi substrato comercial da Basaplant Florestal[®], contendo casca de pinus, fibra de coco, turfa fibrosa e vermiculita. Para a mesma espécie, Pimentel et al. (2016) o substrato comercial a base de casca de pinus e vermiculita (1:2, v/v) resultou no maior percentual de sobrevivência das miniestacas.

Tem-se buscado alternativas para o uso de resíduos industriais como a serragem, fibra de coco, o bagaço de cana e torta de filtro no sistema de blocos prensados para produção de mudas de *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus. saligna*, para os quais esses componentes proporcionam mudas com desenvolvimento mais acelerado. Contudo, o percentual de sobrevivência e enraizamento das estacas e o comprimento de raízes na fase inicial de produção foi reduzido (DE FREITAS et al., 2006). Outro componente testado que provém de resíduo é a casca de arroz carbonizada, disponível, especialmente, em regiões produtoras de arroz. A casca de arroz carbonizada possui baixa densidade, portanto, aumenta a porosidade total do substrato, proporcionando maior drenagem e uma melhor aeração ao sistema radicular (COUTO et al., 2003). Deste modo, para cada sistema de produção são necessários ajustes de manejo e adequação da mistura de componentes de um substrato para atender cada finalidade (WENDLING et al., 2002).

Também é necessário conhecer as propriedades de cada um dos materiais escolhidos (FERMINO, 2014) para compor um substrato, assim como da mistura resultante destes materiais, uma vez que esta irá influenciar o desenvolvimento da planta. Outros aspectos importantes a serem considerados relacionados com a escolha dos materiais são fatores econômicos, ambientais e de disponibilidade destes insumos.

As características encontradas no substrato podem ser divididas em química e física, sendo a análise física extremamente importante, uma vez que esta pode condicionar as propriedades químicas e não é passível de ser alterada uma vez iniciado o cultivo (FERMINO et al., 2018). Dentre as características físicas relevantes para o processo de enraizamento de miniestacas estão a densidade, a porosidade total, o espaço de aeração e a disponibilidade de água. Já para as características químicas destacam-se o pH e a condutividade elétrica (KÄMPF, 2005; FERMINO, 2014).

A densidade expressa relação entre a massa e o volume do substrato, sendo importante para o cálculo e interpretação de outras propriedades relacionadas ao volume, como porosidade total, espaço de aeração e disponibilidade de água (FERMINO, 2014). É desejável que o substrato não seja muito leve, para não comprometer a estabilidade do propágulo, assim como não é recomendado o uso de substrato com alta densidade, uma vez que este tende a ter menor volume de poros ocupados por ar e gerar dificuldades no crescimento e transporte das plantas em recipientes (KÄMPF, 2005; FERMINO et al., 2018). Para a propagação de plantas, de modo geral, os valores recomendados de densidade seca descritos na literatura estão entre 400 a 500 Kg m⁻³ (FERMINO, 2014). Porém, quando se utilizam bandejas ou células para propagação, os valores de densidade devem estar entre 100 e 300 Kg m⁻³ (KÄMPF, 2005).

A porosidade total é definida como a diferença entre o volume total e o volume de sólidos da amostra, sendo vista como pouco informativa, uma vez que não especifica qual o tamanho dos poros presentes na amostra, podendo estes estarem ocupados por volumes distintos de ar ou água (FERMINO, 2014). A literatura recomenda que um valor adequado de porosidade total deve ser de 85% (FERMINO et al., 2018). Porém, a porosidade é uma característica que pode sofrer alterações, visto que, pode ocorrer a compactação do substrato durante o cultivo, afetando a proporção de macro e microporos influenciando na disponibilidade hídrica do meio de cultivo para a planta (FERMINO et al., 2018).

O espaço de aeração é tido como o volume de ar contido no substrato drenado, após sua saturação em condições equivalentes à tensão de uma coluna de água de 10 cm de altura, em condições de laboratório (FERMINO, 2014). Para esta característica do substrato não há apenas um valor para ser tomado como referência, podendo os valores obtidos estarem entre 20 a 30%, ou 30 a 40%. Deste modo, a escolha pelo melhor substrato com base nos valores de espaço de aeração deve levar em consideração a espécie cultivada, a frequência de irrigação e o ambiente de cultivo (FERMINO, 2014).

A disponibilidade de água de um substrato refere-se ao volume de água liberado sob baixas tensões (de 10 a 100 hPa), indicando o quanto de água há disponível para a planta (FERMINO, 2014). É indicado que entre 40 a 50% do volume de um substrato seja de água e, que de 20 a 30%, desse total, seja correspondente a água facilmente disponível (FERMINO, 2014).

Em relação às características químicas, o valor de pH é extremamente importante, pois mensura a alcalinidade ou acidez do substrato. A ocorrência de alterações nestes valores em um meio de cultivo pode gerar consequências fisiológicas nas plantas, afetando o crescimento e a disponibilidade de nutrientes, devendo este estar situado na faixa de valor entre 5,0 a 5,8, para materiais de origem orgânica, e entre 6,0 a 6,5 para materiais de fonte mineral (KÄMPF, 2005). Já a condutividade elétrica estima o conteúdo de sais solúveis em um determinado meio de crescimento (FERMINO, 2014) e quando em níveis elevados é capaz de afetar o crescimento das plantas. No que diz respeito à fertilidade, este não é um fator decisivo na escolha do meio para enraizamento, uma vez que os propágulos vegetativos utilizam em um primeiro momento as reservas endógenas e posteriormente passam a absorver nutrientes presentes no substrato (WENDLING et al., 2002).

2.4 PARÂMETROS DE QUALIDADE DE MUDAS

A sobrevivência, o estabelecimento, a frequência dos tratos culturais e o crescimento inicial de mudas são importantes para avaliar a qualidade das mudas produzidas e, indicativo de sucesso do futuro empreendimento florestal (GOMES et al., 2002). Visto que, a qualidade influencia no subsequente desempenho a campo (HAASE, 2008). A determinação da qualidade das mudas aptas ao plantio baseia-se tanto em caracteres fenotípicos, como naqueles que mensuram o metabolismo das plantas, denominados, respectivamente, de parâmetros morfológicos e fisiológicos. Contudo, a avaliação fisiológica requer instrumentos específicos ou procedimentos laboratoriais (RITCHIE et al., 2010), o que resulta em maior custo de mensuração dessas variáveis.

Os caracteres morfológicos não destrutivos frequentemente utilizados são altura da planta, diâmetro do colo, relação altura/diâmetro do colo, número de folhas, entre outros (HAASE, 2008). Além desses, avaliam-se caracteres destrutivos, como massa seca da parte aérea e do sistema radicular, massa seca total, relação entre massa seca da parte aérea/massa seca radicular, área foliar, comprimento do sistema radicular, Índice de

Qualidade de Dickson, entre outros (ARAUJO et al., 2018). É importante mencionar que a qualidade das mudas é fortemente influenciada pelas práticas de manejo da produção e pela fertilidade e volume do substrato disponível para cada planta (REIS et al., 2008).

Na literatura, mudas de *Eucalyptus* sp. que tenham altura entre 15 e 30 cm são consideradas adequadas à expedição e plantio (GOMES; PAIVA, 2011). Por outro lado, para espécies florestais nativas, recomenda-se que a altura da parte aérea esteja entre 20 e 35 cm (GONÇALVES et al., 2005). Salienta-se que mudas com maior porte têm vantagem na competição com plantas daninhas, além de serem consequência de maior qualidade genética (HAASE, 2008). No entanto, este aumento em altura da parte aérea tem que estar acompanhado de um sistema radicular adequado, pois o equilíbrio entre parte aérea e raízes é fundamental para o estabelecimento e crescimento inicial das plantas no campo.

O diâmetro do colo é um caractere que representa de maneira apropriada a qualidade de mudas, e, posterior desempenho a campo (RITCHIE et al., 2010; GOMES; PAIVA, 2011). Para espécies nativas, consideram-se como adequados diâmetros do colo entre 5 e 10 mm (GONÇALVES et al., 2005). Em contraponto, mudas de espécies exóticas, como as do gênero *Eucalyptus* sp., são conduzidas ao plantio com valores de diâmetro do colo maior que 2 mm (WENDLING; DUTRA, 2010).

A mensuração da relação altura/diâmetro do colo (H/DC) em mudas possibilita entender a alocação em parte aérea e sistema radicular, cujos valores podem estar entre 2,0 e 3,5 cm mm⁻¹ e entre 4,0 e 7,0 cm mm⁻¹, respectivamente, para plantas com maior e menor firmeza da haste (GONÇALVES et al., 2005). A relação H/DC com valores até 10 cm mm⁻¹ pode ser indicativo de alta sobrevivência e crescimento no pós-plantio (BIRCHLER et al., 1998), uma vez que, esta medida possibilita conhecer a resistência das plantas (RITCHIE et al., 2010).

Os caracteres destrutivos representam a sobrevivência e o crescimento inicial de plantas a campo, dentre as quais, destacam-se massa seca radicular e a massa seca total (GOMES; PAIVA, 2011). A mensuração de parâmetros relacionados ao sistema radicular permite estabelecer com exatidão a qualidade de mudas (DAVIS; JACOBS, 2005), ratificando ou não sobre o estiolamento da planta (KNAPIK, 2005).

Dentre as espécies florestais, alguns estudos corroboram a importância de se conhecer a qualidade de mudas produzidas, destacando-se *Pterogyne nitens* Rull. (BOMFIM et al., 2009), *Peltophorum dubium* (Sprengel) Taubert (BRACHTVOGEL; MALAVASI, 2010), *Jatropha curcas* L. (AJALA et al., 2012), *Cedrela fissilis* Vell.

(ANTONIAZZI et al., 2013), *Cabralea canjerana* (GASPARIN et al., 2014), *Handroanthus heptaphyllus* (MEZZOMO et al., 2018), *Cordia trichotoma* (BERGHETTI et al., 2019), *Balfourodendron riedelianum* (Engl.) Engl. (TURCHETTO et al., 2019), *Handroanthus heptaphyllus* (TONETTO et al., 2020), entre outros. Deste modo, pode-se validar o manejo silvicultural em todas as fases de produção.

2.5 SELEÇÃO PARA O ENRAIZAMENTO ADVENTÍCIO

Grande parte dos programas de melhoramento genético de espécies florestais estão baseados em ciclos de seleção e recombinação, consistindo em uma estratégia que possibilita satisfatórios ganhos genéticos e identificação de genótipos superiores. Todavia, alguns entraves ainda permanecem, como longos ciclos de seleção e problemas de resgate de genótipos superiores em estágios mais avançados de melhoramento (BISOGNIN; LENCINA, 2016). Diante desse contexto, torna-se relevante a definição de estratégias que reduzam os ciclos de seleção, bem como garantam que genótipos competentes à propagação vegetativa sejam identificados e selecionados.

Ciclos de recombinação entre genitores, seguidos da seleção clonal de indivíduos nas progênes é a estratégia básica do melhoramento genético com vistas na propagação vegetativa (BISOGNIN; LENCINA, 2016), quando se busca a identificação dos melhores indivíduos. Assim, uma das formas de reduzir o período de avaliações é através de técnicas de propagação vegetativa voltadas para a seleção para o enraizamento adventício dos propágulos (FERREIRA, 1992). Pelo fato de a propagação vegetativa possibilitar a fixação e a transferência dos componentes genéticos aditivos e não aditivos, isso resulta em maiores ganhos dentro de uma mesma geração de seleção. Salienta-se ainda que a propagação vegetativa permite a fixação imediata de combinações favoráveis em qualquer etapa do programa de melhoramento, bem como trata-se da principal forma de produção massal de mudas de diversas espécies economicamente relevantes (BISOGNIN; LENCINA, 2016).

Alguns estudos vêm sendo desenvolvidos com este propósito. Somavilla (2018) teve por objetivo desenvolver uma estratégia de seleção precoce de *Cordia trichotoma* (louro-pardo) para a propagação vegetativa, sendo possível a obtenção de elevados ganhos de seleção para porcentagem de enraizamento e número de miniestacas enraizadas. No mesmo sentido, Gazzana (2019) selecionou entre e dentro de progênes de meio-irmão de *Ilex paraguariensis* (erva-mate) para o enraizamento adventício e

concluiu que este tipo de seleção pode ser realizado com base no número de miniestacas enraizadas, variável que apresenta maiores valores de herdabilidade, possibilitando ganhos genéticos de seleção satisfatórios para este caractere.

A definição dos parâmetros genéticos para os caracteres associados à propagação vegetativa, bem como para a sua maximização, como tipo e tamanho de explante, substrato, condições ambientais para o enraizamento, entre outros, consistem em pontos de partida para o avanço nesses estudos. Quanto a avaliação genética, Oliveira; Dias; Almeida (2015) e Gazzana (2019) utilizaram o procedimento REML/BLUP para estimar os componentes de variância e predição de valores genéticos do processo de enraizamento adventício. Os resultados obtidos por Oliveira; Dias; Almeida (2015) em estudo realizado com *Eucalyptus cloeziana* F. Muell mostraram que o enraizamento adventício apresenta alto controle genético, bem como altos coeficientes de variação genotípica, o que indica a possibilidade do uso do enraizamento adventício como critério auxiliar de seleção nos programas de melhoramento genético para a propagação vegetativa.

3 ARTIGO 1 – Production of jacaranda plantlets by mini-cutting

Artigo publicado na revista *Semina: Ciências Agrárias, Londrina*, v. 41, n. 5, suplemento 1, p. 1951-1962, 2020.

DOI: 10.5433/1679-0359.2020v41n5Supl1p1951

Abstract

The objective of this study was to investigate the production of jacaranda (*Jacaranda mimosifolia* D. Don) plantlets by mini-cutting. For this, a mini-clonal hedge was established to supply sprouts for mini-cuttings. For adventitious rooting, the mini-cuttings were treated with hydroalcoholic solution of indolebutyric acid at concentrations of 0, 1000, and 2000 mg L⁻¹ and grown in a greenhouse. The survival of mini-cuttings was evaluated at 30, 60, and 90 days, and rooting, callus, sprouting, leaf area, root area, aerial dry mass, root dry mass, total dry mass, and aerial/root dry mass ratio were assessed at 90 days. The rooted mini-cuttings were treated with different volumes of nutrient solution (0, 25, and 50 mL) and were evaluated for survival, height, diameter, leaf area, root area, aerial dry mass, root dry mass, and aerial/root dry mass ratio of the plantlets after 30 days of cultivation in a shade house and full sunlight. Jacaranda can be established in a mini-clonal hedge for the production of shoots necessary for the preparation of mini-cuttings. The mini-cuttings are rooted in a greenhouse without use of indolebutyric acid. The plantlets produced can be acclimatized in a shade house and hardened in full sun. Jacaranda plantlets can be produced by mini-cuttings.

Key words: Indolebutyric acid. *Jacaranda mimosifolia* D. Don. Vegetative propagation.

Resumo

Este trabalho teve por objetivo estudar a produção de mudas de jacarandá (*Jacaranda mimosifolia* D. Don) por miniestaquia. Para isso, foi estabelecido um minijardim clonal para o fornecimento de brotações para a confecção de miniestacas. Para o enraizamento adventício, as miniestacas foram tratadas ou não com solução hidroalcoólica de ácido indolbutírico na concentração de 0, 1000 e 2000 mg L⁻¹ e cultivadas em casa de vegetação climatizada. A sobrevivência das miniestacas foi avaliada aos 30, 60 e 90 dias e o enraizamento, calos, brotação, área foliar, área de raiz, massa seca aérea, massa seca de raízes, massa seca total e massa seca aérea/raiz aos 90 dias. As miniestacas enraizadas foram tratadas com diferentes volumes de solução nutritiva (0, 25 e 50 mL) e avaliadas quanto à sobrevivência, altura, diâmetro, área foliar, área radicular, massa seca aérea, massa seca radicular e relação massa seca aérea/radicular das plantas após 30 dias de cultivo em casa de sombra e pleno sol. O jacarandá pode ser estabelecido em minijardim clonal para a produção de brotações necessárias para o preparo de miniestacas. As miniestacas enraízam em casa de vegetação e sem a necessidade de ácido indolbutírico. As mudas produzidas podem ser aclimatizadas em casa de sombra e rustificadas em pleno sol. Mudas de jacarandá podem ser produzidas por miniestaquia.

Palavras-chave: Ácido indolbutírico. *Jacaranda mimosifolia* D. Don. Propagação vegetativa.

Introduction

Jacaranda mimosifolia D. Don (Bignoniaceae), commonly known as jacaranda-mimoso or jacaranda, is a tree species native to Argentina, Bolivia and Paraguay, which can be found in temperate and tropical regions (Lorenzi, Souza, & Torres, 2003). This tree species is mainly used in the landscaping of parks and large gardens, given the beauty of its flowers. It is also used in urban planting, woodworking and as a medicinal plant.

The propagation of jacaranda is usually achieved from seeds, which results in rapid plant growth. However, the seeds present low longevity, which reduces the storage potential and, consequently, the possibility of obtaining seedlings of high quality and in adequate quantity. Furthermore, seasonality should be considered in seed production, as it results in limitation of seed availability in years of absent or lower fruiting (Tonetto, Araujo, Muniz, Walker, & Berghetti, 2015). This seedling production problem can be addressed by vegetative propagation. For example, jacaranda can be propagated by tissue culture (Maruyama, Ishii, Saito, & Ohba, 1993) and cuttings (Miyajima et al., 2004). However, there are no reports regarding the use of mini-cuttings for the production of clonal plantlets of this species.

The mini-cutting is a variation of the technique of cutting and presents advantages for the production of plantlets of woody species such as improving rooting and root system structure (Xavier, Wendling, & Silva, 2013). It can also reduce or eliminate the use of plant growth regulators. In addition, it requires less physical space for the production of propagules in mini-clonal hedge and shorter period of time for rooting of mini-cuttings and for acclimatization of plantlets (Ferriani, Ribas-Zuffellato, & Wendling, 2010), facilitating the propagation of selected individuals (Xavier et al., 2013).

The adventitious rooting process of the mini-cuttings depends on several factors, such as the application of indolebutyric acid (IBA). IBA is highly effective in stimulating rooting, which is due to its lower photosensitivity and improved chemical stability in the plant, as it is less affected by the indoleacetic acid oxidase system (Hartmann, Kester, Davies, & Geneve, 2011). For the growth of the plantlets, nutrition is one of the essential factors and each mineral element has a certain function linked to plant metabolism. Thus, periodic fertilization is usually necessary to achieve quality plantlet production in a short time (Wendling, Dutra, & Grossi, 2006).

The aimed of this study was to evaluate the establishment of jacarandá plants in clonal mini-garden, the effect of indolbutyric acid on the rooting of mini-cuttings, as well as the acclimatization and rustification of plantlets produced by mini-cuttings.

Material and Methods

The experiments were conducted at the Center for Plant Breeding and Propagation (MPVP), Plant Science Department of the Federal University of Santa Maria (UFSM), from June 2015 to February 2017.

The jacaranda mini-clonal hedge was established in October 2015, with a total of 48 seedlings that were 120 days old after sowing (Figure 1A). The plantlets were planted in four polyethylene trays (55 cm x 34 cm x 15 cm) with spacing of 10 cm x 10 cm and the mini-clonal hedge was established according to the methodology used for other forest species in the MPVP-UFSM, such as *Cabralea canjerana* (Vellozo) Martius (Burin, Bisognin, Lencina, & Gimenes, 2018a; Burin, Bisognin, Lencina, Somavilla, & Pedroso, 2018b; Gimenes et al., 2015), *Ilex paraguariensis* A. St.-Hil. (Pimentel, Lencina, Pedroso, Somavilla, & Bisognin, 2017) and *Handroanthus heptaphyllus* Vell. Mattos (Rodrigues, Pimentel, Lencina, Kielse, & Bisognin, 2017). In the flood fertigation system, the nutrient solution was supplied for 15 min twice a day, with the aid of a digital programmer and a low flow submersible pump, drained by two holes arranged in the front

of the tray. The nutrient solution was adapted from the study by Hoagland and Arnon (1950). The pH of the nutrient solution was maintained between 5.5 and 6.0 and the electrical conductivity was 1.5 d S m^{-1} .

The plantlets were pruned at day 30 after planting in the soilless cultivation system at three heights, based on the number of remaining buds in the ministumps (i.e. 2, 4, or 6 buds), considering their opposite phyllotaxis. The ministumps were evaluated at day 30, 60, and 90 for survival percentage and sprout production. After this period, the ministumps underwent consecutive formation pruning during 9 months.

Rooting of mini-cuttings

The sprouts that developed from the ministumps were sectioned in double bud (opposite phyllotaxis) with 1.5-2.0 cm in length and a pair of leaves each with four pairs of leaflets. The mini-cuttings were treated with IBA hydroalcoholic solution at concentrations of 0, 1000, and 2000 mg L⁻¹ for 10 s. To prepare the solution, IBA was dissolved in 50% ethyl alcohol (96 GL) and diluted in 50% distilled water. The mini-cuttings were grown in 110 cm³ polyethylene tubes containing a commercial substrate mixture based on pinus bark and vermiculite in the proportion of 2:1 (v/v), as defined in preliminary tests. Rooting was carried out in a greenhouse with a relative humidity of approximately 65% and an average temperature of 27 °C. The mini-cuttings received manual daily watering with watering aid. The percentage of survival was evaluated at day 30, 60, and 90, while the percentage of rooting, callus formation, and sprouting were assessed after 90 days. The experiment was arranged in a randomized design, with 10 replicates of six cuttings.

After 90 days of culture in a greenhouse, the dry mass of the aerial part and roots and the root and leaf area were evaluated in eight rooted mini-cuttings. For these evaluations, the plantlets were sectioned into aerial parts and roots, which were weighed on a precision balance and placed in paper bags for drying in a forced air circulation oven at 70 °C until constant weight. The obtained dry weights of the aerial parts and of roots were used to determine the aerial/root dry mass ratio and total dry mass. The area of the root system and the leaf area were determined from images obtained using the scanner CanoScanLide 220, and measurements were made with the aid of the Winfolia software for the leaves and Image J for the roots. This experiment was also arranged in a randomized design, with eight repetitions of one plant.

Plantlet growth

After 120 days of cultivation in a greenhouse, the plantlets from the previous experiment were transferred to the shade house with a monofilament screen and 50% shading, where they remained for 30 days for acclimatization. Thereafter, the plantlets were exposed to full sunlight for a further 30-day period for rustication. During these periods, the plantlets were randomized and received different volumes of nutrient solutions used in the mini-clonal hedge, in the amounts of 0, 25, and 50 mL per tube per week. This form of cover fertilization is justified by the fact that the closed system of soilless cultivation used in this research (Bisognin, Bandinelli, Kielse, & Fischer, 2015) presents a remnant of nutrient solution that can be used for the fertilization of the plantlets, at a given quantity and application frequency, such as every seven days.

The plantlets were evaluated before the beginning of acclimatization after 30 days of shade cultivation followed by 30 days of cultivation in full sun for survival percentage, height, and stem diameter. The height was measured with a millimeter ruler, from the stem of the plantlet to the insertion of the last pair of leaves. The diameter of stem was measured at the insertion of the plantlet with the substrate, with the aid of a digital caliper. The experiment was arranged in a completely randomized design, with 10 replicates of three plantlets.

At the end of the rustication period, five randomly selected plantlets were evaluated for aerial dry mass, root dry mass, and aerial/dry mass ratio as described above. In addition, growth increments in height and diameter of the stem were calculated during the growing season under the shade and full sun. The experimental design was a completely randomized design with five replications of one plantlet.

Statistical analysis

The data were subjected to test of normality of variances by the Shapiro-Wilk test and to meet normality assumptions, percentage data were transformed to $\arcsin \sqrt{x/100}$ and number data to $\sqrt{x+0.5}$. Later the data were submitted to analysis of variance (ANOVA) by the F test. The treatments with significant differences were compared by using the Tukey test, at 5% probability of error. The analyses were performed with the aid of the statistical software R-Studio version 1.0.143 (R Core Team, 2017).

Results and Discussion

Jacaranda plantlets presented adequate establishment in the system of cultivation without soil used for other forest species. After the establishment, the plantlets were subjected to different pruning heights based on the number of remaining buds (2, 4, and 6 buds). In this experiment, the different pruning heights did not affect the survival of the ministumps or the production of shoots after 30, 60, and 90 days (data not shown). In all experiments, the ministumps developed new shoots, which indicates that jacaranda ministumps can be pruned to different heights, even with only a pair of buds left on the ministump. A similar result was observed for *Azadirachta indica* A. Juss, where the ministumps survived up to 189 days after the establishment of the minigarden regardless to the pruning height (10, 25, or 40 cm) (Fernandes et al., 2017).

The formation of the ministumps depends on the removal of the apex or pruning of the aerial part to break apical dominance and to induce the growth of adventitious buds that result in the production of lateral shoots used for the preparation of the mini-cuttings (Fernandes et al., 2017). In this study, different pruning heights of the aerial part were evaluated for the formation of the ministump. This is because the height of pruning varies with the species, the management conditions of the mini-clonal hedge (Fernandes et al., 2017), the phyllotaxis and the growth pattern to the internode. Therefore, the knowledge of the pruning height and the formation of the ministump in each species is important to maximize the production of shoots (in this study, the number of mini-cuttings produced was 501, in an area of 7.48 m² of mini-clonal hedge, which enabled the yield of 66.98 mini-cuttings m⁻²) and for the maintenance of an adequate size of the shoots, in order to obtain greater production of mini-cuttings and, consequently, plantlets. This is due to the increase in mortality rate after a very drastic pruning or the reduction of the life of the ministump in the case of less intense pruning. This is due to the excessive increase of height as a result of formation of new buds for induction of lateral shoots.

These results show that the establishment of mini-clonal hedge in a closed soilless hydroponic system and the management of ministumps were suitable for jacaranda asexual propagation, and thus could be used to produce sprouts for the preparation of mini-cuttings. All the ministumps survived during the 9 months of periodic pruning, indicating that jacaranda species is tolerant to injury caused during the collection of shoots, which is fundamental to enable the production of plantlets by mini-cutting.

Furthermore, the mini-stumps presented adequate growth, considering the composition and management of the nutrient solution. This helped to collect shoots and to prepare mini-cuttings sufficient to conduct pilot tests needed to define the treatments for use in the rooting of cuttings (Figure 1B) and plantlet production (Figure 1C).



Figure 2 – *Jacaranda* mini-clonal hedge established in a soilless cultivation system (A), mini-cutting rooted in a greenhouse (B), and rustified plantlet (C).

Rooting of mini-cuttings

No significant differences in percentages of survival, rooting, callus formation and sprouting were observed between the doses of IBA up to 90 days of cultivation of jacaranda mini-cuttings in a greenhouse (Table 1). The mean survival percentage was 79.4% and rooting percentage was 68.9% at day 90. The percentage of sprouted mini-cuttings was also high, with an average of 76.1%. With the exception of the percentage of mini-cuttings that formed callus, the coefficient of variation for all parameters was low, which indicates good reliability of the obtained results.

Table 1 - Percentage of survival after 30, 60, and 90 days and percentage of rooting, callus formation, and sprouting after 90 days of cultivation of mini-cuttings of jacaranda treated with different doses of indolebutyric acid (IBA) in a greenhouse.

AIB (mg L ⁻¹)	Survival			Rooting	Callus	Sprouting
	30 days	60 days	90 days	(%)	(%)	(%)
0	91.7 ^{ns*}	83.3 ^{ns}	73.3 ^{ns}	65.0 ^{ns}	6.7 ^{ns}	81.7 ^{ns}
1000	90.0	86.6	81.6	65.0	3.3	73.3
2000	93.3	88.3	83.3	76.6	1.7	73.3
Average	91.7	86.1	79.4	68.9	3.9	76.1
CV (%)	12.7	15.7	21.8	28.0	216.6	23.0

*Not significant (ns) by Tukey test at 5% error of probability. CV = Coefficient of variation.

Treatment with IBA also did not affect the leaf and root area and dry mass production of aerial parts and roots, total dry mass, and the ratio of the dry mass of aerial parts to roots (Table 2). For these traits, the IBA treatment did not alter the observed values. Root dry mass showed the highest coefficient of variation, while for the other traits the coefficient of variation was below 50%.

Table 2 - Root and leaf area (cm²), dry mass (mg) of aerial parts and roots, total dry mass (mg), and the ratio of dry mass of aerial parts to roots of jacaranda mini-cuttings treated with different doses of indolebutyric acid (IBA) after 90 days of cultivation in a greenhouse.

IBA (mg L ⁻¹)	Root area	Leaf area	Aerial dry mass	Root dry mass	Total dry mass	Aerial/Root dry mass ratio
0	9374.2 ^{ns*}	3863.4 ^{ns}	200.0 ^{ns}	70.0 ^{ns}	270.0 ^{ns}	2.9 ^{ns}
1000	9370.4	4320.0	230.0	70.0	300.0	3.3
2000	9107.9	4388.1	240.0	80.0	320.0	3.0
Average	9284.2	4190.5	220.0	70.0	290.0	3.1
CV (%)	32.7	46.9	46.9	63.4	49.6	45.7

*Not significant (ns) by Tukey test at 5% error of probability. CV = Coefficient of variation.

In this study, high percentages of survival, rooting, and sprouting were observed in jacaranda mini-cuttings after 90 days of cultivation under greenhouse conditions. In addition, the rooted mini-cuttings presented adequate leaf and root area, which was consistent with the ratio of the dry mass of aerial parts to that of roots. Interestingly, the mini-cuttings of jacaranda rooted under benches in a greenhouse, without the control of relative humidity, which greatly facilitates the production of plantlets from mini-cuttings. The mini-cuttings of some species, especially tree species, need to be maintained in a high humidity environment for adventitious rooting, which can only be achieved within specialized environments, such as in a moist chamber. However, these conditions require greater investments in vegetative propagation structures and often constitute a major impediment to the production of plantlets using mini-cuttings. In addition, environments with high relative air humidity, especially when associated with high temperatures, may favor disease incidence, especially in a greenhouse (Alfnas et al., 2009) and thus cause the mortality of mini-cuttings, reducing the number of plantlets produced.

The percentages of survival, rooting, and sprouting were high for all treatments, indicating that jacaranda mini-cuttings do not require IBA for adventitious rooting. The

high percentages of survival indicate that the reserves were sufficient to keep mini-cuttings alive during the adventitious rooting process. This is due to the fact that death of the mini-cuttings is often associated with the depletion of accumulated reserves in the tissues, and their higher survival is related to the production of carbohydrates and the complexes responsible for rooting (Bordin et al., 2005, Silva et al., 2015).

The observed high rooting percentages without the need for IBA are in agreement with Miyajima et al. (2004) who studied the rooting of herbaceous jacaranda cuttings. This demonstrates that jacaranda does not require IBA for adventitious rooting, likely due to the sufficient endogenous auxin content and optimal hormonal balance between auxins and cytokinins (Hartmann et al., 2011). In separate studies, other species did not require the application of IBA for adventitious rooting in *Handroanthus heptaphyllus* (Oliveira et al., 2016, Rodrigues et al., 2017), *Calophyllum brasiliense* Cambess. (Silva et al., 2010), and *Anadenanthera macrocarpa* (Benth) Benan (Dias et al., 2012).

In woody species, the root primordia may be the origin of cells close to the vascular system of callus tissue (Hartmann et al., 2011). Thus, the formation of callus at the base of the mini-cuttings may be essential for the rooting process, since this capacity is indicative of the processing efficiency and tissue differentiation (Penso et al., 2016). However, the high percentage of rooting and low percentage of callus demonstrate that there was no relationship between these parameters.

Another relevant aspect observed in the present study is that the use of IBA and dose increase did not increase callus formation in mini-cuttings. This result was not expected, considering that IBA plays a role in the cell development pathway, in which differentiated stem cells become dedifferentiated into callus cells (Hartmann et al., 2011). This fact is in line with the finding of Zottele and Aoyama (2014) who verified that the primordia of *Justicia wasshauseniana* Profice roots originated directly from the basal region of the cuttings, independent from the node and callus formation.

The satisfactory responses obtained for adventitious rooting may have been positively influenced by the high sprouting percentage. The presence of leaves and the formation of new shoots are responsible for the production of photoassimilates and for the increase of the reserves, which favors rooting (Paiva & Gomes, 2011). The formation of shoots from the cuttings also indicates the appropriate allocation of reserves, and results in plantlets with adequate balance between aerial parts and root system. The results of leaf and root area and production and partitioning of assimilates to different organs clearly show that after 90 days of cultivation in the greenhouse, the jacaranda plantlets presented high

quality. This is supported by the average of the ratio of aerial dry mass to root dry mass of 3.63. This relationship is an important indicator for the quality of plantlets, with a value higher than 2.0 (Gomes & Paiva, 2011) considered adequate for evaluation of jacaranda plantlets.

Plantlet growth

There were no significant differences in plantlet survival percentage and the increase in stem diameter during cultivation in a shade house and full sun between the volumes of nutrient solution applied (Table 3). The survival percentage improved under the both environments, suggesting that the management practices adopted were appropriate for jacaranda plantlets. For the increase in stem diameter, a high coefficient of variation was observed, which makes it difficult to detect significant differences between treatments. The application of nutrient solution increased the height of plantlets under both environments (Table 3). These differences in height of the plantlets with the weekly application of nutrient solution during acclimatization in a shade house and the rustication in full sun were in agreement with the increase in leaf area and total dry mass (Table 4).

Table 3 - Survival percentage (%), initial height (cm), increase in height (cm⁻¹), initial stem diameter (mm), and increase in stem diameter (mm⁻¹) of treated jacaranda plantlets with different volumes of nutrient solution during 30 days under a shade house (SH) and full sun (FS) cultivation.

Nutrient solution (mL)	Survival		Initial height	Increase in height		Initial stem diameter	Increase in stem diameter	
	SH	FS		SH	FS		DS	FS
0	91.4 ^{ns*}	87.9 ^{ns}	5.2	2.8 b*	1.5 b	3.6	0.7 ^{ns}	0.4 ^{ns}
25	97.4	97.4	5.6	5.9 a	2.9 a	3.7	1.2	0.6
50	91.2	91.2	4.7	5.4 a	2.6 a	3.5	1.1	0.2
Average	93.3	92.2	5.2	4.7	2.3	3.6	1.0	0.4
CV (%)	27.1	26.7	-	44.5	68.6	-	121.1	165.0

*Not significant (ns) and values followed by different letter do differ by Tukey test at 5% error of probability. CV = coefficient of variation.

In these experiments, the survival of the plantlets in the shade house and in full sun was high (above 92%), indicating adaptation to the cultivation conditions and the management practices adopted. A similar result was observed in a study using rooted mini-cuttings of *Peltophorum dubium* (Spreng) Taub. wherein satisfactory plantlet survival was observed during the hardening process in a greenhouse (100%) and full sun (100%) (Mantovani et al., 2017).

Table 4 - Root and leaf area (cm²), dry mass (mg) of aerial parts and roots, total dry mass (mg), and the ratio of the dry mass of aerial parts to that of roots of jacaranda plantlets subjected to different volumes of nutrient solution during 30 days of cultivation in a shade house and in full sun.

Nutrient solution (mL)	Root area	Leaf area	Dry mass (mg)			
			Aerial	Root	Total	Aerial/Root
Shade house						
0	27506.8 ^{ns*}	3320.3 b	352.0 ^{ns}	463.0 ^{ns}	815.0 b	0.76 ^{ns}
25	32158.8	8179.0 a	656.0	899.0	1556.0 ab	0.72
50	26188.8	10306.5 a	698.0	987.0	1685.0 a	0.70
Average	28618.1	7278.6	568.0	783.0	1352.0	0.72
CV (%)	37.9	26.2	35.3	43.4	31.6	45.4
Full sun						
0	44672.5 ^{ns}	2863.8 ^{ns}	404.0 ^{ns}	501.0 ^{ns}	1601.0 ^{ns}	0.81 ^{ns}
25	57998.3	6864.0	765.0	484.0	2123.0	1.58
50	48338.5	4508.8	514.0	404.0	1690.0	1.27
Average	50336.4	4745.5	561.0	463.0	1805.0	1.22
CV (%)	46.3	47.1	41.4	38.9	35.7	61.4

*Not significant (ns) and values followed by different letter do differ by Tukey test at 5% error of probability. CV = coefficient of variation.

It is also possible that the container (110 cm³) restricted the growth of the root system and limited the utilization and absorption of nutrients from a larger volume of the added nutrient solution. The use of containers with larger volume promoted the development of plantlets of *Mimosa caesalpinifolia* Benth. (Melo et al., 2018), while containers with smaller volume restricted the accumulation of nutrients in *Mezilaurus itauba* Taub. ex Mez and *Platymiscium ulei* Harms (Ferreira et al., 2017). This shows the influence of the volume of the container on the growth of plantlets of forest species, which will be investigated in the next experiments.

The fact that there is no difference between the characters evaluated for the different volumes of nutrient solution tested under the full sun environment probably indicates a restriction to the acclimatization process, with greater light exposure. When

plants that are adapted to the shade are transferred to full light, the leaves tend to undergo photoinhibition and foliar bleaching, and may even senesce (Taiz & Zeiger, 2013). In addition, typical foliar symptoms, such as chlorosis, can sometimes be the result of an environmental response not related to nutritional stress, but rather to damage caused by increasing the temperature in full sun or the reduction of water and nutrient absorption capacities by the roots (Jacobs & Landis, 2009).

The observed values of increases in plantlet height, leaf area, and total dry mass demonstrate that the species invests the largest allocation of biomass in the aerial parts. Jacaranda plantlets showed stem diameter within the ranges reported in the literature. However, the height was below the referred value, which may be due to specific characteristics of the species. According to Xavier et al. (2013), a plantlet produced by the genus *Eucalyptus* mini-cutting must have height ranging between 20 cm and 40 cm and stem diameter above 2.0 mm. If these values are used as the reference, the jacaranda plantlets must be maintained in a shade house for a longer period of time and in full sun before being sold or planted in the field.

These results show that jacaranda plantlets can be used for the establishment of mini-clonal hedge in a closed soilless cultivation system. Jacaranda plantlets adapt to the pruning of the mini-stumps and successive collection of shoots necessary for the preparation of mini-cuttings for adventitious rooting. The rooting of cuttings can be done in a greenhouse without need for specific structures and the application of IBA, which facilitates the process and reduces costs of jacaranda production using mini-cutting. Rooted mini-cuttings can be acclimatized in a shade house and rustified in full sun, when the proportion of 25 mL of nutrient solution per tube can be applied weekly. The excess nutrient solution should be considered as a residue that cannot be directly discarded in the environment, and its use for cover fertilization eliminates waste and provides a suitable source of the nutrients for production of jacaranda plantlets. In addition, cover fertilization with residual nutrient solution enhances plantlet height, leaf area, and total dry mass, which increases the ability of the plantlets to take advantage of solar energy to produce photoassimilates and complete the growth before planting in the field.

Conclusions

Jacaranda can be established in a mini clonal hedge for the production of shoots necessary for the preparation of mini-cuttings. The mini-cuttings are rooted in a greenhouse without

use of indolebutyric acid. Rooted mini-cuttings can be acclimatized in a shade house and rustified in full sun, enabling the production of jacaranda plantlets from mini-cuttings.

References

- Alfenas, AC, Zauza, AAV, Mafia, RG, Assis, TF. (2009). Clonagem e doenças do eucalipto. 2 ed. Universidade Federal de Viçosa, 500 p.
- Bisognin, DA, Bandinelli, MG, Kielse, P and Fischer, H. (2015). Rooting potential of mini-cuttings for the production of potato plantlets. *American Journal of Plant Sciences*, 6 (2), 366-371. Doi: <http://dx.doi.org/10.4236/ajps.2015.62042>
- Bordin, I, Hidalgo, PC, Bürkle, R and Roberto, SR. Efeito da presença da folha no enraizamento de estacas semilenhosas de porta-enxertos de videira. (2005). *Ciência Rural*, 35 (1), 215-218.
- Burin, C, Bisognin, DA, Lencina, KH and Gimenes, ES. (2018a). Early selection of *Cabralea canjerana* for propagation by mini-cutting. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 53 (9), 1018-1024. Doi: <http://dx.doi.org/10.1590/s0100-204x2018000900005>
- Burin, C, Bisognin, DA, Lencina, KH, Somavilla, TM and Pedroso, MF. (2018b). Enraizamento de miniestacas em diferentes épocas de coleta para a seleção de clones de canjerana. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias*, 13 (2), 5530. Doi: <http://dx.doi.org/10.5039/agraria.v13i2a5530>
- Dias, PC, Xavier, A, Oliveira, LS, Paiva, HN and Correia, ACG. (2012). Propagação vegetativa de progênies de meios-irmãos de angico-vermelho (*Anadenanthera macrocarpa* (Benth) Brenan) por miniestaquia. *Revista Árvore*, 36 (3), 389-399. Doi: <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-67622012000300001>.
- Fernandes, SPS, Arriel, EF, Almeida, EP, Araujo, AN, Arriel, DAA and Justino, STP. (2017). Altura de decepa para estabelecimento de minijardim clonal de nim (*Azadirachta indica* A. Juss). *Agropecuária Científica no Semiárido*, 13 (1), 67-71. Doi: <http://dx.doi.org/10.30969/acsa.v13i1.780>
- Ferreira, MS, Santos, JZL, Tucci, CAF and Costa, LV. (2017). Crescimento inicial de itaúba e macacaúba em recipientes de diferentes tamanhos. *Ciência Florestal*, 27 (2), 499-508. Doi: <http://dx.doi.org/10.5902/1980509827731>
- Ferriani, AP., Ribas-Zuffellato, KC and Wendling, I. (2010). Miniestaquia aplicada a espécies florestais. *Agro@mbiente On-line*, 4 (2), 102-109. Doi: <http://dx.doi.org/10.18227/1982-8470ragro.v4i2.363>

- Gimenes, ES, Kielse, P, Lencina, KH, Fleig, FD, Keathley and D, Bisognin, DA. (2015). Propagation of *Cabralea canjerana* by mini-cuttings. *Journal of Horticulture and forestry*, 7 (1), 8-15. Doi: <http://dx.doi.org/10.5897/JHF2014.0367>
- Gomes, JM and Paiva, HN de. Viveiros florestais: propagação sexuada. (2011). Ed. UFV (Série didática), 116 p.
- Hartmann, HT, Kester, DE, Davies, FT and Geneve, RL. (2011). *Plant propagation: principles and practices*. 8th ed. Prentice-Hall, 915 p.
- Hoagland, DR and Arnon, DI. (1950). The water-culture method for growing plants without soil. *California Agricultural Experiment Station., Univ. of California. (Circ. 347)*
- Jacobs, DF and Landis, TD. Fertilization. (2009). In: Dumroese, R. K., Luna, T., Landis, T. D., Editors. *Nursery manual for native plants: A guide for tribal nurseries - Volume 1: Nursery management. Agriculture Handbook 730. Department of Agriculture, Forest Service*, 302 p.
- Lorenzi, H, Souza, HM and Torres, MAV. (2003). *Árvores exóticas do Brasil: madeiras, ornamentais e aromáticas*. Instituto Plantarum de Estudos da Flora. 368 p.
- Mantovani, N, Roveda, M, Tres, L, Fortes, F de O and Grando, M. F. (2017). Cultivo de canafístula (*Peltophorum dubium*) em minijardim clonal e propagação por miniestacas. *Ciência Florestal*, 27 (1), 225-236. Doi: <http://dx.doi.org/10.5902/1980509826461>
- Maruyama, E, Ishii, K, Saito, A and Ohba, K. (1993). Micropropagation of Jacaranda (*Jacaranda mimosaeifolia* D. Don) by shoot-tip culture. *Journal of the Japanese Society for Horticultural Science*, 75 (4), 346-349.
- Melo, LM, Abreu, AHM de, Leles, PSS de, Oliveira, RR de and Silva, DT da. (2018). Qualidade e crescimento inicial de mudas de *Mimosa caesalpinifolia* Benth. produzidas em diferentes volumes de recipientes. *Ciência Florestal*, 28 (1), 47-55. Doi: <https://doi.org/10.5902/1980509831574>
- Miyajima, I, Mata, D, Kobayashi, N, Facciuto, G, Soto, S, Hagiwara, JC, Serpa, JC and Escadon, A. (2004). Practical Method of Propagating *Jacaranda mimosifolia* by cuttings. *Journal of the Japanese Society for Horticultural Science*, 73 (2), 137-139. Doi: <https://doi.org/10.2503/jjshs.73.137>
- Oliveira, TPF, Barroso, DG, Lâmonica, KR and Carvalho, GCMW. (2016). Aplicação de AIB e tipo de miniestaca na produção de mudas de *Handroanthus heptaphyllus* Mattos. *Ciência Florestal*, 26 (1), 299-306. Doi: <http://dx.doi.org/10.5902/1980509821128>

- Paiva, HN and Gomes, JM. (2011). Propagação vegetativa de espécies florestais. Ed. UFV, 52 p.
- Penso, GA, Sachet, MR, Maro, LAC, Patto, LS and Citadin, I. (2016). Propagação de oliveira 'Koroneiki' pelo método de estaquia em diferentes épocas, concentrações de AIB e presença de folhas. *Ceres*, 63 (3), 355-360. Doi: <http://dx.doi.org/10.1590/0034-737X201663030012>
- Pimentel, N, Lencina, KH, Pedroso, MF, Somavilla, TM and Bisognin, DA. (2017). Morphophysiological quality of yerba mate plantlets produced by mini-cuttings. *Semina: Ciências Agrárias*, 38 (6), 3515-3528. Doi: <http://dx.doi.org/10.5433/1679-0359.2017v38n6p3515>
- R Core Team. (2017). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria.
- Rodrigues, MB, Pimentel, N, Lencina, KH, Kielse P, and Bisognin, D. (2017). Enraizamento de miniestacas de ipê-roxo (*Handroanthus heptaphyllus* Vell. Mattos). *Revista Brasileira de Plantas Mediciniais*, 19, 129-137.
- Silva, AS, Reges, NPR, Melo, JK, Santos, MP and Sousa, CM. (2015). Enraizamento de estacas caulinares de ixora. *Ornamental Horticulture*, 21 (2), 201-208. Doi: <http://dx.doi.org/10.14295/aohl.v21i2.656>
- Silva, RL, Oliveira, ML, Monte, MA and Xavier, A. (2010). Propagação clonal de guanandi (*Calophyllum brasiliense*) por miniestaquia. *Agronomiá Costarricense*, 34 (1), 99-104.
- Taiz, L and Zeiger, E. (2013). *Fisiologia Vegetal*. 5 ed. Artmed, 918 p.
- Tonetto, T da S, Araujo, MM, Muniz, MFB, Walker, C and Berghetti, ALP. (2015). Storage and germination of seeds of *Handroanthus heptaphyllus* (Mart.) Mattos. *Journal of Seed Science*, 37 (1), 040-046. Doi: <http://dx.doi.org/10.1590/2317-1545v37n1141116>
- Xavier, A, Wendling, I and Silva, RL. (2013). *Silvicultura clonal: princípios e técnicas*. 2 ed. Editora UFV, 279 p.
- Wendling, I, Dutra, LF and Grossi, F. (2006). *Produção de mudas de espécies lenhosas*. Colombo: Embrapa Florestas.
- Zottele, L and Aoyama, EM. (2014). Morfoanatomia e enraizamento de estacas caulinares de *Justicia wasshauseniana* Profice (Acanthaceae). *Natureza Online*, 12 (4), 179-184.

4 ARTIGO 2 – SELECTION OF *Jacaranda mimosifolia* GENOTYPES FOR VEGETATIVE PROPAGATION BY MINI-CUTTING

Artigo Submetido para a Revista Ciência e Agrotecnologia.

ABSTRACT

The objective of this work was to select *Jacaranda mimosifolia* genotypes for vegetative propagation by mini-cuttings. We evaluated the competence of adventitious rooting of mini-cuttings of genotypes during six successive collections over 13 months. *Jacaranda* genotypes were established in a clonal mini-garden to develop shoots and supply mini-cuttings. In each of the six collections, the mini-cuttings were planted in tubes containing commercial substrate and vermiculite. These were subsequently evaluated for the rooting percentage and the number of mini-cuttings produced and rooted after 60 days of cultivation in an air-conditioned greenhouse. The components of variance were estimated based on repeated measures by the Restricted Maximum Likelihood (REML) method and the prediction of phenotypic and genotypic values by the Best Linear Unbiased Prediction (BLUP). Genetic variability was observed at accuracies of 0.84 and 0.74, for the number of mini-cuttings produced and rooted mini-cuttings, respectively, in the use of six evaluations. Seven *Jacaranda* genotypes were selected for the number of rooted mini-cuttings, resulting in a selection gain of 53.5%. The results of this work show a high potential of this strategy of genetic improvement of forest species for vegetative propagation and indicate the possibility of high selection gains.

INDEX TERMS: *Jacaranda*, mini-cutting, adventitious rooting, genetic parameters, REML/BLUP.

RESUMO

O objetivo deste trabalho foi selecionar genótipos de jacarandá para a propagação vegetativa por miniestaquia. Para isso, foram avaliados 23 genótipos quanto à competência ao enraizamento adventício de miniestacas durante seis coletas sucessivas, totalizando 13 meses. Os genótipos de jacarandá foram estabelecidos em minijardim clonal para desenvolvimento das brotações e fornecimento das miniestacas. Em cada uma das seis coletas, as miniestacas foram plantadas em tubetes contendo substrato comercial e vermiculita, e avaliadas para a porcentagem de enraizamento, número de miniestacas produzidas e enraizadas aos 60 dias de cultivo em casa de vegetação climatizada. Os componentes da variância foram estimados com base em medidas repetidas pelo método da máxima verossimilhança restrita (REML) e a predição dos valores fenotípicos e genotípicos pela melhor predição linear não viciada (BLUP). Foi observada variabilidade genética para o número de miniestacas produzidas e de miniestacas enraizadas, e acurácias de 0,84 e 0,74, respectivamente, no uso de seis avaliações. Foram selecionados sete genótipos de jacarandá para o número de miniestacas enraizadas, resultando em um ganho de seleção de 53,5%. Os resultados deste trabalho evidenciam um alto potencial desta estratégia de melhoramento genético de espécies florestais para a propagação vegetativa e indicam a possibilidade de altos ganhos de seleção.

TERMOS PARA INDEXAÇÃO: Jacarandá, miniestacas, enraizamento adventício, parâmetros genéticos, REML/BLUP.

INTRODUCTION

Vegetative propagation is currently the main form of production of seedlings of several forest species, especially of the genus *Eucalyptus*. This is due to its potential to reproduce genotypes of interest, regardless of their genetic makeup, and to establish more

favorable combinations of characters and superior genetic interactions that confer high hybrid vigor (Bisognin, 2011). Although vegetative propagation techniques are often used in the production of commercial plantlets, aspects related to clonal propagation, such as the multiplication rate, are disregarded during the selection process. However, ignoring such aspects can lead to losses of time and investments during long periods of selection and recombination, which is even more relevant for perennial species. For this reason, the selection of genotypes with greater potential for vegetative propagation is considered fundamental, thereby prioritizing the high productivity of propagules and the high competence for adventitious rooting. This results in a greater number of rooted mini-cuttings during the period of vegetative growth throughout the year (Burin et al., 2018a).

In addition to the punctual performance of a genotype in a given evaluation, it is necessary to take into account that the vegetative propagation is highly influenced by the physiological state of the plant and by environmental factors. Both these aspects are highly related to the collection periods of the propagules (Trueman et al., 2013; Brondani et al., 2017). This justifies the need to carry out repeated measures in order to obtain inferences about the genotype's ability to repeat its performance over successive evaluations. In other words, whether the selected genotypes will maintain their superiority throughout the collections, making it possible to assess whether the selection based on a certain phenotypic characteristic will be reliable (Cruz et al., 2012).

The correlation between repeated measures on the same individual over time and space statistically defines the repeatability coefficient (Cruz et al., 2012). The estimate of this coefficient indicates the level of influence of the permanent effects on the observed phenotypic variation and allows the prediction of the individuals' performance (Viana and Resende, 2014). Another particularly relevant aspect in the use of the repeatability coefficient, is the possibility of verifying the sufficient number of measures to reach the

maximum accuracy. This allows for optimization of the time, the physical structure, and the manpower necessary to evaluate a certain characteristic for the selection of genetically superior individuals at the accuracy desired by the researcher (Cruz et al., 2012).

Repeatability and heritability are the most important genetic parameters, which are estimated by the components of variance, and depend on appropriate biometric procedures to maximize selection efficiency (Della Bruna et al., 2012). One of the most efficient methods for estimating genetic parameters and genotypic values is the mixed model methodology based on the Restricted Maximum Likelihood Method (REML)/ Best Linear Unbiased Prediction (BLUP) model (Borges et al., 2010). Through this method, the coefficient of genetic variation and genetic correlations are also estimated, which can be used to make inferences about the genetic variability present in a group of plants (Correa et al., 2012).

Considering these aspects, it is evident that it is important to estimate genetic parameters, including repeatability as well as the selection of genotypes with competence for vegetative propagation. Our investigation was based on an arboreal species that resulted in easy vegetative propagation, *Jacaranda mimosifolia* D. Don, popularly known as jacarandá-mimoso or jacarandá, belonging to the Bignoniaceae family and native to Argentina, Bolivia, and Paraguay. Studies carried out with vegetative propagation by cutting herbaceous branches suggested that seedlings can be produced without the application of auxins and without the need for a specialized structure such as a humid chamber for adventitious rooting. In addition, the parent plants can be kept in a mini clonal garden, providing sprouts for the preparation of mini-cuttings throughout the growing season, which makes it possible to produce and offer seedlings practically throughout the year (Fauerharmel et al., 2020). Thus, this study aimed to select promising *J. mimosifolia* genotypes for use in vegetative propagation by mini-cutting.

MATERIAL AND METHODS

This study was conducted at the Plant Breeding and Propagation Center, Federal University of Santa Maria, RS, Brazil. According to the Köppen classification, the climate in the region is subtropical (Cfa), characterized by an average temperature ranging between -3 °C and 18 °C in the coldest month and above 22 °C in the hottest month, with an average annual precipitation ranging from 1600 to 1900 mm (Alvares et al., 2013). Four well-defined seasons occur in the region; the coldest months of the study year occur between May and August, and the warmest months between November and February. The experiments were conducted in an acclimatized greenhouse.

The clonal minigarden was established from seedlings of seminal origin, 120 days after sowing. Twenty-three seedlings (genotypes) were randomly distributed in four polyethylene trays (55 × 34 × 15 cm, length × width × depth), spaced 10 cm apart. Each tray of the clonal minigarden was composed of a medium gravel layer (3 cm), followed by a polyethylene mesh (1 mm²) and a layer of coarse sand (12 cm). The trays had a 20 mm diameter polyvinyl chloride (PVC) transversal tube, with two perforations to distribute the nutrient solution in the cultivation bed. In the flood fertigation system, the nutrient solution was provided for 15 min, twice a day, with the aid of a digital programmer and a low-flow submerged pump. The nutrient solution promoted the complete soaking of the substrate and the formation of a superficial layer, which was drained by two holes, arranged in the front part of the tray. The nutrient solution was adapted from Hoagland and Arnon (1950). The pH of the nutrient solution was maintained between 5.5 and 6.0, and the electrical conductivity was maintained at 1.5 dS m⁻¹.

After 30 days of planting the seedlings, drastic pruning was carried out to form ministumps, which promoted a break in the dormancy of the lateral buds and the growth

of shoots. The collections were carried out according to the growth of the shoots, totaling six collections distributed over the four seasons (summer, autumn, winter, and spring), in December 2016, February, April, September, and November 2017, and January 2018. The shoots collected from each genotype were sectioned into double bud mini-cuttings, approximately 1.5 to 2.0 cm long, containing a pair of leaves with four pairs of leaflets. The mini-cuttings were grown in polyethylene tubes, with longitudinal grooves and a capacity of 110 cm³, containing a commercial substrate based on pine bark mixed with vermiculite, in a proportion of 2:1 (v/v). The rooting of the mini-cuttings was carried out in the same environment as the air-conditioned greenhouse where the clonal mini-garden was established, and the mini-cuttings were manually watered every day. In each collection, the number of mini-cuttings produced per ministump (NMP) was counted, and after 60 days of cultivation in the rooting substrate, the number of rooted mini-cuttings (NRM), and the percentage of rooted mini-cuttings (PRM) for each genotype were recorded. Mini-cuttings were considered rooted when they had at least one root equal to or greater than 0.1 cm.

The data were subjected to deviance analysis, as proposed by Resende (2002). The significance of the difference in the fit of different models was tested using the Likelihood Ratio Test (LRT) proposed by Wilks, and defined by the model: $\lambda = 2[\text{Log}_e L_{p+1} - \text{Log}_e L_p]$, where L_{p+1} and L_p correspond to the peaks of the likelihood function associated with the complete model and the reduced model, respectively. Thus, λ must be compared with the probability density function (χ^2) for a given number of degrees of freedom and probability of error (Dobson, 1990). In order to corroborate the likelihood ratio test, Pearson's correlation test was performed with the aid of the statistical program RBio (Bhering, 2017), with the objective of identifying the character that should be used for the selection of *J. mimosifolia* genotypes for vegetative propagation.

The components of variance were estimated by the REML method and the prediction of phenotypic and genotypic values was undertaken using the BLUP method (Resende, 2002). The statistical model 63 was used, which corresponds to the basic model of repeatability without design, with the aid of the Selegen REML/BLUP software (Resende, 2016). The statistical model is expressed by $y = Xm + Wp + e$, where y is the data vector, m is the vector of the collection effects (assumed to be fixed) plus the general average, p is the vector of permanent plant effects (genotypic effects + permanent environment effects) (assumed to be random), and e is the vector of errors or residues (random). The capital letters represent the incidence matrices for the effects of m and p , respectively.

The efficiency of using m measurements on each plant, compared to using one measure for each plant, in relation to genetic gain with selection, is defined by the function: $f = [m/[1 + (m-1)*\rho]]^{1/2}$, where f is the selective efficiency, m is the number of measurements, and ρ is the repeatability coefficient. The value m to achieve a fraction of the maximum coefficient of determination is defined by the function: $m = f(1-\rho)/(1-f)\rho$.

The average components (individual BLUPs), based on the permanent phenotypic effect of the 23 evaluated genotypes of *J. mimosifolia*, were obtained in order to classify and identify superior genotypes for vegetative propagation. The genotypic values of each individual evaluated were obtained by adding each genotypic effect to the general average of the experiment. The genetic gain was equivalent to the average of the predicted vectors of the genetic effects for each selected genotype. The overall average plus the genetic gain resulted in an improved population mean. The relative performance of each genotype was obtained by the relationship between the improved population means and the average of the genotype with the highest genetic value. The phenotypic values of each genotype, corresponding to the values observed in the experiment, were added to the list. The

genotypes that presented a relative performance higher than 80% for the genotypic value for the number of rooted mini-cuttings, were selected.

RESULTS AND DISCUSSION

The deviance analysis showed that the 23 evaluated *J. mimosifolia* genotypes differed in terms of the number of mini-cuttings produced ($p < 0.01$) and the number of rooted mini-cuttings ($p < 0.05$) in the six consecutive collections (Table 1). As for the rooting percentage of the mini-cuttings, no significant difference was detected between the jacarandá genotypes. This was probably since previous selection had been carried out for this character; therefore, the genotypes that had high competence for adventitious rooting were possibly evaluated. In addition, the rooting average of the 23 genotypes studied can be considered satisfactory, since jacarandá mini-cuttings do not require treatment with auxin or a specialized structure for cultivation during the adventitious rooting process (Fauerharmel et al., 2020).

Table 1. Deviance values for the number of mini-cuttings produced and rooted and for the rooting percentage of 23 *J. mimosifolia* genotypes in six consecutive collections and evaluated at 60 days of cultivation in a greenhouse.

Effects	Number of mini-cuttings produced	Number of rooted mini-cuttings	Rooting percentage
Permanent of plant	610.44	474.87	996.94
Complete model	593.10	468.25	996.23
LRT ¹	17.34**	6.62*	0.71 ^{ns}

¹Likelihood Ratio Test. Significant at ** 0.01 and * 0.05 probability by the χ^2 test with 1 degree of freedom. ^{ns}: not significant.

The LRT values showed that, for both the number of mini-cuttings produced and rooted, the genotypic effects and the environmental effects were significant, indicating that the complete model was the most suitable for adjusting the data in comparison with the reduced model. According to Sánchez et al. (2017), the likelihood principle allows several models to be compared and, therefore, this type of model is the most appropriate for genetic estimation. In addition, the LRT showed the existence of genetic variability, indicating the possibility of obtaining selection gains, both for the number of mini-cuttings produced and for the number of rooted mini-cuttings, whose characters were significantly correlated (0.4338, $p = 1.065^{-07}$). As for the rooting percentage, no significant differences were detected between the genotypes (Table 1) and the correlation was positive and significant with the number of rooted mini-cuttings (0.6947, $p = 2.2^{-16}$). However, the correlation was negative and not significant (-0.0614, $p = 0.4741$) with the number of mini-cuttings produced.

The fact that the *J. mimosifolia* genotypes presented similar behavior in terms of the percentage of adventitious rooting made the number of rooted mini-cuttings assume greater importance for the selection of genotypes for vegetative propagation. This was directly associated with the number of mini-cuttings produced and the percentage of rooting, and was corroborated by Pearson's correlation analysis. In addition, a significant and positive correlation indicated that the selection of the number of rooted mini-cuttings will result in indirect selection gains for the number of mini-cuttings produced and also for the rooting percentage. These results were in agreement with those obtained for *Cabralea canjerana* (Vell.) Mart. by Burin et al. (2018b). They indicate the selection of the number of rooted mini-cuttings as an improvement strategy for vegetative propagation, considering both the number of mini-cuttings produced and the rooting percentage.

The estimates of the genetic parameters showed that a large part of the individual phenotypic variance corresponded to the temporary variance of the environment. Therefore, the number of produced mini-cuttings and rooted mini-cuttings were highly influenced by the environment (Table 2). These results indicate that, although restricted, there is genetic variability among the evaluated plants, corroborating the deviance analysis. This guarantees the possibility of genetic gains when selecting genotypes for vegetative propagation, especially if the environmental conditions similar to those in the present study are maintained. In addition, they showed that the *J. mimosifolia* genotypes responded differently to environmental variations linked to different collection periods, which increases the contribution of the environmental component to the phenotypic variance. In the same cultivation system, where similar management techniques were applied in the clonal mini garden of *C. canjerana*, it was also observed that the clones differed in terms of their competence for adventitious rooting of the mini-cuttings based on the time of sprouting (Burin et al., 2018a). The effect of the sprouting season can be explained by the different concentrations of phytohormones, which interact with the environment to regulate the stages of the complex adventitious rooting process in time and space (Lakehal and Bellini, 2019).

The significant contribution of the environmental component to the phenotypic variance negatively affected heritability estimates, as measured by repeatability (Table 2). The coefficients of individual repeatability (r) found in the present study were of medium magnitude for the number of mini-cuttings produced and of low magnitude for the number of rooted mini-cuttings, according to the classification of Resende (2016). Considering productivity characteristics, Laviola et al. (2013) studied *Jatropha curcas* L. and stated that, in perennial plants, low magnitude repeatability values are commonly observed in genotypes that are not yet stabilized. This corroborates the importance of the

repeatability estimate, for which the superiority of a given genotype must persist throughout the life cycle (Sanchés et al., 2017). Other perennials also have low magnitude repeatability coefficients for productivity, such as *Bactris gasipae* Kunth. (Rodrigues et al., 2017), *Annona muricata* L. (Sanchés et al., 2017), *Poncirus trifoliata* (L.) Raf., and *Citrus unshiu* (Yu. Tanaka ex Swingle) Marcow. (Imai et al. 2016).

Table 2. Variance components and genetic parameters for the number of mini-cuttings produced and rooted of *Jacaranda mimosifolia* genotypes in six consecutive collections and evaluated at 60 days of cultivation in a greenhouse.

Component/parameter ¹	Number of mini-cuttings produced	Number of rooted mini-cuttings
V _{pp}	9.247618	1.924029
V _{te}	23.277539	9.721703
V _p	32.525157	11.645732
R = h ²	0.284322 ± 0.1284	0.165213 ± 0.0979
rm	0.704462	0.542850
A _{cm}	0.839322	0.736783
Média geral	7.995652	3.536884

¹V_{pp}: permanent phenotypic variance between plants (genotypic variance plus variance of the permanent environment between collections). V_{te}: temporary environment variance; V_p: individual phenotypic variance; r = h²: individual repeatability and its confidence interval; rm: repeatability of the average of m harvests or m repeated measures m=2; A_{cm}: accuracy of selection based on average m harvests or repeated measures.

Although the repeatability did not reach high magnitudes, the selective precision or accuracy considering all collections/assessments of adventitious rooting was 0.84 for the number of mini-cuttings produced and 0.74 for the number of rooted mini cuttings (Table 2). These results showed that there is a relative superiority of genotypes from one collection to another, and that the expression of these characters had adequate genetic control. The greater the selective accuracy, the greater was the confidence in the evaluation and in the predicted genetic value of the individual, which is the main element of genetic progress that the breeder can change in order to maximize the selection gain (Sturion and Resende, 2005). This is due to the fact that the selective accuracy corresponds to the correlation between the predicted genotypic values and the true genotypic values (Sánchez et al., 2017). Therefore, the components of variance and genetic parameters also indicate that the number of rooted mini-cuttings can be used for the selection of *J. mimosifolia* genotypes for vegetative propagation by mini-cutting.

The coefficient of determination, which demonstrates the reliability of the phenotypic value in predicting the real value of the genotypes (Cargin, 2016), reached a maximum value of 80% in the tenth evaluation for the number of mini-cuttings produced, and 70% for the number of mini-cuttings rooted (Figure 1 A and B). Considering that six collections were made, the results of the determination coefficient indicated that a greater number of evaluations should be carried out to reach the minimum value of 80%, as recommended by some authors (Della Bruna et al., 2012; Negreiros et al., 2014; Cargin, 2016). The selection precision of 0.80 was reached in the fifth and ninth collections for the number of mini-cuttings produced and rooted, respectively (Figure 1 C and D). The selective efficiency showed a progressive increase with the number of collections, indicating that the use of six collections was important to achieve an adequate efficiency for the selection of *J. mimosifolia* genotypes for the number of mini-cuttings produced

(Figure 1 E and F), with a slightly higher selective efficiency for the number of rooted mini-cuttings. It is worth noting that there was a considerable gain in selective efficiency with the increase in the number of collections, which is highly desirable in any program of genetic improvement of perennial species.

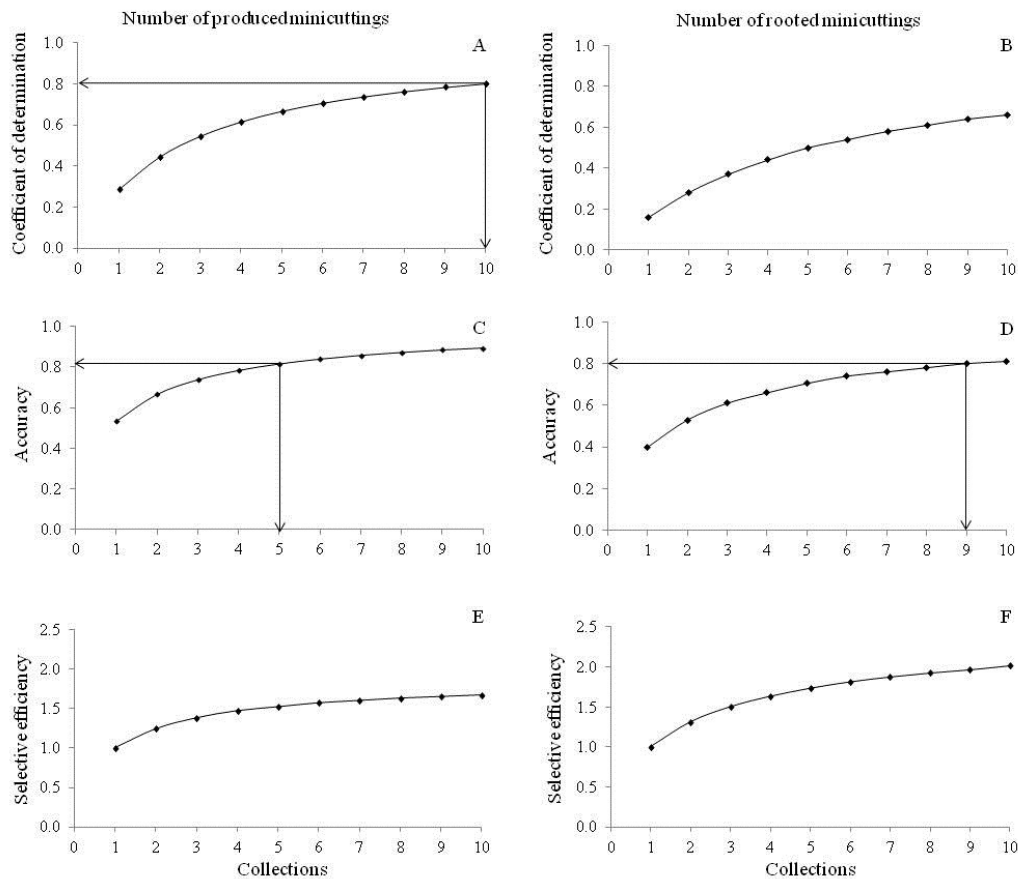


Figure 1 – Coefficient of determination, accuracy and selective efficiency in function of the number of collections for the number of produced and rooted mini-cuttings of *Jacaranda mimosifolia* genotypes.

The 23 jacarandá genotypes were ranked according to the average components (individual BLUPs) based on the number of rooted mini-cuttings, and the genotypes that presented relative performance above 80% were selected (Table 3). The seven genotypes selected showed the greatest competence for adventitious rooting, considering six consecutive evaluations for the number of rooted mini-cuttings. On average, these

genotypes produced 12 mini-cuttings, of which 5.4 formed adventitious roots, which corresponded to 46.3% rooting (Table 3). Selection based on nonlinear analysis allows the estimation of genetic parameters, which increase the safety and robustness in identifying superior genotypes regarding adventitious rooting, especially when compared to alternative methods, such as k-means clustering method, used by Burin et al. (2018a). Mixed models are already frequently used for perennial plants, such as *Spondias* sp. (Yamamoto et al., 2017), *Pennisetum purpureum* Schum. (Menezes et al., 2016), *Prunus persica* (L.) Batsch (Della Bruna et al., 2012), *Eucalyptus* spp. (Rosado et al., 2012), and *Bertholletia excelsa* (Bonpl.) (Azevedo et al., 2020).

For the seven selected genotypes, the permanent phenotypic values were higher than the phenotypic effects, resulting in a gain with the selection. In relation to the original population average, the selection of genotypes for the number of rooted mini-cuttings resulted in a direct genetic gain of 53.5%, which corresponded to an increase of 1.54 times the number of rooted mini-cuttings in relation to the original population. In addition, a high indirect genetic gain of selection (50.1%) was observed for the number of mini-cuttings produced and a low gain (0.6%) was observed for the rooting percentage (Table 3). Using the same statistical methodology based on repeated data, the selection for fruit and matrix production resulted in gains of 2.4 - and 4.2 times, respectively, in relation to the original population of *Bertholletia excelsa* (Azevedo et al., 2020).

Table 3. Permanent phenotypic effect (Pp), permanent phenotypic value ($u + Pp$), selection gain (SG), new media (Nm) and the relative performance in percentage (RP) estimated for the number of mini-cuttings produced and rooted and for the rooting percentage of the seven selected genotypes of *Jacaranda mimosifolia* in six consecutive collections and evaluated at 60 days of cultivation in a greenhouse.

Genotyp.	Number of mini-cuttings produced					Number of rooted mini-cuttings					Rooting percentage				
	Pp	$u+Pp$	SG	Nm	RP	Pp	$u + Pp$	SG	Nm	RP	Pp	$u+Pp$	SG	Nm	RP
15SM11	2.72	10.71	4.23	12.2	90.5	2.33	5.87	2.33	5.9	100.0	0.53	46.57	0.55	46.6	100.0
15SM26	3.76	11.76	4.74	12.7	94.2	1.70	5.24	2.02	5.5	94.5	0.37	46.41	0.49	46.5	99.9
15SM35	5.52	13.52	5.52	13.5	100.0	1.61	5.14	1.88	5.4	92.3	-0.07	45.97	0.13	46.2	99.1
15SM1	4.93	12.93	5.23	13.2	97.8	0.97	4.51	1.65	5.2	88.4	-0.09	45.94	0.11	46.1	99.0
15SM5	-0.11	7.88	2.32	10.3	76.3	0.79	4.33	1.48	5.0	85.5	0.10	46.14	0.28	46.3	99.4
15SM7	1.29	9.29	3.29	11.3	83.5	0.71	4.25	1.35	4.9	83.3	0.10	46.14	0.31	46.3	99.5
15SM14	1.18	9.17	2.78	10.8	79.6	0.61	4.15	1.25	4.8	81.4	0.03	46.07	0.25	46.3	99.4
MS			12.0					5.4					46.3		
OA			8.0					3.5					46.0		
GG			4.0					1.9					0.3		
GG (%)			50.1					53.5					0.6		

Wherein: MS: means of the selected genotypes; OA: original average with all 23 genotypes; GG: total genetic gain e GG(%): total genetic gain in percentage.

In terms of genetic improvement, the use of repeated measures is a promising strategy for the selection of genotypes for vegetative propagation, not only for the species under study, but for the various species, for which seedling production depends on vegetative propagation. The statistical model used, made it possible to estimate the genetic parameters, and select the best genotypes for competence in vegetative propagation by mini-cutting, based on the number of rooted mini-cuttings. This character, in addition to being related to the number of seedlings that are actually being produced, is easy to measure and monitor, since it is obtained by simply registering the number of

mini-cuttings that take root from a particular genotype throughout the collections. Successive collections are necessary to estimate genetic parameters, which must represent the different seasons of the year, with their environmental variations, so that the selection is effective for mass production of seedlings throughout the year, as indicated by Burin et al. (2018a).

The results of this work show a high potential of this strategy of genetic improvement of forest species for vegetative propagation and indicate the possibility of high selection gains. The selection of plants for vegetative propagation increases the efficiency of the seedling production process, as it allows the projection of the quantity of seedlings produced, the expected quality standard, and the time spent to obtain seedlings with adequate quality to be transplanted in the field. Despite this, further studies are needed to analyze the stability and adaptability of the selected clones, the interaction of genotypes with the environment, as well as aspects related to the quality of the root system and seedlings produced by mini-cutting throughout the year.

ACKNOWLEDGMENT(S)

To the Coordination for the Improvement of Higher Education Personnel (CAPES) and the National Council for Scientific and Technological Development (CNPq) for scholarship grants.

REFERENCES

ALVARES, CA; STAPE, JL; SENTELHAS, PC; GONÇALVES, JLM; SPAROVEK, G; Köppen's climate 353 classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift*, 22(6):711-728, 2013.

AZEVEDO, VR; WADT, LHO; PEDROZO, AC; FONSECA, FL; RESENDE, MDV. Coeficiente de repetibilidade para produção de frutos e seleção de matrizes de

Bertholletia excelsa (Bonpl.) em castanhais nativos do estado do Acre. **Ciência Florestal**, 30(1):135-144, 2020.

BHERING, LL. Rbio: A Tool For Biometric And Statistical Analysis Using The R Platform. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, 17:187-190, 2017.

BISOGNIN, DA. Breeding vegetatively propagated horticultural crops. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, S1:35-46, 2011.

BORGES, V; SOARES, AA; REIS, MS; RESENDE, MDV; CORNÉLIO, VMO; LEITE, NA; VIEIRA, AR. Desempenho genotípico de linhagens de arroz de terras altas utilizando metodologia de modelos mistos. **Bragantia**, 69(4):833-841, 2010.

BRONDANI, GE; OLIVEIRA, LS; KONZEN, ER; SILVA, ALL; COSTA, JL. Miniincubators improve the adventitious rooting performance of *Corymbia* and *Eucalyptus* microcuttings according to the environment in which they are conditioned. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**. In press:1-17, 2017.

BURIN, C; BISOGNIN, DA; LENCINA, KH; SOMAVILLA, TM; PEDROSO, MF. Enraizamento de miniestacas em diferentes épocas de coleta para a seleção de clones de canjerana. **Revista Brasileira de Ciências**, 13(2):1-7, 2018a.

BURIN, C; BISOGNIN, DA; LENCINA, KH; GIMENES, ES. Early selection of *Cabralea canjerana* for propagation by mini-cutting. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, 53(9):1018-1024, 2018b.

CARGIN, A. Repetibilidade e número de colheitas de características para a seleção de clones de variedades viníferas. **Ciência Rural**, 46(2):221-226, 2016.

CORREA, AC; CECCON, G; CORREA, CMA; DELBEN, DS. Estimativa de parâmetros genéticos e correlações entre caracteres fenológicos e morfoagronômicos em feijão-caupi. **Revista Ceres**, 59(1):88-94, 2012.

CRUZ, CD; REGAZZI, AJ; CARNEIRO, PCS. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. Editora UFV, 1: 2012. 514 p.

DELLA BRUNA, ED; MORETO, AL; DALBÓ, MA. Uso do coeficiente de repetibilidade na seleção de clones de pessegueiro para o litoral sul de Santa Catarina. **Revista Brasileira de Fruticultura**, 34(1):206-215, 2012.

DOBSON, AJ. **An introduction to generalized linear models**. Chapman and Hall, Melbourne, 1990. 174 p.

FAUERHARMEL, M; BISOGNIN, DA; LENCINA, KH; TONETTO, T da S; MELTZER, JM; MAGGIONI, JH. Production of jacaranda plantlets by minicutting. **Semina: Ciências Agrárias**, 41(5), suplemento 1:1951-1962, 2020.

HOAGLAND, DR; ARNON, DI. **The water-culture method for growing plants without soil**. Berkeley, CA: California Agricultural Experiment Station., Univ. of California. (Circ. 347) 1950.

IMAI, A; KUNIGA, T; YOSHIOKA, T; NONAKA, K; MITANI, N; FUKAMACHI, H; HAYASHI, T. Evaluation of the best linear unbiased prediction method for breeding values of fruit-quality traits in citrus. **Tree Genetics & Genomes**, 12(6):119, 2016.

LAKEHAL, A; BELLINI, C. Control of adventitious root formation: insights into synergistic and antagonistic hormonal interactions. **Physiologia Plantarum**, 165:90–100, 2019.

LAVIOLA, BG; OLIVEIRA, AMC; BHERING, LL; ALVES, AA; ROCHA, RB; GOMES, BEL; CRUZ, C. Estimates of repeatability coefficients and selection gain in *Jatropha* indicate that higher cumulative genetic gains can be obtained by relaxing the degree of certainty in predicting the best families. **Crops and Products**, 51:70-76. 2013.

MENEZES, BR da S; DAHER, RF; GRAVINA, G de A; SILVA, VB; RODRIGUES, EV; OLIVEIRA, MLF; TARDIN, FD; PONCIANO, NJ; ARAÚJO, MSB; ROCHA, AS. Seleção de genótipos de capim-elefante (*Pennisetum purpureum*) utilizando a metodologia REML/BLUP. **Revista de Ciências Agrárias**, 39(3):360-365, 2016.

NEGREIROS, JR da S; NETO, R de CA; MIQUELONI, DP; LESSA, LS. Estimativa de repetibilidade para caracteres de qualidade de frutos de laranja-doce. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, 49(1):40-48, 2014.

RESENDE, MDV. **Genética biométrica e estatística no melhoramento de plantas perenes**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2002. 975 p.

RESENDE, MDV. Software Selegen-REML/BLUP: a useful tool for plant breeding. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, 16:330-339, 2016.

RODRIGUES, HS; CRUZ, CD; MACÊDO, JLV; RESENDE, MDV; LOPES, R; BORÉM, A. Genetic variability and progeny selection of peach palm via mixed models (REML/BLUP). **Acta Scientiarum Agronomy**, 39(2):165-173, 2017.

ROSADO, AM; ROSADO, TB; ALVES, AA; LAVIOLA, BG; BHERING, LL. Seleção simultânea de clones de eucalipto de acordo com produtividade, estabilidade e adaptabilidade. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, 47:964-971, 2012.

SANCHÉZ, CFB; ALVES, RS; GARCIA, ADP; TEODORO, PE; PEIXOTO, LA; SILVA, LA; BHERING, LL; RESENDE, MDV. Estimates of repeatability coefficients and the number of the optimum measure to select superior genotypes in *Annona muricata* L. **Genetics and Molecular Research**, 16(3):1-8, 2017.

STURION, JA; RESENDE, MDV. Seleção de progênies de erva-mate (*Ilex paraguarensis* St. Hil.) para produtividade, estabilidade e adaptabilidade temporal de massa foliar. **Boletim de Pesquisa Florestal**, 50:37-51, 2005.

TRUEMAN, SJ; MCMAHON, TV; BRISTOW, M. Production of cuttings in response to stock plant temperature in the subtropical eucalypts, *Corymbia citriodora* and *Eucalyptus dunnii*. **New Forests**, 44:265-279, 2013.

VIANA, AP; RESENDE, MDV. **Genética quantitativa no melhoramento de fruteiras**. 1. Ed. Rio de Janeiro: Interciência, 2014, 296p.

YAMAMOTO, ELM; HOLANDA, ISA; MORAIS, PLD; NUNES, GHS; ANTONIO, RP; LEMOS, MS; SILVA, JR. Selection of umbu-cajazeira clones using the REML/BLUP. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, 12(4):496-502, 2017.

5 DISCUSSÃO GERAL

O presente estudo contribuiu de forma significativa por meio de resultados inéditos e relevantes para a produção de mudas por miniestaquia e seleção de genótipos de jacarandá para propagação por miniestaquia. Além disso, os resultados obtidos abrem caminhos para outros estudos importantes a serem realizados com a espécie.

Em relação a propagação por miniestaquia, os resultados apresentados demonstraram a viabilidade do cultivo de minicepas de jacarandá em minijardim clonal e que estas suportam diferentes intensidades de poda sem que haja prejuízos há sobrevivência e produção de novos brotos. Segundo Dias et al. (2012) a baixa mortalidade das minicepas, além de indicar a adaptabilidade da espécie ao sistema de cultivo, também indica condições nutricionais e de manejo adequadas. Desta forma, pode-se indicar que tanto o sistema de cultivo quanto o manejo das minicepas, são passíveis de ser reproduzidos com sucesso, desde que observadas às condições aplicadas no presente estudo.

Foi observado neste estudo 100% de sobrevivência das minicepas durante o período de podas consecutivas. O sucesso do estabelecimento de minicepas de jacarandá neste tipo de sistema de cultivo é extremamente benéfico, uma vez que torna possível garantir o fornecimento de propágulos vegetativos ao longo do tempo. Além disso, o uso do minijardim clonal permite a redução da área física necessária, a facilidade nos tratamentos culturais como poda, irrigação, fertilização, controle fitossanitário, entre outros, e a otimização da produção de miniestacas por área (DIAS et al., 2012; XAVIER et al., 2013). Assim, este resultado é extremamente importante, não somente do ponto de vista técnico, mas também econômico.

Ainda no que diz respeito a aplicação da técnica da miniestaquia para a propagação da espécie, esta mostrou-se eficiente, uma vez que foram obtidas altas médias de sobrevivência, enraizamento adventício e brotação após 90 dias de cultivo das miniestacas em casa de vegetação. Esse resultado indica a possibilidade de produção de mudas de qualidade de jacarandá por meio da miniestaquia, fato relevante e inédito para a espécie.

Por meio dos resultados obtidos, foi possível observar que o jacarandá é uma espécie de fácil propagação por miniestaquia, não sendo necessário o uso de AIB para indução do enraizamento, diferente do observado em outras espécies florestais. Resultado

semelhante ao obtido no presente estudo foi observado por Oliveira et al., (2015) onde miniestacas de ipê-roxo enraizaram sem o uso de AIB.

Além disso, a espécie não requer estruturas especializadas, como câmara úmida, para enraizar. Cabe destacar que, apesar deste não ter sido objetivo deste estudo, este fato é extremamente promissor para a propagação da espécie, pois torna o processo de propagação mais barato e simples.

O processo de produção de mudas visa garantir a obtenção de mudas de qualidade e aptas para o plantio a campo. Após serem enraizadas com sucesso, as miniestacas de jacarandá também responderam de maneira satisfatória à aclimatização em casa de sombra e a rustificação à pleno sol, com a possibilidade do aproveitamento da solução nutritiva utilizada na fertirrigação do minijardim clonal. O uso de 25 ml por tubete dessa solução proporcionou incremento em altura, área foliar e massa seca total às mudas de jacarandá. Assim, é possível reaproveitar a solução nutritiva, evitando que esse resíduo seja depositado na natureza e corpos d'água e, ainda, obter mudas com qualidade.

No que diz respeito a seleção de genótipos de jacarandá para a propagação por miniestaquia, os resultados obtidos demonstraram que é possível realizar a seleção de genótipos com base no número de miniestacas enraizadas com possibilidade de altos ganhos de seleção. Além disso, dos 23 genótipos de jacarandá analisados, foram selecionados sete genótipos com alta competência ao enraizamento, utilizando como base o número de miniestacas enraizadas, que permite ganhos diretos e indiretos de seleção. Assim, os resultados aqui alcançados trazem como conhecimento relevante o grande potencial de uso desta estratégia de melhoramento genético de espécies florestais para a propagação vegetativa.

Os resultados obtidos com este estudo são de extrema relevância para espécie. Além de serem originais, estes constituem um avanço nas áreas de propagação vegetativa e melhoramento florestal. O fato de a espécie ser propagada vegetativamente por miniestaquia com sucesso sem o uso de estrutura especializada para enraizamento e sem o uso de regulador de crescimento é um marco para a propagação e produção de mudas de jacarandá. Ainda assim, faz-se necessário outros estudos que visem analisar a estabilidade e a adaptabilidade dos clones selecionados, a interação com o ambiente, bem como aspectos relacionados com a qualidade do sistema radicial e das mudas produzidas por miniestaquia ao longo do ano.

6 CONCLUSÕES GERAIS

O processo de produção de mudas de jacarandá por miniestaquia é bastante eficiente, dispensa o uso de regulador de crescimento e de câmara úmida para enraizamento e possibilita o aproveitamento de algum excedente de solução nutritiva da fertirrigação do minijardim clonal durante a aclimatização e rustificação das mudas.

O jacarandá apresenta grande potencial para a propagação vegetativa, sendo a seleção de genótipos uma estratégia promissora de melhoramento e produção de mudas por miniestaquia.

REFERÊNCIAS

- ABREU, A. H. M. et al. Caracterização e potencial de substratos formulados com biossólido na produção de mudas de *Schinus terebinthifolius* Raddi. e *Handroanthus heptaphyllus* (Vell.) Mattos. [S.l.]. **Ciência Florestal**, v. 27, n. 4, p. 1179-1190, 2017.
- AFONSO, M. V. et al. Composição do substrato, vigor e parâmetros de mudas de timbaúva (*Enterolobium contortisiliquum* (VELL.) MORONG). [S.l.]. **Árvore**, v. 36, n. 6, p. 1019-1026, 2012.
- AJALA, M. C. et al. Efeito do volume do recipiente na produção de mudas e no crescimento inicial de *Jatropha curcas* L. no Oeste Paranaense. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 33, n. 6, p. 2039-2046, nov./dez. 2012.
- ALFENAS, A. C.; ZAUZA, E. A. V.; MAFIA, R. G.; ASSIS, T. F. **Clonagem e doenças do eucalipto**. 2 ed. Universidade Federal de Viçosa, 2009. 500p.
- ALMEIDA, F. D.; XAVIER, A.; DIAS, J. M. M.; PAIVA, H. N. Eficiência das auxinas (AIB e ANA) no enraizamento de miniestacas de clones de *Eucalyptus cloeziana* F. Muell. **R. Árvore**, Viçosa, v. 31, n. 3, p. 455–463, 2007.
- ANTONIAZZI, A. P. et al. Eficiência de recipientes no desenvolvimento de mudas de *Cedrela fissilis* Vell. (Meliaceae). **R. bras. Bio.**, Porto Alegre, v. 11, n. 3, p. 313-317, jul./set. 2013.
- ARAUJO, M. M. et al. Caracterização e análise de atributos morfológicos e fisiológicos indicadores da qualidade de mudas em viveiro florestal. In: ARAUJO, M. M.; NAVROSKI, M. C.; SCHORN, L. A.; **Produção de sementes e mudas: um enfoque à silvicultura**. Santa Maria: Ed. UFSM, 2018. p. 345-365.
- BARBOSA, J. G.; LOPES, L. C. (ed.). **Propagação de plantas ornamentais**. Editora UFV, Viçosa, MG, 2007. 183p.
- BERGHETTI, Á. L. P. et al. Growth and physiological attributes of *Cordia trichotoma* seedlings in response to fertilization with phosphorus and potassium. [S.l.]. **Floresta**, v. 49, p. 133 - 142, 2019.
- BIRCHLER, T. et al. La planta ideal: revision del concepto, parametros definitorios e implementacion practica. Madrid, **Investigacion Agraria, Sistemas y Recursos Forestales**, v. 7, n. 1/2, p. 109-121, 1998.
- BISOGNIN, D. A.; LENCINA, K. H. Melhoramento genético de espécies florestais para a propagação vegetativa. Santa Maria, RS. In: **Jornada Acadêmica Integrada: compilação de artigos 2016**. 26p.
- BISOGNIN, D. A. et al. Adventitious rooting competence and rescue of adults mate plants by cutting. [S.l.]. **Árvore**, v. 42, n. 3, nov. 2018.

- BOMFIM, A. A. et al. Avaliação morfológica de mudas de madeira-nova (*Pterogyne nitens* Rtull.) produzidas em tubetes e sacos plásticos e de seu desempenho no campo. **Floresta**, Curitiba, v. 39, n. 1, p. 33-40, jan./mar. 2009.
- BOTIN, A. A.; CARVALHO, A. D. Reguladores de crescimento na produção de mudas florestais. [S.l.]. **Ciências Agroambientais**, v. 13, n. 1, p. 83-96, 2015.
- BRACHTVOGEL, E. L.; MALAVASI, U. C. Volume do recipiente, adubação e sua forma de mistura ao substrato no crescimento inicial de *Peltophorum dubium* (Sprengel) Taubert em viveiro. **Árvore**, Viçosa, v. 34, n. 2, p. 223-232, 2010.
- BRONDANI, G. E. et al. Ambiente de enraizamento e substratos na miniestaquia de erva-mate. **Scientia Agraria**, Curitiba, v. 8, n. 3, p. 257-267, 2007.
- BRONDANI, G. E. et al. Miniestaquia de *Eucalyptus benthamii*: efeito do genótipo, aib, zinco, boro e coletas de brotações. [S.l.]. **Cerne**, v. 20, n. 1, p. 147-156, 2014.
- BURIN, C.; BISOGNIN, D. A.; LENCINA, K. H.; GIMENES, E. S. Early selection of *Cabralea canjerana* for propagation by mini-cutting. [S.l.]. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 53, p. 1018-1024, 2018a.
- BURIN, C. et al. F. Enraizamento de miniestacas em diferentes épocas de coleta e para a seleção de clones de canjerana. [S.l.]. **Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 13, n. 2. 2018b.
- CALDEIRA, M. V. W. et al. Propriedades de substratos para produção de mudas florestais. In: CALDEIRA, M. V. W.; GARCIA, G. O.; GONÇALVES, E. O.; ARANTES, M. CHAVES, D.; FIEDLER N. C. **Contexto e Perspectivas da Área Florestal no Brasil**. Porto Alegre: Suprema, 2011, p.141-160.
- CARNEIRO, J. G. A. **Produção e controle de qualidade de mudas florestais**. Curitiba: UFPR/FUPEF, 1995. 451p.
- DAVIS, A. S.; JACOBS, D. F. Quantifying root system quality of nursery seedlings and relationship to outplanting performance. **New Forests**, Melbourne, n. 30, p. 295-311, 2005.
- DE FREITAS, Teresa A. S. et al. Mudas de eucalipto produzidas a partir de miniestacas em diferentes recipientes e substratos. [S.l.]. **Árvore** vol. 30, n. 4, Viçosa, July./Aug. 2006.
- DIAS, P. C. et al. Estaquia e miniestaquia de espécies florestais lenhosas do Brasil. [S.l.]. **Pesq. flor. bras.**, v. 32, n. 72, p. 453-462, 2012.
- DIAS, P. C. et al. Tipo de miniestaca e de substrato na propagação vegetativa de angico-vermelho (*Anadenanthera macrocarpa* (Benth.) Brenan). [S.l.]. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 25, n. 4, p. 909-919, out./dez. 2015.
- FACHINELLO, J. C.; HOFFMANN, A.; NACHTIGAL, J. C.; KERSTEN, E. **Propagação de plantas frutíferas**. Brasília: Embrapa informações tecnológicas, 2005,

221 p.

FAUERHARMEL, M. et al. Production of jacaranda plantlets by minicutting. [S.l.]. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 41, n. 5, suplemento 1, p. 1951-1962, 2020

FERMINO, M. H. **Substratos**: composição, caracterização e métodos de análise. Guaíba: Agrolivros, 2014.112p.

FERMINO, M. H. et al. Reutilization of residues as components of substrate for the production of *Eucalyptus grandis* seedlings. [S.l.]. **Cerne**, Lavras, v. 24, n. 2, p. 80-89, 2018.

FERNANDES, S. P. dos S. et al. Altura de decepta para estabelecimento de minijardim clonal de nim (*Azadirachta indica* A. Juss). [S.l.]. **Agropecuária Científica no Semiárido**, v. 13, n. 1, p. 67-71, jan./mar. 2017.

FERREIRA, B. G. A. **Propagação de *Sapium glandulatum* (Vell.) Pax por estaquia, miniestaquia e sementes**. 2008. 135 p. Dissertação. (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2008.

FERREIRA, M. Melhoramento e a silvicultura intensiva clonal. [S.l.]. **Scientia Florestalis**, n. 45, p. 22-30, 1992.

FERRIANI, A. P.; ZUFFELLATO-RIBAS, K. C.; WENDLING, I. Miniestaquia aplicada a espécies florestais. [S.l.]. **Revista Agro@mbiente On-line**, v. 4, n. 2, p.102-109, jul./dez. 2010.

FREITAS, A.F. et al. Produtividade de minicepas e enraizamento de miniestacas de híbridos de *Eucalyptus globulus* Labill. em resposta a nitrogênio. [S.l.]. **Ciência Florestal**, v. 27, n. 1, 2017.

FREITAS, T. P. et al. Efeito do ácido indol-3-butírico (AIB) no enraizamento de miniestacas de ipê-roxo (*Handroanthus heptaphyllus* Mattos). [S.l.]. **Ciência Florestal**, v. 25, n. 4, p. 1043-1051, 2015.

GASPARIN, E. et al. Influência do Substrato e do volume de recipiente na qualidade das mudas de *Cabralea canjerana* (Vell.) Mart. em viveiro e no campo. [S.l.]. **Ciência Florestal**, v. 24, n. 3, p. 553 - 563, 2014.

GAZZANA, D. **Seleção entre e dentro de progênies de erva-mate para o enraizamento adventício**. 2019. 60 p. Dissertação. (Mestrado em Engenharia Florestal)-Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2019.

GIMENES, E. S. et al. Propagation of *Cabralea canjerana* by mini-cutting. [S.l.]. **Journal of Horticulture and Forestry**. v. 7(1), p. 8-15, Jan. 2015.

GOGOSZ, A. M. et al. Morfologia de diásporos e plântulas de espécies arbóreas da floresta com araucária, no sul do Brasil. [S.l.]. **Floresta**, v. 45, n. 4, p. 819-832, 2015.

GOMES, J. M.; PAIVA, H. N. de. **Viveiros florestais: propagação sexuada**. Viçosa, Ed. UFV, p. 92-101, 2011.

GOMES, J. M. et al. Parâmetros morfológicos na avaliação da qualidade de mudas de *Eucalyptus grandis*. **Árvore**, Viçosa-MG, v. 26, n. 6, p. 655-664, 2002.

GONÇALVES, J. L. et al. Produção de mudas de espécies nativas: substrato, nutrição, sombreamento e fertilização. In: GONÇALVES, J. L. de M.; BENEDETTI, V. **Nutrição e fertilização florestal**. Piracicaba, SP: IPEF, 2005, 427p.

GRAU, H. R. et al. Floristic and structural patterns along a chronosequence of secondary forest succession in Argentina subtropical montane. [S.l.]. **Forest Ecology and Management**, v. 95, p. 161-171, 1997.

HAASE, D. L. Understanding forest seedling quality: measurements and interpretation. [S.l.]. **Tree Planters' Notes**, v. 52, n. 2, p. 24-30, 2008.

HARTMANN, H.T.; KESTER, D.E.; DAVIS JUNIOR, F.T; GENEVE, R.L. **Plant Propagation: principles and practices**. 7 ed. New York: Englewood Clippis, 2011. 880p.

HIGASHI, E. N.; SILVEIRA, R. L. V. A.; GONÇALVES, A. N. Propagação vegetativa de *Eucalyptus*: princípios básicos e sua evolução no Brasil. [S.l.]. **Circular técnica IPEF**, n. 192, out. 2000.

JACOBS, D. F.; LANDIS, T. D. Fertilization. In: DUMROESE, R. K.; LUNA, T.; LANDIS, T. **Nursery manual for native plants: A guide for tribal nurseries**. Washington: Department of Agriculture, Forest service, 2009, 302p.

KÄMPF, A. N. Irrigação. In: KÄMPF, A. N. **Produção comercial de plantas ornamentais**. Guaíba: Agrolivros. 2005, p. 171-180.

KIELSE, P. et al. Produção e enraizamento de miniestacas de louro-pardo - *Cordia trichotoma* (Vell.) Arrab. ex Steud coletadas de minicepas de origem assexuada e seminal. [S.l.]. **Ciência Rural**, v. 45, n. 7, p. 1164-1166, 2015.

KNAPIK, J. G. **Utilização do pó de basalto como alternativa à adubação convencional na produção de mudas de *Mimosa scabrella* Benth. e *Prunus sellowii* Koehne**. 2005. 163 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal), Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2005.

KONZEN, E. R.; BERGONCI, T.; BRONDANI, G. E. Produção de mudas por propagação vegetativa. In: **Propagação de sementes e mudas: um enfoque a silvicultura**, ARAUJO, M. M.; NAVROSKI, M. C.; SCHON, L. A. (Org.). Santa Maria: Ed. UFSM. 2018, 448p.

LANDIS, T. D.; DUMROESE, R. K. Using polymer-coated controlled-release fertilizers in the nursery and after outplanting. **Forest Nursery Notes**. United States, Department of Agriculture, Forest Service, 2009. p. 5-11.

- LI et al. Promotion of IAA, NAA on seed germination of *Jacaranda mimosifolia*. **Journal of Agricultural Science and Tchenology**, El Monte, v. 2, ed. 12, Nov. 2012
- LIMA, D. M. de et al. Enraizamento de miniestacas de espinheira-santa (*Maytenus ilicifolia* Mart. ex Reissek) em diferentes substratos. **Ciênc. agrotec.**, Lavras, v. 33, n. 2, p. 617-623, mar./abr. 2009.
- LORENZI, H.; SOUZA, H. M.; TORRES, M. A. V. **Árvores exóticas do Brasil: madeireiras, ornamentais e aromáticas**. São Paulo: Instituto Plantarum de Estudos da Flora. 2003. 368p.
- LORENZI, H.; BACHER, L. B., H. M.; TORRES, M. A. V. **Árvores e arvoretas exóticas do Brasil: madeireiras, ornamentais e aromáticas**. São Paulo: Instituto Plantarum de Estudos da Flora. 2018. 464p.
- LUZ, J. M. Q.; PAULA, E. C.; GUIMARÃES, T. G. Produção de mudas de alface, tomateiro e couve-flor em diferentes substratos comerciais. [S.l.]. **Horticultura Brasileira**, v. 18, suplemento, p. 579-581, 2000.
- MAHLSTEDE, J. P. **Plant propagation**. New York. John Wiley & Sons. 1957. 413p.
- MARUYAMA, E., et al., Micropropagation of *Jacaranda* (*Jacaranda mimosifolia* D. Don) by shoot-tip culture. *J. Japan. For. Soc.* V. 75, p. 346-349. 1993.
- MEZZOMO, J. C. et al. Silvicultural Potential of *Handroanthus heptaphyllus* Under Doses of Controlled Release Fertilizer and Container Volume, in Nursery and in the Field. [S.l.]. **Journal of Agricultural Science**, v. 10, p. 389 - 400, 2018.
- MIYAJIMA, I. et al. Practical Method of Propagating *Jacaranda mimosifolia* by cuttings. [S.l.]. **J. Japan. Soc. Hort. Sci.**, v. 73, n. 2, p. 137-139. 2004.
- NACHTIGAL, J. C.; FACHINELLO, J. C. Efeito de substratos e do ácido indolbutírico no enraizamento de estacas de araçazeiro (*Psidium cattleyanum* Sabine). [S.l.]. **Bras. de Agrociência**, v. 1, n. 1, 1995.
- NAZ, R. et al. Analysis, antimicrobial, antioxidant, antilipoxygenase and cytotoxic activities of *Jacaranda mimosifolia* methanol leaf extracts and fractions. [S.l.]. **Plos one**, v. 15, n. 7. e0236319, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0236319>.
- OLIVEIRA, J. R. de. et al. Caracterização de sementes, mudas e crescimento inicial de *Jacaranda mimosifolia* D. Don. (Bignoniaceae). [S.l.]. **Árvore**, v. 42, n. 4, 2018.
- OLIVEIRA, T. P. F. et al. Efeito da ácido indol-3-butírico (AIB) no enraizamento de miniestacas de ipê-roxo (*Handroanthus heptaphyllus* Mattos). **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 25, n. 4, p. 1043-1051, out./dez. 2015.
- OLIVEIRA, L. S.; DIAS, P. C.; ALMEIDA, M. de. Avaliação genética do enraizamento de miniestacas de uma procedência de *Eucalyptus cloeziana*. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, v. 35, n. 84, p. 391-397, 2015.

OLIVEIRA, T. P. F. et al. Aplicação de AIB e tipo de miniestacas na produção de mudas de *Handroanthus heptaphyllus* Mattos. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 26, n. 1, p. 313-320, 2016.

PAIVA, H. N.; GOMES, J. M. **Propagação vegetativa de espécies florestais**. Editora UFV, Viçosa, MG, 2011. 52p.

PIMENTEL, N. et al. Shoot segment and substrate composition in rooting of juvenile ipe-roxo mini-cuttings. [S.l.]. **Ciência Rural**, v. 46, n. 6, p. 996-1002, 2016.

PIMENTEL, N. et al. Effect of mini-cutting size on adventitious rooting and morphophysiological quality of *Ilex paraguariensis* plantlets. [S.l.]. **J. For. Res.**, 2020. <https://doi.org/10.1007/s11676-020-01126-6>

PIMENTEL, N. et al. Produtividade de minicepas e enraizamento de miniestacas de erva-mate (*Ilex paraguariensis* Sat.-Hil). **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 29, n. 2, p. 559-570, abr./jun. 2019.

PIRES, P. et al. Sazonalidade e soluções nutritivas na miniestaquia de *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze. **Árvore**, Viçosa-MG, v. 39, n. 2, p. 283-293, 2015.

POP, T. I.; PAMFIL, D.; BELLINI, C. Auxin control in the formation of adventitious roots. [S.l.]. **Notulae Botanicae Horti Agrobotanica Cluj-Napoca**, v. 36, n. 1, p. 307-316, 2011.

REIS, E. R. dos et al. Variabilidade dos parâmetros morfológicos em mudas de *Pinus elliottii* Engelm. **Cerne**, Lavras, v. 14, n. 2, p. 141-146, abr./jun. 2008.

RITCHIE, G. A.; LANDIS, T. D.; DUMROESE, R. K.; HAASE, D. L. Assessing plant quality. In: LANDIS, T. D.; DUMROESE, R. K.; HAASE, D. L. **Seedling processing, storage, and outplanting**. Washington, Department of agriculture forest service, 2010. 200p.

RODRIGUES, M. B. **Enraizamento de miniestacas e parâmetros de validação de clones de ipê-roxo para a propagação vegetativa**. 2018. 72 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal)–Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2018.

RODRIGUES, M. B. et al. Enraizamento de miniestacas de ipê-roxo (*Handroanthus heptaphyllus* Vell. Mattos). [S.l.]. **Brasileira de Plantas Mediciniais**, v. 19, n. 1, p. 129-137, 2017.

SAMPAIO, E. S. **Fisiologia vegetal: teoria e experimentos**, 2 ed. Ponta Grossa: Editora UEPG, 2010. 166p.

SILVA, R. L. et al. Propagação clonal de Guanandi (*Calophyllum brasiliense*) por miniestaquia. [S.l.]. **Agromía Costarricense**, v. 34(1), p. 99-104. 2010.

SOCOLOWSKI, F.; TAKAKI, M. Germination of *Jacaranda mimosifolia* (D. Don - Bignoniaceae) Seeds: Effects of Light, Temperature and Water Stress. [S.l.]. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, v. 47, n. 5, p. 785-792, 2004.

SOMAVILLA, T. M. **Enraizamento de miniestacas e seleção de *Cordia trichotoma* (Vellozo) Arrabida Ex Steudel para a propagação por miniestaquia**. 2018. 90 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal)-Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria. 2018.

SOUZA, J. C. A. V. et al. E. Propagação vegetativa de cedro-australiano (*Toona ciliata* M. Roemer) por miniestaquia. [S.l.]. **Árvore**, v. 33, n.2, p. 205-213, 2009.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia Vegetal**. 3 ed. Porto Alegre, RS: Artmed, 2013. 918p.

TITON, M. et al. Eficiência das minicepas e microcepas na produção de propágulos de clones de *Eucalyptus grandis*. **Árvore**, Viçosa, v. 27, n. 5, p. 619-625. 2003.

TONETTO, T. da S. et al. *Handroanthus heptaphyllus* Mattos response in different volumes of substrate and base fertilization. [S.l.]. **Floresta**, v. 50, n. 4, p. 1770-1777, 2020.

TONETTO, T. da S. et al. Storage and germination of seeds of *Handroanthus heptaphyllus* (Mart.) Mattos. [S.l.]. **Journal of Seed Science**, v. 37 (1), p. 040-046, 2015.

TURCHETTO, F. et al. Growth and physiology of *Balfourodendron riedelianum* seedlings in the nursery and in the field. **Floresta**, Curitiba, v. 49, n. 4, p. 763 - 772, 2019.

WENDLING, I. et al., **Substratos, adubação, e irrigação na produção de mudas**. Viçosa: aprenda fácil, 2002. 166p.

WENDLING, I. **Propagação vegetativa**. I Semana do Estudante Universitário – Florestas e Meio Ambiente. Embrapa, 2003. Disponível em: <http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/50925/1/Wendling.pdf>. Acesso em: 13 de outubro de 2020.

WENDLING, I.; DUTRA, L. F. Produção de mudas de eucalipto por sementes. In: WENDLING, I.; DUTRA, L. F. (Ed.). **Produção de mudas de eucalipto**. Colombo, PR: Embrapa florestas, 2010. 184p.

WENDLING, I.; GATTO, A. **Substratos, adubação e irrigação na produção de mudas**. 2 ed. Viçosa: Aprenda fácil, 2012. 149p.

XAVIER, A.; WENDLING, I.; SILVA, R. L. da.; **Silvicultura clonal: princípios e técnicas**. Editora UFV. 2009. 272p.

ZIETEMANN, C.; ROBERTO, S. R. Produção de mudas de goiabeira (*Psidium guajava* L.) em diferentes substratos. [S.l.]. **Brasileira de Fruticultura**, v. 29, n. 1, p. 137-142, 2007.