

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE ENGENHARIA
CÂMPUS DE ILHA SOLTEIRA**

SAMIRA RANGEL DO PRADO FRADE

**Estratégias para o resgate vegetativo em diferentes idades e
ganhos na seleção genética de populações melhoradas de
Eucalyptus urophylla S.T. BLAKE na região Leste do Mato Grosso do
Sul**

**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA (SISTEMAS
DE PRODUÇÃO)**

SAMIRA RANGEL DO PRADO FRADE

**Estratégias para o resgate vegetativo em diferentes idades e
ganhos na seleção genética de populações melhoradas de
Eucalyptus urophylla S.T. BLAKE na região Leste do Mato Grosso do
Sul**

Tese apresentada à Faculdade de
Engenharia de Ilha Solteira – Unesp como
parte dos requisitos para obtenção do título
de Doutora em Agronomia. Especialidade:
Sistemas de Produção.

Prof. Dr. Mario Luiz Teixeira de Moraes
Orientador

Dra. Silvelise Pupin
Coorientadora

FICHA CATALOGRÁFICA

Desenvolvida pelo Serviço Técnico de Biblioteca e Documentação

F799e Frade, Samira Rangel do Prado.
Estratégias para o resgate vegetativo em diferentes idades e ganhos na seleção genética de populações melhoradas de *Eucalyptus urophylla* S.T. BLAKE na região leste do Mato Grosso do Sul / Samira Rangel do Prado Frade. -- Ilha Solteira: [s.n.], 2023
96 f. : il.

Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira. Área de conhecimento: Sistema de Produção, 2023

Orientador: Mário Luiz Teixeira de Moraes

Coorientadora: Silvelise Pupin

Inclui bibliografia

1. Brotos epicórmicos. 2. Micropropagação. 3. Propagação vegetativa. 4. Herdabilidade. 5. Interação genótipo × ambiente. 6. Teste de progênies.

IMPACTO POTENCIAL DESTA PESQUISA

Esperamos que essa pesquisa possa apresentar resultados importantes e gerar impactos significativos no âmbito científico, econômico e social. Do ponto de vista científico, gerar novas informações e responder lacunas para o conhecimento da propagação e melhoramento da cultura de eucalipto contribuirá com toda comunidade acadêmica para avançar na domesticação e uso da espécie e seus híbridos. Do ponto de vista econômico, a presente pesquisa pôde contribuir com o setor florestal brasileiro, em destaque para o estado do Mato Grosso do Sul, com soluções e entendimentos técnicos sobre a cultura do eucalipto que está em crescente expansão, pois há a necessidade de buscarmos novos materiais genéticos que sejam adaptáveis as condições climáticas atuais, as novas fronteiras de plantios e se mantenham com alta produtividade. Além do mais, do ponto de vista social, quando contribuímos em conhecimento técnico-científico com a indústria florestal no país, estamos ajudando na expansão do seu cultivo, que por consequência gera mais empregos e desenvolvimento econômico na região, além disso, a formação de mais florestas de eucalipto torna-se uma aliada na redução das emissões de CO₂ na atmosfera e na manutenção da biodiversidade e dos biomas nativos do Brasil. Portanto, esta pesquisa almeja contribuir para que o cultivo de floresta de eucalipto seja cada vez mais produtivo e sustentável ambientalmente, cientificamente e socialmente.

POTENTIAL IMPACT OF THIS RESEARCH

We hope that this research will produce important results and generate significant scientific, economic and social impacts. From a scientific point of view, generating new information and answering gaps in knowledge about the propagation and improvement of the eucalyptus crop will help the entire academic community to advance in the domestication and use of the species and its hybrids. From an economic point of view, this research has been able to contribute to the brazilian forestry sector, especially the state of Mato Grosso do Sul, with solutions and technical understanding of eucalyptus cultivation, which is expanding all the time, as there is a need to look for new genetic materials that are adaptable to current climatic conditions, new plantation frontiers and remain highly productive. Furthermore, from a social point of view, when we contribute technical and scientific knowledge to the country's forestry industry, we are helping to

expand its cultivation, which consequently generates more jobs and economic development in the region. In addition, the formation of more eucalyptus forests becomes an ally in reducing CO₂ emissions into the atmosphere and in maintaining biodiversity and Brazil's native biomes. Therefore, this research aims to contribute to making the cultivation of eucalyptus forests increasingly productive and environmentally, scientifically and socially sustainable.

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

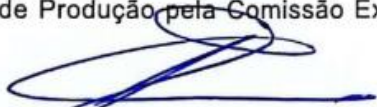
TÍTULO DA TESE: ESTRATÉGIAS PARA O RESGATE VEGETATIVO EM DIFERENTES IDADES E GANHOS NA SELEÇÃO GENÉTICA DE POPULAÇÕES MELHORADAS DE *Eucalyptus urophylla* S.T. BLAKE NA REGIÃO LESTE DO MATO GROSSO DO SUL

AUTORA: SAMIRA RANGEL DO PRADO FRADE

ORIENTADOR: MARIO LUIZ TEIXEIRA DE MORAES

COORIENTADORA: SILVELISE PUPIN

Aprovada como parte das exigências para obtenção do Título de Doutora em Agronomia, área:
Sistemas de Produção ~~pe~~ pela Comissão Examinadora:



Prof. Dr. MARIO LUIZ TEIXEIRA DE MORAES (Participação Virtual)
Departamento de Fitotecnia, Tecnologia de Alimentos e Socio-Economia / Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira - UNESP

Prof. Dr. CELSO LUIS MARINO (Participação Virtual)
Departamento de Genética / Instituto de Biociências - UNESP

Prof. Dr. VITOR CORRÊA DE MATTOS BARRETTO (Participação Virtual)
Departamento de Produção Vegetal / Faculdade de Ciências Agrárias e Tecnológicas - UNESP

Pesquisadora Dra. IZABEL CHRISTINA GAVA DE SOUZA (Participação Virtual)
Departamento de Pesquisa e Inovação / Suzano Papel e Celulose

Prof. Dr. LEANDRO SILVA DE OLIVEIRA (Participação Virtual)
Instituto de Ciências Agrárias / Universidade Federal de Minas Gerais - UFMG

Ilha Solteira, 08 de dezembro de 2023

SOBRE A AUTORA

Samira Rangel do Prado Frade, nascida em 16/05/1993 na cidade de Ubatuba, litoral norte de São Paulo. Filha de Valdenio Manguiera Frade e Nívia Jordeli Rangel do Prado Frade. Irmã do agrônomo Pedro Miller Rangel Manguiera Frade e esposa do engenheiro florestal Renan Gilberto da Silva Carvalho. Graduada em Engenharia Florestal pela Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ) em 2016, onde se aventurou em diversos estágios acadêmicos, principalmente na área de propagação de plantas. Como destaque, foi bolsista de iniciação científica pelo CNPq e a primeira mulher a assumir a Presidência da Flora Júnior - Empresa júnior de engenharia florestal do estado do Rio de Janeiro. No encerramento do curso de graduação teve a oportunidade de estagiar na empresa Klabin S/A, onde conheceu e se apaixonou pelo mundo da biotecnologia florestal. Em 2017 e 2018, realizou o mestrado como bolsista CAPES no programa pós-graduação em biotecnologia vegetal e obteve o título de Mestre em Ciências pela Universidade Federal de Lavras (UFLA), onde aprofundou os conhecimentos sobre a biologia molecular e as ferramentas biotecnológicas para a clonagem e propagação de eucaliptos. Em 2019 se mudou para a cidade de Três Lagoas-MS e iniciou a jornada profissional no Instituto Senai de Inovação em Biomassa como pesquisadora visitante. Em 2020 ingressou no curso de doutorado do Programa de Pós-Graduação em Agronomia, com ênfase em genética, melhoramento e propagação de plantas, como bolsista CAPES, pela Universidade Estadual Paulista “Júlio De Mesquita Filho” – UNESP/FEIS, onde realizou pesquisas no âmbito do conhecimento da propagação vegetativa e melhoramento genético de eucaliptos. Apaixonada pela eucaliptocultura, busca trilhar sua carreira profissional dentro do setor florestal e atualmente atua no time de P&D da empresa Suzano SA, onde vem convivendo na prática com as diferentes ferramentas do melhoramento florestal e seus desafios.

Dedido este trabalho a meus amados pais, esposo, familiares e amigos que
sempre me apoiaram nesta trajetória acadêmica.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, sobre todas as coisas e instâncias, que me fizeram chegar até aqui.

Aos meus pais e familiares que tanto se orgulham de mim e das minhas conquistas.

Ao meu companheiro de vida, amado esposo Renan, que desde o início desta trajetória acadêmica esteve comigo, da primeira iniciação científica à tese. Obrigada pela paciência, compreensão nos momentos difíceis e suporte emocional quando mais precisei.

Aos amigos (os quais não citarei nomes para não esquecer de um, mas sabem quem são), que me deram forças para continuar, me incentivaram e acreditaram no meu potencial, muito obrigada.

À Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira – Unesp, pela estrutura educacional, pelos docentes magníficos que tive a honra de conhecer e por permitir mesmo em meio a pandemia do COVID 19 a realização do meu curso de doutoramento.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001 pelo apoio e bolsa de estudos para realização do presente trabalho.

Ao querido professor e orientador Dr. Mario Luiz Teixeira de Moraes, com sua leveza, bondade e paixão pelo melhoramento sempre me proporcionou a luz do conhecimento quando precisei. Em paralelo, a querida e coorientadora Silvelise, obrigada por todo o suporte para escrever esta tese e chegar até aqui. Obrigada pelo apoio do começo ao fim.

Aos professores pesquisadores do Instituto de Biociências de Botucatu: Dr. Celso Luis Marino, Dra. Marcela Aparecida de Moraes Silvestre e Dr. Bruno Cesar Rossini e do Laboratório de Genética de Populações, Evolução e Silvicultura: Selma Maria Bozzite Moraes, Dra. Patrícia Ferreira Alves, Eng. Ftal. José Carlos de Oliveira Júnior e Dr. Alexandre Marques da Silva pelas contribuições de revisão e sugestões à tese. Ao Dr. Andrei Caíque Pires Nunes, da Universidade Federal do Sul da Bahia (UFSB), pelas análises no Selegen genômico.

À Fazenda de Ensino, Pesquisa e Extensão – FEPE da Unesp por disponibilizar tamanha riqueza de materiais genéticos florestais para estudos e aos seus

funcionários que me deram suporte nos dias de campo quando precisei. Em especial, agradeço ao Profº José Cambuim, o qual tanto me ensinou, com o olhar crítico, cauteloso e criativo para as florestas. Conviver com o Sr foi uma verdadeira aula.

Ao Instituto Senai de Inovação em Biomassa - ISI Biomassa em Três Lagoas/MS por abrirem as portas para mim e concederem todo espaço laboratorial para realização deste trabalho, além de profissionais técnicos que me auxiliaram do começo ao fim, em especial os pesquisadores Luiza, Tiago Silva e Thiago Endrigo, e aos queridos estagiários do Pizarro (foram tantos que não os citarei).

À empresa Eldorado Brasil Celulose, por ter abraçado este projeto comigo em parceria, contribuindo com suporte técnico e financeiro, além do apoio de seus profissionais com dicas e orientações quando necessárias, em especial os pesquisadores Eduardo Camargo, Leonardo e Brígida.

À empresa Suzano SA, agradeço pela liberação dos dados referentes aos testes de progênies de Araraquara-SP e Angatuba-SP para escrita de parte desta tese, em especial a pesquisadora Dra. Izabel.

Por fim, a todos e todas que contribuíram significativamente com 0,01% para que eu pudesse chega até aqui.

RESUMO

Dentre a diversidade de espécies, o *Eucalyptus urophylla* tornou-se uma das mais plantadas no Brasil, devido a suas inúmeras características silviculturais favoráveis e excelente fonte de matéria-prima para a indústria de celulose e papel. Com a crescente demanda por produtos derivados do eucalipto, houve a necessidade de expansão dos plantios, acelerar os programas de melhoramento genético, afim de obter novas variedades genéticas desta espécie e suas combinações com outras, selecionar indivíduos com maior ganho produtivo e aprimorar as técnicas de propagação e clonagem. Diante disso, o presente estudo teve como objetivo avaliar diferentes estratégias de resgate vegetativo de indivíduos de *Eucalyptus urophylla* com diferentes idades e a melhor estratégia para estimar ganhos na seleção de indivíduos que poderão ser utilizados posteriormente em programas de melhoramento genético das empresas da região leste do MS. Para tanto, realizou-se duas estratégias de resgate vegetativo, por meio de galhos da copa e ramos foliares, em indivíduos de 28, 11 e 4 anos de idade, e após a obtenção de brotos avaliou-se a introdução e estabelecimento *in vitro* dos mesmos. Em paralelo, com testes de progênies de segunda geração de *E. urophylla* foi investigado a viabilidade em aplicar a seleção genômica a partir de marcadores genéticos microsatélites para a seleção dos indivíduos, e estimou-se a variação genética para caracteres silviculturais, ganhos de seleção e a interação entre genótipos e ambientes (G×A). Os resultados demonstraram que para cada população de *Eucalyptus urophylla* com idade de 28, 11 e 4 anos as respostas as estratégias de resgate vegetativo se diferenciaram em alguns aspectos, porém apresentaram os melhores resultados quando utilizado a estratégia de galhos da copa (brotos epicórmicos). Com a análise genômica não foi possível selecionar progênies com base nos valores genéticos genômicos por conta da baixa acurácia preditiva. Quanto ao ganho na seleção, para o TP2g Selvíria-MS os maiores foram observados a partir da seleção dos 22 melhores indivíduos (> 20%), sendo então uma população indicada para compor um PSM de segunda geração.

Palavras-chave: brotos epicórmicos; micropropagação; propagação vegetativa; herdabilidade; interação genótipo × ambiente; teste de progênies.

ABSTRACT

Among the diversity of species, *Eucalyptus urophylla* has become one of the most widely planted in Brazil, due to its many favorable silvicultural characteristics and excellent source of raw material for the pulp and paper industry. With the growing demand for products derived from eucalyptus, there has been a need to expand plantations, speed up genetic improvement programs in order to obtain new genetic varieties of this species and their combinations with others, select individuals with greater productive gains and improve propagation and cloning techniques. With this in mind, the aim of this study was to evaluate different strategies for the vegetative rescue of *Eucalyptus urophylla* individuals at different ages and the best strategy for estimating gains in the selection of individuals that can be used later in genetic improvement programs for companies in the eastern region of Mato Grosso do Sul. To this end, two vegetative rescue strategies were carried out, using mega cuttings and leaf branches, on 28, 11 and 4 year old individuals, and after obtaining shoots, their introduction and establishment in vitro was evaluated. In parallel, tests on second-generation *E. urophylla* progenies investigated the feasibility of applying genomic selection using microsatellite genetic markers to select individuals, and estimated the genetic variation for silvicultural characters, selection gains and the interaction between genotypes and environments (G×A). The results showed that for each population of *Eucalyptus urophylla* at 28, 11 and 4 years of age, the responses to the vegetative rescue strategies differed in some respects, but showed the best results when using the mega cuttings strategy (epicormic shoots). With genomic analysis, it was not possible to select progenies based on genomic genetic values due to the low predictive accuracy. In terms of selection gains, the highest gains for TP2g Selvíria-MS were observed after selecting the 22 best individuals (> 20%), making it a suitable population for a second-generation PSM.

Keywords: epicormic shots; micropropagation; vegetative propagation; heritability; genotype × environment interaction; progeny test.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO GERAL	13
2	REVISÃO DE LITERATURA	15
2.1	<i>Eucalyptus urophylla</i> S.T. BLAKE	15
2.2	MELHORAMENTO GENÉTICO DE <i>Eucalyptus</i>	16
2.3	PROPAGAÇÃO CLONAL DE EUCALIPTO	17
	REFERÊNCIAS	20
3	CAPÍTULO 1 – ESTRATÉGIAS DE RESGATE VEGETATIVO DE <i>Eucalyptus urophylla</i> DE DIFERENTES IDADES	23
3.1	INTRODUÇÃO	24
3.2	MATERIAL E MÉTODOS	26
3.2.1	Origem e seleção dos indivíduos superiores de <i>Eucalyptus urophylla</i>	26
3.2.2	Estratégias de resgate vegetativo	28
3.2.3	Delineamento experimental e avaliações	35
3.2.4	Análises estatísticas	36
3.3	RESULTADOS E DISCUSSÃO	37
3.3.1	Estratégias de resgate vegetativo	37
3.3.2	Introdução e estabelecimento <i>in vitro</i> das fontes de propágulos	46
3.4	CONCLUSÕES	49
	REFERÊNCIAS	50
4	CAPÍTULO 2 – ESTIMATIVAS DOS PARÂMETROS GENÉTICOS E GANHOS NA SELEÇÃO DE PROGÊNIES DE SEGUNDA GERAÇÃO DE <i>Eucalyptus urophylla</i> EM DIFERENTES LOCAIS	54
4.1	INTRODUÇÃO	55
4.2	MATERIAL E MÉTODOS	56
4.2.1	Descrição das áreas experimentais	56
4.2.2	Avaliação dos caracteres silviculturais	61
4.2.3	Caracterização genética	61
4.2.4	Análises individuais e estimativas dos parâmetros genéticos	61
4.2.5	Análise conjunta	63
4.2.6	Análise genômica	64
4.2.7	Produtividade, estabilidade e adaptabilidade	64
4.2.8	Ganhos de seleção	65
4.3	RESULTADOS E DISCUSSÃO	66
4.3.1	Análise genômica	66
4.3.2	Análises individuais	68
4.3.3	Análise conjunta	75
4.3.4	Ganhos de seleção	81
4.4	CONCLUSÕES	84
	REFERÊNCIAS	86
	APÊNDICE A1 - Dados a cerca dos caracteres de crescimento (altura e DAP), família genética e a posição do ordenamento de	

seleção dos indivíduos de <i>Eucalyptus urophylla</i> de cada população com idades diferentes que emitiram brotações em cada estratégias de resgate ou por ambas	90
APÊNDICE A2 – Dados a cerca dos caracteres de crescimento (altura e DAP), família genética e a posição do ordenamento de seleção dos indivíduos de <i>Eucalyptus urophylla</i> de cada população com idades diferentes que emitiram brotações em cada estratégias de resgate ou por ambas	91
APÊNDICE A3 – Dados a cerca dos caracteres de crescimento (altura e DAP), família genética e a posição do ordenamento de seleção dos indivíduos de <i>Eucalyptus urophylla</i> de cada população com idades diferentes que emitiram brotações em cada estratégias de resgate ou por ambas	92
APÊNDICE B – Dados climáticos históricos da região de Selvíria-MS onde foram instalados os testes PSM-TPR-EU e o TP2G-Selvíria	93
ANEXO A – Caracterização nutricional do solo onde foram instalados os testes PSM-TPR-EU e o TP2G-Selvíria no bioma cerrado	94
ANEXO B – Famílias remanescentes PSM-TPR-EU após o desbaste realizado aos 20 anos de idade, quantidade de árvores remanescentes por progênie (kf), identificação das árvores matrizes onde foram coletadas as sementes para formação do TP2g-Sel, e caracteres silviculturais (Altura e DAP) obtidos em 2021, em Selvíria-MS	95
ANEXO C – Croqui e distribuição das árvores matrizes do PSM-TPR-EU de <i>Eucalyptus urophylla</i> , localizado em Selvíria-MS. Coloração laranja indicando as matrizes em que foram coletadas sementes	96

1 INTRODUÇÃO GERAL

O eucalipto, uma espécie nativa da Austrália, conquistou uma posição de destaque na economia tanto do Brasil quanto do mundo. Sua versatilidade e crescimento rápido o tornam uma fonte valiosa de matéria-prima em diversas indústrias. No cenário brasileiro, o eucalipto desempenha um papel crucial na produção de celulose e papel, na construção civil e na geração de carvão vegetal. Sua adaptabilidade a diferentes condições climáticas e resistência a pragas o transformam em uma cultura atrativa para a economia, proporcionando uma base sólida para o desenvolvimento sustentável e contribuindo para a geração de empregos em várias regiões (Indústria Brasileira de Árvores - IBÁ, 2023; Furlan *et al.*, 2020, Guerino *et al.*, 2022).

Dentro da diversidade de espécies de eucalipto, destaca-se o *Eucalyptus urophylla*, o qual é originário da Indonésia e de ilhas adjacentes, possui uma madeira de alta qualidade, utilizada para diversos fins, especialmente na indústria de papel e celulose. Além disso, o *Eucalyptus urophylla* apresenta uma ótima plasticidade e adaptabilidade às mais diversas regiões do Brasil, o que o torna uma espécie estratégica para os programas de melhoramento genético (Rosado *et al.*, 2009; Pupin *et al.*, 2015).

No âmbito do melhoramento genético do eucalipto, os estudos de seleção genética têm avançado consideravelmente. O conhecimento e a busca da variabilidade entre as espécies e a relação entre suas características dendrométricas, resistência a doenças, tolerância ao déficit hídrico, eficiência no uso de recursos naturais e qualidade da madeira, têm sido alvo de pesquisas intensivas e são de extrema relevância para aprimorar e desenvolver estratégias de seleção que resultem em ganhos de produtividade. Esses esforços visam não apenas aumentar a produtividade das plantações florestais comerciais, mas também garantir a sustentabilidade ambiental das culturas de eucalipto no mundo (Beltrame *et al.*, 2023; Castro *et al.*, 2016). A seleção genômica, uma importante ferramenta do melhoramento nos dias atuais, foi proposta em 2001 por Meuwissen e colaboradores, como uma forma de aumentar a eficiência de seleção e acelerar os programas de melhoramento genético, por meio da predição dos efeitos genéticos baseados em

dados genotípicos e fenotípicos do indivíduo de interesse, utilizando marcadores genéticos como os microssatélites.

A silvicultura clonal, amplamente utilizada para multiplicar plantas, é uma forte aliada dos programas de melhoramento genético, pois torna possível a disponibilização de espécies arbóreas florestais de importância econômica, como os eucaliptos, sem que ocorra o abate das mesmas (Lima *et al.*, 2021). Quanto às técnicas de propagação vegetativa de eucaliptos, o resgate e a micropropagação têm ganhado destaque. O resgate vegetativo, que envolve a coleta e conservação de material genético de plantas adultas selecionadas, contribui para a preservação da diversidade genética. A micropropagação, por sua vez, é uma técnica que permite a produção em larga escala de mudas geneticamente idênticas, garantindo uniformidade e reduzindo o tempo necessário para o cultivo de árvores de eucalipto (Sharma *et al.*, 2023; Mendonça *et al.*, 2020).

Em conclusão, à medida que a demanda por produtos derivados do eucalipto continuam a crescer, os investimentos em pesquisas para aprimorar as técnicas de propagação e promover avanços nos programas de melhoramento para a seleção de materiais genéticos cada vez mais produtivos e adaptáveis se tornam primordiais, garantindo assim um desempenho contínuo do eucalipto na economia global.

Assim, o objetivo geral deste estudo foi avaliar diferentes estratégias de resgate vegetativo para indivíduos selecionados em populações de *Eucalyptus urophylla* com 28, 11 e 4 anos de idade e em testes de progênies de segunda geração de *E. urophylla* instalados em diferentes localidades analisar a viabilidade em aplicar a seleção genômica a partir de marcadores genéticos microssatélites para a seleção dos indivíduos, estimar a variação genética para caracteres silviculturais, os ganhos de seleção e a interação entre genótipos e ambientes (G×A).

1 REVISÃO DE LITERATURA

1.1 *Eucalyptus urophylla* S.T. BLAKE

Eucalyptus urophylla S.T. Blake, é uma espécie que se destaca no cenário florestal brasileiro por suas características positivas e sua ampla utilização em programas de reflorestamento e silvicultura. Esta espécie, originária da Indonésia e de ilhas adjacentes, conquistou espaço notável no Brasil devido às suas diversas qualidades (Rosado *et al.*, 2009; Oliveira Júnior, 2022).

Uma das principais características desta espécie é a qualidade da madeira, reconhecida por sua resistência, durabilidade e versatilidade, tornando-a uma escolha ideal para diversas aplicações, especialmente na indústria de papel e celulose. Além disso, a rápida taxa de crescimento do *Eucalyptus urophylla* permite ciclos de colheita mais curtos em comparação com outras espécies do gênero, o que contribui para a eficiência na produção (Beltrame *et al.*, 2023; Weng, *et al.*, 2014).

Eucalyptus urophylla e seus híbridos são hoje um dos materiais genéticos mais plantadas no Brasil, principalmente devido à sua ótima plasticidade e adaptabilidade a diversas condições climáticas e tipos de solo que se encontra no país. Essas características permitem que o mesmo seja cultivado em diferentes regiões, desde o Sul até o Nordeste, tornando-o uma opção versátil para as empresas de base florestal, seja para a produção de madeira e seus sub produtos, ou para projetos de reflorestamento (Beltrame *et al.*, 2023; Cruz *et al.*, 2023). Além da adaptação, o *Eucalyptus urophylla* demonstra resistência a ataques de insetos e patógenos, sendo este um fator crucial para a sustentabilidade das florestas plantadas, tornando-o uma escolha estratégica para impulsionar a indústria florestal (Bison *et al.*, 2007).

Desta maneira, diante das inúmeras vantagens, o *Eucalyptus urophylla* destaca-se como uma espécie valiosa no contexto da silvicultura brasileira, devendo sua base genética ser ainda mais explorada pelos melhoristas, para que possa continuar contribuindo cada vez mais para o setor, a economia e a sustentabilidade no Brasil (Pupin *et al.*, 2015; Silva *et al.*, 2022).

1.2 MELHORAMENTO GENÉTICO DE *Eucalyptus*

O melhoramento genético do eucalipto, por meio de ferramentas e estratégias, possui o grande desafio de desenvolver populações e indivíduos ainda mais produtivos, porém fazendo com que a variabilidade genética e a frequência de alelos favoráveis não regreda e sim aumente a cada ciclo de seleção (Silva *et al.*, 2022; Castro *et al.*, 2016). Desta forma, os testes de progênies são comumente utilizados, pois envolve o cruzamento das melhores árvores e consequentemente a combinação das características genéticas de interesse. Ensaios em campo, permitem que o desempenho dessas progênies sejam avaliados por vários métodos como por exemplo a seleção entre e dentro de famílias, no qual se identificam primeiramente as melhores famílias e posteriormente os melhores indivíduos dentro destas famílias (Rosado *et al.*, 2009; Silva, 2019).

A seleção genética visa encontrar os melhores indivíduos desses ensaios em relação as suas características, podendo ser as de crescimento como altura, diâmetro, volume, ou de qualidade como as da madeira e sobrevivência, e promover a reprodução dessas árvores que apresentarão maiores ganhos genéticos nas próximas gerações (Oliveira *et al.*, 2020; Miranda *et al.*, 2022).

O estabelecimento de pomares de sementes também é uma etapa essencial nos programas de melhoramento, pois são compostos por árvores matrizes já pré selecionadas, cujas sementes serão utilizadas nas próximas gerações. Essa abordagem visa garantir a coleta de sementes de alta qualidade, fundamentais para a continuidade de programas de melhoramento bem-sucedidos (Kano *et al.*, 1979; Zulian, 2021).

Como ferramenta, o método REML/BLUP (*Restricted Maximum Likelihood/Best Linear Unbiased Prediction*) é frequentemente empregado para análises genéticas e estatísticas desses ensaios de campo, pois oferece precisão no processo de seleção, permite modelar efeitos fixos e aleatórios e com isso uma avaliação mais precisa do valor genético das árvores, acelerando o progresso genético e a seleção de genótipos superiores (Pupin *et al.*, 2015; Miranda *et al.*, 2015). Neste método, REML (Residual Maximum Likelihood) é a estatística que estima os parâmetros de um modelo linear misto, considerando os efeitos fixos e aleatórios. Ele é particularmente útil para lidar com desbalanceamento nos dados. E BLUP (Best Linear Unbiased Prediction) refere-se à previsão linear dos valores genéticos, levando em conta a variabilidade genética

e os efeitos ambientais. O BLUP é usado para estimar os valores genéticos dos indivíduos, considerando tanto os dados fenotípicos quanto as relações genéticas. Portanto, a metodologia REML/BLUP combina a estimação de componentes de variância (usando o REML) com a previsão dos valores genéticos (usando o BLUP), considerando os efeitos genotípicos como aleatórios, fornecendo estimativas de estabilidade e adaptabilidade genotípicas (Resende et al., 2012).

Além dos métodos clássicos de melhoramento para a seleção de indivíduos, o uso de análises genômicas com marcadores moleculares representa uma revolução no melhoramento genético do eucalipto. Essas ferramentas permitem a identificação precisa de genes associados a características específicas, acelerando o processo de seleção e permitindo uma abordagem mais precisa na escolha de árvores matrizes (Resende *et al.*, 2008; Garcia, 2016).

Outra importante ferramenta no melhoramento do eucalipto são as análises de interação genótipo x ambiente (GxA) e análise de estabilidade e adaptabilidade. Tais ferramentas possibilitam estimar se a resposta de um genótipo para um determinado caráter é resultado da combinação dos efeitos genotípicos, ambientais e ou da interação GxA (Silva, 2019). A resposta da interação será decorrente das diferentes condições ambientais onde o genótipo se encontra, e desta forma poderá indicar qual o melhor indivíduo para aquele determinado local. Aliado a análise de interação, as respostas estimadas para os genótipos quanto a estabilidade de produção e a adaptabilidade ao ambiente orientarão ainda mais o melhorista na decisão na seleção dos melhores indivíduos (Piana *et al.*, 1999; Pupin *et al.*, 2015).

1.3 PROPAGAÇÃO CLONAL DE EUCALIPTO

A propagação clonal de eucaliptos é uma prática aplicada para a produção de mudas geneticamente iguais a planta matriz, permitindo a reprodução fidedigna das características desejáveis. Dentre as principais técnicas de propagação clonal de eucalipto, destacam-se a estaquia, enxertia, resgate vegetativo e a micropropagação (Hartmann *et al.*, 2011).

A estaquia é uma técnica comum na silvicultura clonal de eucaliptos, na qual segmentos de ramos, brotos epicórmicos ou pequenas estacas das árvores são coletados e plantados em substratos apropriados. Essa técnica é particularmente eficaz para os eucaliptos, permitindo a reprodução das árvores selecionadas com

características desejadas. Suas vantagens incluem a rápida produção de mudas, contudo, as desvantagens estão relacionadas à taxa de sucesso do enraizamento que pode variar dependendo da espécie e das condições ambientais (Lima *et al.*, 2021).

A enxertia é outra técnica utilizada na propagação clonal de eucaliptos, envolve a união de partes de diferentes plantas, geralmente um porta-enxerto e um ramo de uma árvore selecionada, o enxerto. Essa técnica permite uma boa taxa de enraizamento e sobrevivência das mudas, porém requer habilidades específicas para garantir o sucesso da enxertia (Hartmann *et al.*, 2011; Baccarin *et al.*, 2012).

O uso das técnicas de resgate vegetativo tornou-se uma ferramenta indispensável para a propagação clonal de eucaliptos, principalmente se tratando de árvores adultas, o que torna a propagação ainda mais difícil, pois a obtenção de material fisiologicamente juvenil ou rejuvenescido é mais complexa. Outra grande vantagem da utilização das técnicas de resgate é a possibilidade de realizar a coleta de material vegetativo sem necessitar o corte da matriz, e assim manter a conservação genética dessas árvores superiores. Crescentes estudos tem sido feitos para aprimoramento dessas técnicas que podem reverter árvores adultas à juvenilidade, entendimento das condições que favorecem a promoção e posteriormente o enraizamento dos brotos resgatados (Almeida *et al.*, 2007; Baccarin *et al.*, 2012; 2015; Wendling; Trueman; Xavier, 2014; Oliveira *et al.*, 2015).

Aliado ao resgate, a micropropagação é uma técnica avançada que utiliza as ferramentas da culturas de tecidos para produzir um grande número de mudas geneticamente idênticas em condições controladas de ambiente, nutrientes e fitopatógenos. As vantagens incluem a uniformidade genética e a produção em larga escala, mas as desvantagens estão associadas aos custos elevados e à necessidade de infraestrutura e mão de obra especializada (Brondani *et al.*, 2009; Oliveira *et al.*, 2015; Trueman; Hung; Wendling, 2018; Sharma *et al.*, 2023). Desta maneira, através dessas técnicas é possível realizar o rejuvenescimento *in vitro* de tecidos ou órgãos vegetativos coletados, proporcionando a clonagem de árvores adultas geneticamente superiores (Oliveira *et al.*, 2015; Avelar *et al.*, 2020).

Os avanços na propagação clonal de eucaliptos têm sido crescentes nos últimos anos e prometem benefícios significativos para a silvicultura. Seja através de métodos tradicionais como a estaquia e a enxertia, ou por meio de ferramentas biotecnológicas, como o caso da cultura de tecidos associada ao resgate vegetativo,

todas são valiosas para que seja possível a propagação clonal das espécies de eucalipto de alto valor genético (Avelar *et al.*, 2020; Sharma *et al.*, 2023).

REFERÊNCIAS

- AVELAR, M. L. M. *et al.* *In vitro* establishment of *Eucalyptus* and *Corymbia* species from epicormic shoots. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 44, 2020.
- BACCARIN, F.; BRONDANI, G. E.; VIEIRA, I. G.; ALMEIDA, M. Resgate, conservação e clonagem de matrizes de *Eucalyptus benthamii* Maiden & Cambage. **Ciencia & Investigación Forestal**, Santiago, v. 18, n. 2, p. 7–20, 2012.
- BACCARIN, F. J. B.; BRONDANI, G. E.; ALMEIDA, L. V. *et al.* Vegetative rescue and cloning of *Eucalyptus benthamii* selected adult trees. **New Forests**, Dordrecht, v. 46, p. 465–483, 2015.
- BELTRAME, R.; ZANATTA, P.; DELUCIS, R. A.; LAZAROTTO, M.; ACOSTA, A. P.; HASELEIN, C. R.; BISOGNIN, D. A. Selection of *Eucalyptus* hybrid clones planted in Brazil for growth and wood quality. **J Indian Acad Wood Sci**, New Delhi, v. 20, p. 191–196, 2023.
- BISON, O., RAMALHO, M. A. P., REZENDE, G. D. S. P., AGUIAR, A. M., & RESENDE, M. D. V. DE. Combining ability of elite clones of *Eucalyptus grandis* and *Eucalyptus urophylla* with *Eucalyptus globulus*. **Genetics and Molecular Biology**, Ribeirão Preto, v. 30, n. 2, p. 417–422, 2007.
- BRONDANI, G. E.; DUTRA, L. F.; GROSSI, F. *et al.* Establishment, multiplication and elongation *in vitro* of *Eucalyptus benthamii* Maiden & Cambage × *Eucalyptus dunnii* Maiden. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 33, n. 1, p. 11–19, 2009.
- CASTRO, C. A. O.; RESENDE, R. T.; BHERING, L. L.; CRUZ, C. D. Brief history of *Eucalyptus* breeding in Brasil under perspective of biometric advances. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 46, n. 9, p.1585-1593, 2016.
- CRUZ, J. L.; LOPES, C. R.; SOUZA, L. R. S.; CHAHAD, A. P.; RIBEIRO, L. A. Expansão da silvicultura do eucalipto em áreas do Cerrado: fatores condicionantes e implicações Econômicas, sociais e ambientais. **Revista Mirante**, [s. l.], v. 16, n. 1, p. 241-262, jun. 2023.
- FURLAN, R. A.; MORAES, C.B.; TAMBARUSSI, E. V. Genetic parameters of *Eucalyptus spp.* clones in northeastern Brazil. **Floresta**, Curitiba, v. 50, n. 2, p. 1267-1278, 2020.
- GARCIA, C. C. **Avaliação de modelos preditivos de seleção genômica ampla em testes de progênie e testes clonais de Eucalyptus**. 2016. 69 f. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Universidade de São Paulo – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, 2016.
- GUERINO, R. M. G.; MORAIS, I. L.; SANTOS, A. B. S.; CAMPOS, R. M. Expansão e impactos socioambientais da cultura de *Eucalyptus spp.* (Myrtaceae) no Brasil: um panorama da literatura. **Research, Society and Development**, Itabira, MG, v. 11, n. 3, 2022.

HARTMANN, H. T.; KESTER, D. E.; DAVIES JUNIOR, F. T.; GENEVE, R. L. **Plant propagation: principles and practices**. 8. ed. São Paulo: Prentice-Hall, 2011.

INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES - IBÁ. **Relatório IBÁ 2023**. [S. l]: 2023. 88 p. Disponível em: <https://iba.org/datafiles/publicacoes/relatorios/relatorio-anual-iba2023-r.pdf> Acesso: 01 nov. 2023.

KANO, N. K.; GONÇALVES, J. C.; KAGEYAMA, P. Y.; JACOB, W. S. **Situação da produção de sementes florestais no Brasil**. Piracicaba: IPEF, 1979. (Circular Técnica, 48).

LIMA, M. S.; ARAÚJO, M. M.; BERGHETTI, A. L. P. *et al.* Mini-cutting technique application in *Corymbia* and *Eucalyptus*: effects of mini-tunnel use across seasons of the year. **New Forests**, Dordrecht, v. 53, p. 161–179, 2021.

MENDONÇA, E.G., BATISTA, T.R., STEIN, V.C. *et al.* *In vitro* serial subculture to improve rooting of *Eucalyptus urophylla*. **New Forests**, Dordrecht, v. 51, p. 801–816. 2020.

MEUWISSEN, T. H.; HAYES, B. J.; GODDARD, M. E. Prediction of total genetic value using genome-wide dense marker maps. **Genetics**, Cary, v. 157, p. 1819–1829, 2001.

MIRANDA, A. C.; MORAES, M. L. T. de; SILVA, P. H. M.; SEBBENN, A. M. Genetic gain in the selection by multi-effects index in open-pollinated progenies of *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 43, n. 105, 2015.

MIRANDA, T. L. R.; RESENDE, M. D. V.; AZEVEDO, C. F.; NUNES, A. C. P.; TAKAHASHI, E. K.; SIMIQUELI, G. F.; SILVA, F. F. E. ; ALVES, R. S. Evaluation of a new additive-dominance genomic model and implications for quantitative genetics and genomic selection. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 79, n. 6, 2022.

OLIVEIRA JUNIOR, J. C. **Seleção precoce, otimização de ganhos e diversidade genética em progênies de *Eucalyptus urophylla***. 2022. 87 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" Faculdade de Engenharia, Ilha Solteira, 2022.

OLIVEIRA, L. S.; BRONDANI, G. E.; BATAGIN-PIOTTO, K. D.; CALSAVARA, R.; GONÇALVES, A. N.; ALMEIDA, M. Micropropagation of *Eucalyptus cloeziana* mature trees. **Australian Forestry**, Melbourne, v. 78, n. 4, p. 219-31, 2015.

OLIVEIRA, L. S.; BRONDANI, G. E.; BATAGIN-PIOTTO, K. D.; CALSAVARA, R.; GONÇALVES, A. N.; ALMEIDA, M. Micropropagation of *Eucalyptus cloeziana* mature trees. **Australian Forestry**, Melbourne, v. 78, n. 4, p. 219-31, 2015.

OLIVEIRA, R. S.; RIBEIRO, C. V. G.; NERES, D. F.; PORTO, A. C. M.; RIBEIRO, D.; SIQUEIRA, L.; ZAUZA, E. Â. V.; COELHO, A. S. G.; REIS, C. A. F.; ALFENAS, A. C.; NOVAES, E. Evaluation of genetic parameters and clonal selection of *Eucalyptus* in the Cerrado region. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, Vicosa, MG, v. 20, n. 3, 2020.

PIANA, C. F. B.; ANTUNES, I. F.; SILVA, J. G. C.; SILVEIRA, E. P. Adaptabilidade e estabilidade do rendimento de grãos de genótipos de feijão. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 34, n. 4, p. 553-564, 1999.

PUPIN, S.; SANTOS, A.V.A.; ZARUMA, D.U.G.; MIRANDA, A.C.; SILVA, P.H.M.; MARINA, C.L.; SEBBENN, A.M.; MORAES, M.L.T. Produtividade, estabilidade e adaptabilidade em progênies de polinização aberta de *Eucalyptus urophylla* S.T. Blake. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 43, n. 105, p. 127-134, 2015.

RESENDE, M. D. V.; LOPES, P. S.; SILVA, R. L.; PIRES, I. E. Seleção genômica ampla (GWS) e maximização da eficiência do melhoramento genético. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, n. 56, p. 63-77, 2008.

RESENDE, M. D. V.; SILVA, F. F.; LOPES, P. S.; AZEVEDO, C. F. **Seleção genômica ampla (GWS) via modelos mistos (REML/BLUP), inferência Bayesiana (MCMC), regressão aleatória multivariada (RRM) e estatística espacial**. Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa, 2012. 291 p.

ROSADO, A. M., ROSADO, T. B., RESENDE JÚNIOR, M. F. R., BHERING, L. L., & CRUZ, C. D. Ganhos genéticos preditos por diferentes métodos de seleção em progênies de *Eucalyptus urophylla*. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 44, n. 12, 1653–1659, 2009.

SHARMA, V.; ANKITA; KARNWAL, A.; SHARMA, S.; KAMAL, B.; JADON, V. S.; GUPTA, S.; SIVANASEN, I. A comprehensive review uncovering the challenges and advancements in the *in vitro* propagation of *Eucalyptus* plantations. **Plants**, Basel, v. 12, n. 17, p. 3018, 2023.

SILVA, P. H. M.; ARAUJO, M. J.; LEE, D. J. *et al.* Adaptability and stability of novel eucalypt species and provenances across environments in Brazil at two assessment. **New Forests**, Dordrecht, v. 53, 779–796, 2022.

SILVA, W. M. **Redes neurais artificiais como ferramenta para prognose de crescimento e melhoramento genético florestal**. 2019. 75 f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal, 2019.

TRUEMAN, S. J.; HUNG, C. D.; WENDLING, I. Tissue culture of *Corymbia* and *Eucalyptus*. **Forests**, Basel, v. 9, n. 2, p. 1-42, 2018.

WENDLING, I.; TRUEMAN, S. J.; XAVIER, A. Maturation and related aspects in clonal forestry – Part I: concepts, regulation and consequences of phase change. **New Forests**, Dordrecht, v. 45, n. 4, p. 449-471, 2014.

WENG, q.; HE, X.; LI, F.; LI, M.; YU, X.; SHI, J.; GAN, S. Hybridizing ability and heterosis between *Eucalyptus urophylla* and *E. tereticornis* for growth and wood density over two environments. **Silvae Genetica**, Warsaw, v. 63-1/2, p. 15-24, 2014.

ZULIAN, D. F. **Estratégias para produção de sementes melhoradas de Myracrodruon urundeuva e Eucalyptus grandis na região leste do Mato Grosso do Sul**. 2013. 90 f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira-FEIS, Universidade Estadual Paulista - UNESP, Ilha Solteira, 2021.

3 CAPÍTULO 1 – ESTRATÉGIAS DE RESGATE VEGETATIVO DE *Eucalyptus urophylla* DE DIFERENTES IDADES

RESUMO

Eucalyptus urophylla é uma das espécies mais exploradas pelas indústrias florestais do mundo. Os estudos acerca da propagação desta espécie tem sido cada vez mais explorado, porém ainda é necessário aprimorar as estratégias de resgate e propagação vegetativa para que não ocorra o desbaste dos indivíduos que possuem alto valor genético e adaptáveis as atuais condições climáticas, mantendo-os ativos nos programas de melhoramento. O objetivo deste trabalho foi avaliar duas estratégias de resgate vegetativo para indivíduos de *Eucalyptus urophylla* com idades diferentes e promover o estabelecimento *in vitro*. Para tanto, realizou-se as seguintes etapas: 1. Seleção dos 25 melhores indivíduos de três populações com idades diferentes (28, 11 e 4 anos); 2. Resgate vegetativo por meio de duas estratégias, galhos da copa e ramos foliares e 3. Introdução e estabelecimento *in vitro* dos brotos para obtenção de propágulos juvenis. Avaliou-se na etapa de resgate vegetativo a porcentagem de indivíduos de cada população que foram responsivos a emissão de brotos por cada estratégia de resgate, o número médio de brotos emitidos e o dia de coleta após o resgate em que foi maior o rendimento de brotos em cada estratégia de resgate e idade dos indivíduos. Na etapa de introdução *in vitro* foi avaliado a porcentagem média de contaminação e oxidação dos tecidos e a porcentagem de brotos responsivos após 35 dias. Não houve diferenças estatísticas quanto a porcentagem de indivíduos que foram reponsivos a emissão de brotos em cada idade e estratégia de resgate. O número médio de brotos foi melhor por meio da estratégia de galhos da copa para todas as idades. O diâmetro das galhos da copa não influenciou na quantidade de brotos. O melhor rendimento de brotos pela estratégia de galhos da copa ocorreu aos 21 dias e pela estratégia de ramos foliares aos 46 dias, para ambas as idades. As menores porcentagens de contaminação e oxidação *in vitro*, e as maiores de brotos responsivos ocorreram pela estratégia de galhos da copa. Concluiu-se que para cada população de *Eucalyptus urophylla* com idade de 28, 11 e 4 anos as respostas as estratégias de resgate vegetativo se diferenciaram em alguns aspectos, porém apresentaram os melhores resultados quando utilizado a estratégia de galhos da copa (brotos epicórmicos).

Palavras-chave: brotos epicórmicos; micropropagação; propagação vegetativa.

3.1 INTRODUÇÃO

Várias espécies do gênero *Eucalyptus* estão sendo amplamente estudadas para serem cultivadas em diferentes regiões tropicais e subtropicais do mundo, e dessa maneira conseguir atender à crescente demanda global por biomassa e produtos de matéria-prima renováveis (Lima *et al.*, 2021). Entretanto, a expansão das plantações deste gênero tem ficado cada vez mais limitada, devido a uma série de fatores como as condições de solo escassos nutricionalmente, mudanças climáticas, períodos longos de estiagem e uso de genótipos que não estão adaptados as diferentes regiões de cultivo (Esposito-Polesi *et al.*, 2020).

Diante disso, o *Eucalyptus urophylla* S.T. Blake (pertencente à família botânica Myrtaceae) tornou-se uma das espécies chaves e mais promissoras para o setor florestal no Brasil e do mundo (Silva *et al.*, 2017), em função de suas características favoráveis de desenvolvimento, como altas taxas de crescimento, boa capacidade de rebrota e rusticidade, densidade básica da madeira adequada para diversas finalidades, resistência a ferrugem e murcha do eucalipto, doenças causada por *Puccinia psidii*, ampla aptidão climática, tolerância à deficiência hídrica, entre outras características (Flores *et al.*, 2016; Pupin *et al.*, 2019). Além disso, a espécie é adequada tanto para as indústrias de produção de celulose e papel, como para produção de carvão vegetal, fazendo com que o Brasil se mantenha líder no *ranking* de produtividade florestal (Indústria Brasileira de Árvores - IBÁ, 2023), mesmo diante às condições edafoclimáticas cada vez mais desfavoráveis para os plantios florestais (Lima *et al.*, 2021).

Para a formação de florestas geneticamente superiores que sejam homogêneas, com altas taxas de produtividade e qualidade da matéria-prima, que sejam adaptáveis as condições climáticas cada vez mais severas e que disponha de resistência e/ou tolerância as pragas e doenças (Baccarin *et al.*, 2015), os programas de melhoramento genético de empresas e instituições de pesquisas de base florestal têm investido cada vez mais no aprimoramento de técnicas de propagação vegetativa e clonagem de populações de raça local e que possuem uma grande diversidade genética, com o intuito de explorar melhor a base genética por vários ciclos de reprodução, e ainda garantir a conservação dos recursos genéticos dessas árvores, evitando o desbaste das mesmas (Barbará; Neri; Salgueiro, 2018; Lima *et al.*, 2021).

Com essa finalidade de propagar e ao mesmo tempo conservar materiais de alto potencial genético e fenótipos mais produtivos, as estratégias de resgate vegetativo tem sido amplamente adotadas (Lima *et al.*, 2021). O processo de resgate de árvores superiores é a etapa inicial da clonagem, onde é possível obter brotações de qualquer parte da planta e realizar o rejuvenescimento dos mesmos. Contudo, o sucesso da estratégia de resgate depende de vários fatores como a origem de coleta dos brotos, a idade fisiológica da árvore, a época do ano a ser realizada a coleta, além do próprio genótipo apresentar aptidão à propagação vegetativa (Baccarin *et al.*, 2015; 2017).

Aliado ao resgate vegetativo, a clonagem por meio da técnica de micropropagação tem sido cada vez mais assertiva para as espécies e híbridos de eucalipto, por se tratar de um método que utiliza qualquer parte da planta como fonte de explante, realiza o rejuvenescimento dos tecidos adultos, e pode melhorar os níveis de enraizamento adventício de indivíduos recalcitrantes ou com maturidade fisiológica avançada (Brondani *et al.*, 2009; Esposito-Polesi *et al.*, 2020).

Diversas estratégias são estudadas para o resgate de árvores adultas de eucalipto, porém os autores recomendam aquelas onde se obtém brotos de origem epicórmica, axilares, de anelamento ou por processo de cultura de tecidos (Baccarin *et al.*, 2015; 2017; Avelar *et al.*, 2020; Lima *et al.*, 2021). No entanto, vários fatores também podem determinar o sucesso da melhor estratégia para o resgate e clonagem de árvores adultas, como a idade ontogenética dos genótipos, a época do ano de indução das brotações, a origem dos propágulos, características fenotípicas e genéticas do indivíduo, as condições de cultivo *in vitro*, como tipo de meio de cultura, concentrações de açúcar, pH, procedimento de desinfestação, entre outros fatores (Hartmann *et al.*, 2011; Trueman *et al.*, 2018; Avelar *et al.*, 2020).

Diante do que foi exposto, o objetivo deste trabalho foi desenvolver uma metodologia de clonagem para indivíduos geneticamente selecionados de *Eucalyptus urophylla* procedentes de populações com idades diferentes, por meio da aplicação de estratégias de resgate vegetativo associadas a micropropagação.

3.2 MATERIAL E MÉTODOS

3.2.1 Origem e seleção dos indivíduos superiores de *Eucalyptus urophylla*

Os indivíduos de *Eucalyptus urophylla* selecionados pertencem a três populações que estão instaladas na Fazenda de Ensino, Pesquisa e Extensão, da Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira (FEPE/FEIS/UNESP), localizada no município de Selvíria-MS (Tabela 1). As populações são:

i) Pomar de sementes por mudas, denominado de PSM-TP-EU, que antes do desbaste seletivo constituía um teste de progênes de polinização aberta (Souza, 2010; Souza *et al.*, 2011; Pupin, 2018; 2019);

ii) Teste de progênes de polinização aberta que integrava parte da rede experimental do Programa Cooperativo de Melhoramento Florestal, antes denominado de Programa Cooperativo de Populações Núcleo (PCPN-TP-EU), idealizado pelo Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais – IPEF (Pupin, 2014; Pupin *et al.*, 2015);

iii) Teste de progênes de segunda geração, designado de TP2g-TP-EU, oriundo da coleta de sementes realizada em árvores matrizes do PSM-TP-EU (Pupin, 2018; Pupin *et al.*, 2019).

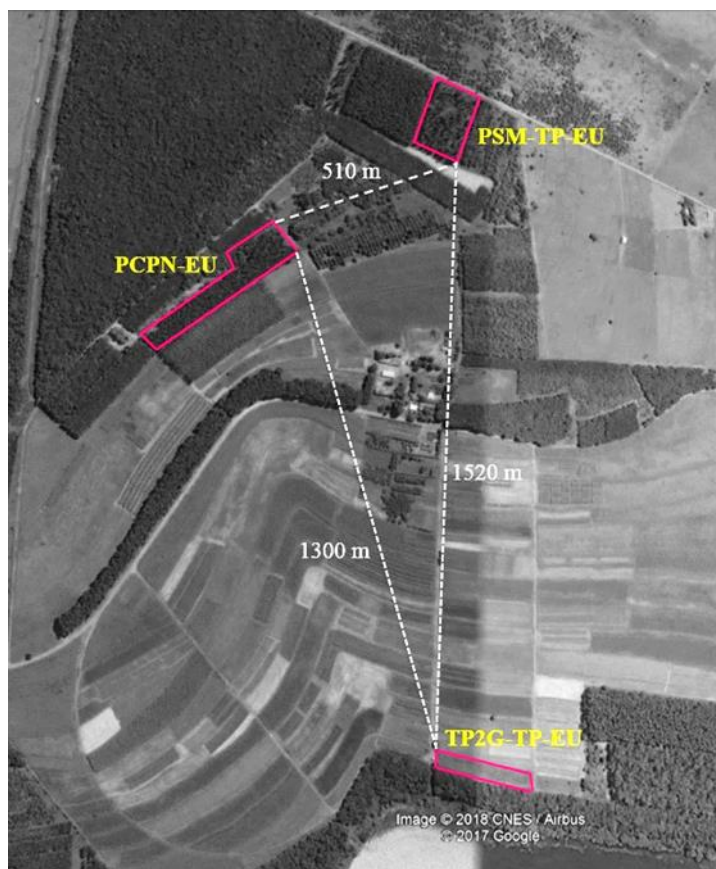
Tabela 1 – Caracterização das populações de *Eucalyptus urophylla* da FEPE/FEIS/UNESP, localizadas em Selvíria-MS.

INFORMAÇÕES	PSM-TP-EU	TP2g-TP-EU	TP-PCPN-EU
Data de Instalação	17/03/1992	05/10/2016	18/12/2009
Nº Progênes	55*	23	167 + 3 testemunhas
Delineamento	-	DBC	DBC
Repetições	-	30	5
Plantas/Parcela	-	1	5
Espaçamento	variável	1,5 × 3,0 m	2,5 × 3,0 m
Latitude	20°20'13" S	20°20'58" S	20° 20' 15,6" S
Longitude	51°24'13" O	51°24'04" O	51° 24' 26,4" O
Altitude	386 m	341 m	375 m

Nota: DBC: delineamento de blocos casualizados; *Número de progênes após o desbaste seletivo realizado em 2011. Fonte: Pupin (2018).

Essas populações fazem parte do Banco Ativo de Germoplasma de *Eucalyptus* (BAG-EUCA), da FEPE/FEIS/UNESP (Figura 1). O solo do local onde os experimentos estão instalados foi classificado como latossolo vermelho distrófico típico (Santos *et al.*, 2018) e o tipo climático como Aw, conforme a classificação de Köppen, com verão quente e chuvoso e inverno ameno e seco. O local onde os experimentos estão instalados é abrangido pela região Leste do sul-mato-grossense. A temperatura média anual é de 25,1°C e a precipitação média anual de 1296 mm (Flores *et al.*, 2016; Canal Clima Unesp FEIS, 2023).

Figura 1 – Localização das populações que constituem o Banco Ativo de Germoplasma de *Eucalyptus urophylla*, da FEPE/FEIS/UNESP, em Selvíria-MS.

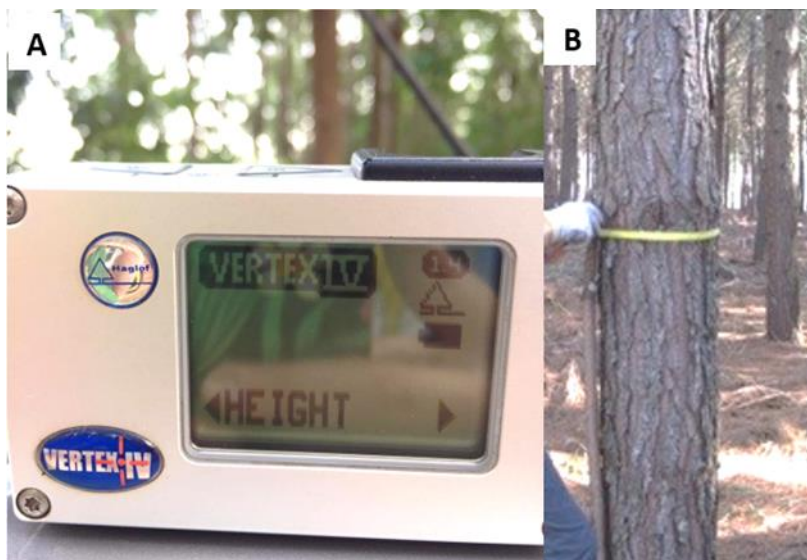


Fonte: Adaptado de Google Earth (2018).

Para a seleção dos melhores indivíduos de cada população foi realizado a mensuração dos caracteres quantitativos de todos os indivíduos. A altura total das árvores (ALT, m) foi realizada utilizando o hipsômetro *Forestor Vertex IV* composto por um emissor e um transponder (mantido a altura de 1,30 m do solo), e o diâmetro a altura do peito (DAP = CAP/π , cm) foi obtido por meio da aferição da circunferência

a altura do peito (CAP) com auxílio de uma fita métrica posicionada ao redor do fuste da árvore na altura de 1,30 m do solo (Figura 2).

Figura 2 – Aparelho hipsômetro Forestor Vertex IV (A) utilizado para mensurar a altura das árvores e fita métrica utilizada para aferir o CAP das árvores (B).



Fonte: Elaboração da própria autora.

Posteriormente as mensurações, as estimativas dos componentes de variância e parâmetros genéticos foram obtidas a partir da metodologia do modelo linear misto (aditivo univariado) - REML/BLUP (máxima verossimilhança restrita/melhor predição linear não viciada), empregando-se o programa genético-estatístico Selegen-REML/BLUP (Resende, 2016).

A partir das análises genéticas foram selecionados 75 indivíduos geneticamente superiores das três populações de *Eucalyptus urophylla* (25 árvores de cada população), para proceder com a aplicação de duas estratégias de resgate de propagação vegetativa.

3.2.2 Estratégias de resgate vegetativo

As estratégias de resgate vegetativo nos indivíduos selecionados nas populações com idades diferentes consistiram: estratégia 1, estabelecida por meio de galhos da copa (brotos epicórmicos); estratégia 2, por meio de ramos foliares (brotos axilares). Ambas as estratégias de resgate foram realizadas em dezembro de 2020 na estação da primavera-verão e para tanto contratou-se uma empresa especializada

(JLR Consultoria Ambiental) para realizar a escalada e coleta de galhos e ramos no terço mais baixo do dossel, devido a idade ontogenética ser mais jovem nesta posição das árvores.

I) Estratégia 1: galhos da copa

Na estratégia 1 de resgate, para cada indivíduo selecionado de cada população foi realizado a coleta de galhos do dossel e posteriormente padronizado em quatro galhos da copa com aproximadamente 50 cm de comprimento e diâmetros variando entre 5 a 15 cm, que após o corte foram identificadas, enroladas em pano tipo perfix umedecido, colocadas em sacos plásticos de 60 L e depois armazenadas em caixas de isopor contendo gelox, a fim de manter a umidade dos galhos e evitar a perda excessiva de água no transporte até o viveiro.

Posteriormente, a coleta e o adequado armazenamento, as galhos da copa foram transportadas por uma hora até as condições de viveiro de produção de mudas da Eldorado Brasil, localizado em Andradina-SP. As galhos da copa foram acondicionadas em casa de vegetação, sob condições de alta umidade e temperatura, posicionadas de forma vertical em vasos contendo areia e brita no fundo e mantidas por dois meses até o encerramento da emissão de brotos epicórmicos, sem nenhuma aplicação extra de nutrientes, apenas aplicou-se o fungicida Opera® (epoxyconazole+pyraclostrobin), semanalmente, na concentração de 1,5 ml L⁻¹ para o controle de microrganismos (Figura 3).

Figura 3 – Etapas realizadas na estratégia 1 de resgate vegetativo de *Eucalyptus urophylla* em Selvíria-MS, via brotos epicórmicos: seleção das árvores, coleta de galhos, padronização dos galhos da copa e acondicionamento em casa de vegetação do viveiro.

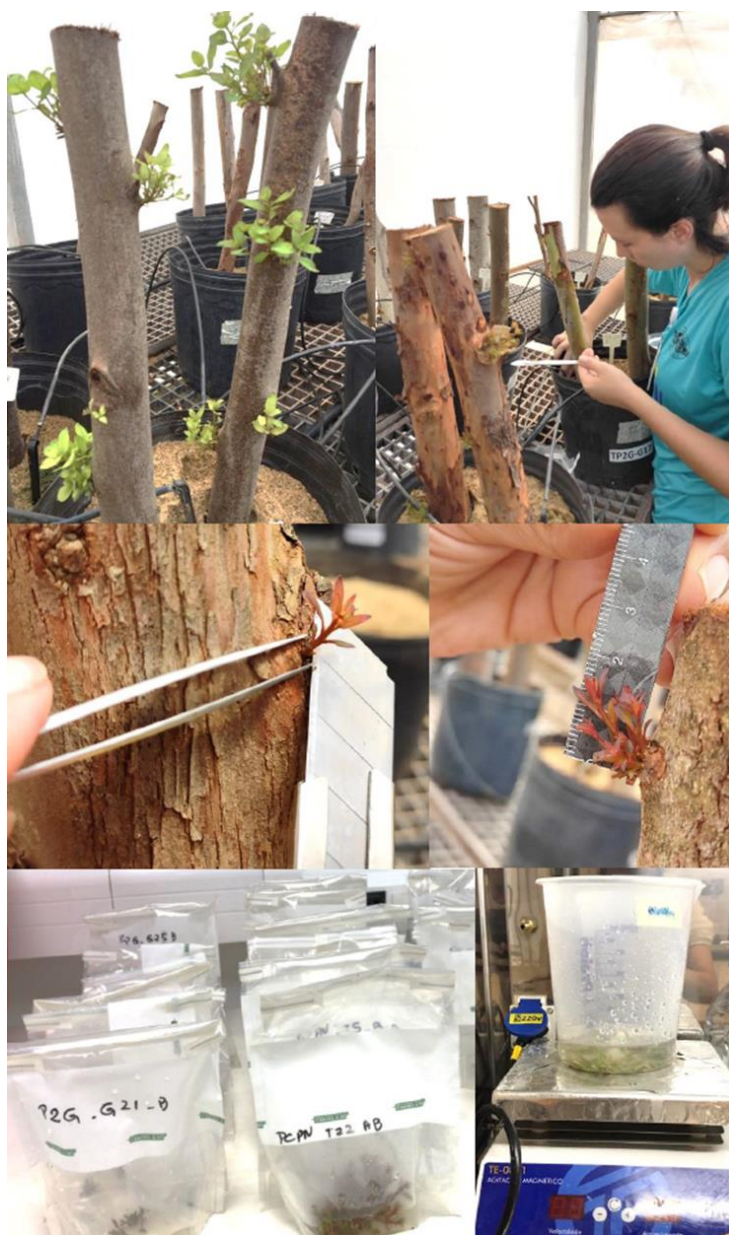


Fonte: Elaboração da própria autora.

Após o acondicionamento no viveiro em dezembro de 2020, realizou-se semanalmente o acompanhamento das emergências das brotações epicórmicas até meados de março, totalizando 3 meses.

Brotações acima de 3 cm de comprimento eram retiradas das galhos da copa com auxílio de um estilete ou lâmina de bisturi, armazenadas em sacos plásticos contendo água, a fim de evitar o ressecamento. Em seguida, as mesmas foram identificadas a qual indivíduo e população pertenciam (Figura 4).

Figura 4 – Coleta de brotos epicórmicos nas galhos da copa de *Eucalyptus urophylla*, armazenamento em sacos de amostras e assepsia em laboratório.



Fonte: Elaboração da própria autora.

Os brotos epicórmicos coletados foram transportados em caixas térmicas por uma hora até o laboratório do Instituto Senai de Inovação em Biomassa (ISI Biomassa), em Três Lagoas-MS, e em seguida realizado o protocolo de assepsia, que com base em um teste anterior realizado no laboratório notou-se que os tecidos dos brotos epicórmicos são mais frágeis, portanto o tempo de exposição aos reagentes foi reduzido e sem o uso de álcool 70%. Para tanto, utilizou-se as seguinte etapas do protocolo:

1. Preparo dos propágulos, retirando as folhas dos brotos coletados e lavagem em água corrente.
2. Em fluxo laminar, colocar os propágulos sob imersão e agitação na solução de biocida PolyBac 7D por 10 min. (Solução= 0,5 mL/L de biocida para 1 litro de água destilada autoclavada).
3. Lavagem por três vezes em água destilada autoclavada.
4. Imersão e agitação na solução de hipoclorito de sódio 50% (1-1,25% de cloro ativo) acrescido de 3 gotas de Tween[®] 20, durante 5 minutos.
5. Lavagem por três vezes em água destilada autoclavada.
6. Deixar os propágulos secando em placas de petri ou papel filtro.
7. Inocular verticalmente em tubos de ensaio contendo 10 mL de meio de cultura MS (Murashige e Skoog, 1962) sem regulador de crescimento.

O meio de cultura utilizado na introdução *in vitro* dessas fontes de propágulos foi composto por 4,43 g/L de sais MS (Murashige e Skoog, 1962), acrescido de 30 g de sacarose, 0,100 g/L de Mio-inositol, 0,800 g/L de PVP (polivinilpirrolidona), 2,5 g/L de Phytigel e 0,25 mg/L de biocida PolyBac 7D (fungicida biológico).

O valor do pH do meio foi ajustado para 5,8 com HCl (0,1 M) ou KOH (0,1 M) antes da adição do agente gelificante e, subsequentemente, autoclavado a uma temperatura de 121°C (1,0 kgf cm⁻²) por 20 minutos.

Após a inoculação, os brotos foram cultivados em sala de crescimento a uma temperatura de 25°C ($\pm$ 2°C), fotoperíodo de 16 horas e luminosidade de duas lâmpadas LED brancas frias de 20 μ mol m⁻² s⁻¹ cada por prateleira, até o surgimento dos propágulos.

II) Estratégia 2: ramos foliares

Na estratégia 2 de resgate foi realizada a coleta de ramos foliares no dossel dos indivíduos selecionados e em seguida identificados e armazenados em sacos plásticos de 60 L contendo pano tipo perfix umedecido com água, a fim de reduzir o estresse hídrico causado pela evapotranspiração e manter o turgor do tecido vegetal.

Posteriormente, os ramos foram guardados dentro de caixas de isopor com gelox e transportados por duas horas até as condições de laboratório, onde foram realizadas as assepsias e introdução do material *in vitro* (Figura 5).

Figura 5 – Escalada e coleta de ramos foliares no terço inferior do dossel das árvores de *Eucalyptus urophylla* em Selvíria-MS, selecionadas para o resgate vegetativo via brotos axilares.



Fonte: Elaboração da própria autora.

Após a coleta dos ramos foliares, os mesmos foram levados para o laboratório do ISI Biomassa onde foram submetidos ao protocolo de assepsia.

Primeiramente, os ramos foram lavados em água corrente, as folhas removidas e em seguida fragmentado em segmentos nodais de aproximadamente três a quatro cm, e utilizou-se aqueles que continha pelo menos uma gema axilar (Figura 6).

Figura 6 – Fragmentação dos ramos foliares de *Eucalyptus urophylla* em segmentos nodais.



Fonte: Elaboração da própria autora.

Depois do preparo dos segmentos nodais realizou-se o seguinte protocolo de assepsia:

1. Em fluxo laminar, colocar os propágulos sob imersão e agitação na solução de biocida PolyBac 7D por 15 min. (Solução= 0,5 mL/L de biocida para 1 litro de água destilada autoclavada).
2. Lavagem por três vezes em água destilada autoclavada.
3. Imersão no etanol 70% por no máximo 30 segundos e agitação constante.
4. Lavagem por três vezes em água destilada autoclavada.
5. Imersão e agitação na solução de hipoclorito de sódio (2-2,5% de cloro ativo) acrescido de 3 gotas de Tween® 20, durante 15 minutos.
6. Lavagem por três vezes em água destilada autoclavada.
7. Deixar os segmentos nodais secando em placas de petri ou papel filtro.
8. Inoculação dos segmentos nodais verticalmente em tubos de ensaio contendo 10 mL de meio de cultura MS (Murashige e Skoog, 1962) sem regulador de crescimento.

Foi inoculado um segmento nodal por tubo de ensaio, totalizando 40 repetições para cada indivíduo selecionado nas três populações (Figura 7).

O meio de cultura utilizado na introdução *in vitro* e as condições de ambiente de cultivo dessas fontes de propágulos (brotos axilares) foram as mesmas utilizadas na estratégia de galhos da copa, até o surgimento dos propágulos.

Figura 7 – Segmentos nodais inoculados em tubos de ensaio contendo meio de cultura e mantidos em sala de crescimento *in vitro*.



Fonte: Elaboração da própria autora.

3.2.3 Delineamento experimental e avaliações

Os ensaios experimentais de resgate vegetativo foram conduzidos em delineamento inteiramente casualizado, em esquema fatorial (2x3), com duas estratégias de resgate (galhos da copa e ramos foliares), três populações de idades diferentes (PSM-28, PCPN-11 e TP2g-4 anos) e 25 repetições cada (indivíduos de *Eucalyptus urophylla*).

Na estratégia de galhos da copa foram realizadas seis coletas de brotos epicórmicos, as quais ocorreram entre o meses de janeiro e fevereiro de 2021, sendo a coleta 1 aos 12 dias, coleta 2 aos 18 dias, coleta 3 aos 21 dias, coleta 4 aos 26 dias, coleta 5 aos 45 dias e coleta 6 aos 53 dias após a instalação do experimento.

Já na estratégia de ramos foliares foram realizadas oito coletas de brotos axilares, que ocorreram entre os meses de janeiro a junho de 2021, sendo a coleta 1 aos 25 dias, coleta 2 aos 46 dias, coleta 3 aos 69 dias, coleta 4 aos 79 dias, coleta 5 aos 95 dias, coleta 6 aos 134 dias, coleta 7 aos 162 dias e coleta 8 aos 212 dias após a instalação do experimento (AIE).

Após os períodos de coletas de brotos, avaliou-se: *i*) o número de indivíduos de *Eucalyptus urophylla* de cada população que emitiram brotos pelas duas estratégias; *ii*) a média de brotos emitidos pelos indivíduos em cada estratégia e em cada população e; *iii*) o tempo de coleta (dias) em que obteve o maior rendimento de brotos.

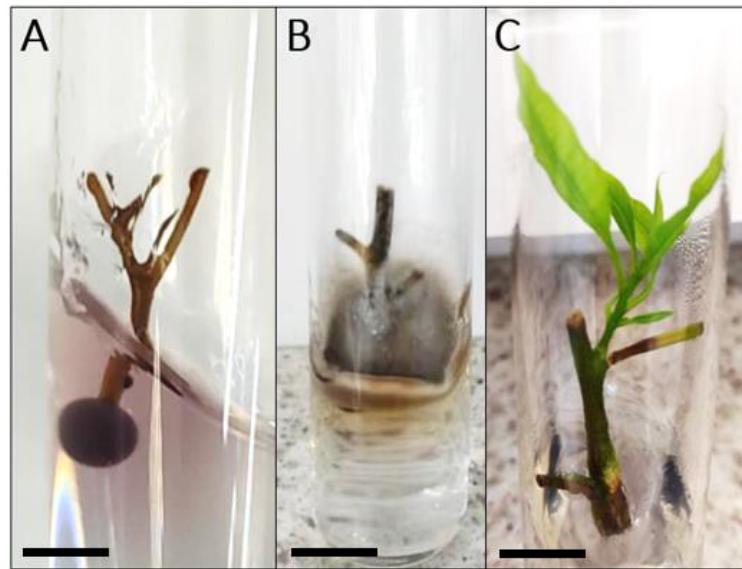
Além disso, foi avaliado a correlação das diferentes classes de diâmetros das galhos da copa coletadas com o número de brotações emitidas. Para tanto, mediu-se o diâmetro das duas extremidades e o diâmetro médio de cada galhos da copa, com auxílio de um paquímetro digital e fez-se uma média.

Em relação a assepsia e introdução *in vitro*, os ensaios experimentais foram realizados em delineamento inteiramente casualizado, em esquema fatorial (2x3), com duas estratégias de resgate (galhos da copa e ramos foliares), três populações de idades diferentes (PSM-28, PCPN-11 e TP2g-4 anos) e 40 repetições por indivíduos de *Eucalyptus urophylla*, onde cada repetição foi constituída por um broto ou segmento nodal em um tubo de ensaio.

Aos 35 dias após a inoculação *in vitro* das fontes de propágulos (brotos epicórmicos e brotos axilares) foram avaliadas as seguintes características: *i*) porcentagem média de contaminação fúngica e/ou bacteriana; *ii*) porcentagem média

de oxidação dos tecidos e; *iii*) porcentagem média de brotos responsivos, ou seja, que emitiram propágulos (Figura 8).

Figura 8 – Características avaliadas na etapa de introdução *in vitro*. A: Oxidação dos tecidos; B: Contaminação fúngica e/ou bacteriana; C: Brotos responsivos (com emissão de propágulo a partir da gema axilar). Barra= 1,0 cm.



Fonte: Elaboração da própria autora.

3.2.4 Análises estatísticas

As análises estatísticas foram realizadas no *software* R Core Team (2018), utilizando o pacote ExpDes, versão 1.1.2 (Ferreira *et al.*, 2013). Os dados foram submetidos à análise de variância e quando observada diferença entre os tratamentos pelo teste F, foi realizado o teste de Tukey, para comparação das médias ao nível de confiança de 95%.

3.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.3.1 Estratégias de resgate vegetativo

Os dados analisados em relação ao número de indivíduos de *Eucalyptus urophylla* de cada população que emitiram brotos pelas estratégias de resgate testadas não diferenciaram estatisticamente entre si (p valor= 0,35).

No entanto, os resultados demonstraram que para os indivíduos de 28 e 11 anos, a maior porcentagem de emissão de brotos ocorreu pela estratégia de ramos foliares (76%) e para os indivíduos de 4 anos ocorreu pela estratégia de galhos da copa (92%) (Tabela 2).

Tabela 2 – Número e porcentagem de indivíduos de *Eucalyptus urophylla* de populações com idades diferentes em Selvíria-MS, que emitiram brotos pela estratégia de galhos da copa e ramos foliares.

Estratégias de resgate	População de <i>Eucalyptus urophylla</i>		
	PSM	PCPN	TP2g
	28 anos	11 anos	4 anos
Galhos da copa*	15 (60%)	18 (72%)	23 (92%)
Ramos foliares**	19 (76%)	19 (76%)	19 (76%)
Soma	34,0	37,0	42,0

Nota: (*): brotos epicórmicos; (**): brotos axilares. Fonte: dados da pesquisa da autora.

Além disso, somado as duas estratégias de resgate, foi possível observar que a população de 4 anos foi a que apresentou o maior número de indivíduos de *Eucalyptus urophylla* responsivos a emissão de brotos, em comparação com as populações mais antigas (Tabela 2). Tal resultado provavelmente ocorreu devido a menor idade ontogenética dessas árvores.

Outros trabalhos semelhantes realizando o resgate de árvores adultas por meio de brotos epicórmicos e axilares corroboram com estes resultados, onde a indução de brotações variou de acordo com a estratégia utilizada, espécie e a idade da árvore matriz, como por exemplo árvores maduras de *Eucalyptus radiata* ssp. *radiata* (Chang; Donald; Jacobs, 1992); árvores de *Eucalyptus benthamii* aos 13 anos (Baccarin *et al.*, 2015); árvores de *Eucalyptus cloeziana* aos 26 anos (Oliveira *et al.*, 2015); árvores de

Eucalyptus microcorys F. Muell., *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden, *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh., *Eucalyptus cloeziana* F. Muell., *Eucalyptus pilularis* Smith, *Eucalyptus tereticornis* Smith, *Corymbia citriodora* (Hook.) KD Hill & LAS Johnson, *Corymbia maculata* (Hook.) KD Hill & LAS Johnson e *Corymbia torelliana* (F. Muell.) KD Hill & LAS Johnson, todas aos 44 anos de idade (Avelar *et al.*, 2020); árvores de *Bertholletia excelsa* Bonpl. aos 23 anos (Conceição *et al.*, 2020); árvores de *Eucalyptus benthamii* de 13 anos (Esposito-Polesi *et al.*, 2020); árvores de *Myrciaria dubia* (Kunth) McVaugh de 34 anos (Lima *et al.*, 2020); árvores de *Betula pendula* Roth. de 15 anos (Gailis *et al.*, 2021) e árvores de *Quercus ilex* com idades entre 30 e 100 anos (Martínez *et al.*, 2021).

A alta diversidade genética proveniente de plantas de origem seminal, como é o caso das populações do presente estudo (PSM, PCPN e TP2g), é outro fator importante que pode influenciar na promoção de brotações, independente da técnica de resgate vegetativo (Meason *et al.*, 2016; Nascimento *et al.*, 2018). As informações a cerca dos caracteres de crescimento, família genética e a posição do ordenamento de seleção dos indivíduos de *Eucalyptus urophylla* que emitiram brotações por cada uma das estratégias de resgate ou por ambas, encontram-se no Apêndice A1, A2 e A3.

Os resultados observados em relação ao número médio de brotações não tiveram diferenças estatísticas, porém as maiores médias de brotos foram observadas quando realizado o resgate por meio de galhos da copa, em ambas as idades dos indivíduos de *Eucalyptus urophylla* (Tabela 3).

Tabela 3 – Número médio de brotações de indivíduos de *Eucalyptus urophylla* com idades diferentes em Selvíria-MS, emergidas por meio da estratégia de resgate utilizando galhos da copa e ramos foliares.

Estratégia de resgate	População de <i>Eucalyptus urophylla</i>		
	PSM	PCPN	TP2g
	28 anos	11 anos	4 anos
Galhos da copa	16	14	13
Ramos foliares	14	12	12

Fonte: Dados da pesquisa da autora.

Esses resultados são consistentes com os relatados em outros estudos, onde para indivíduos de 44 anos de *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus pilularis* foi coletado 54 e 159 brotações, respectivamente, com a técnica de brotos epicórmicos (Avelar et al., 2020).

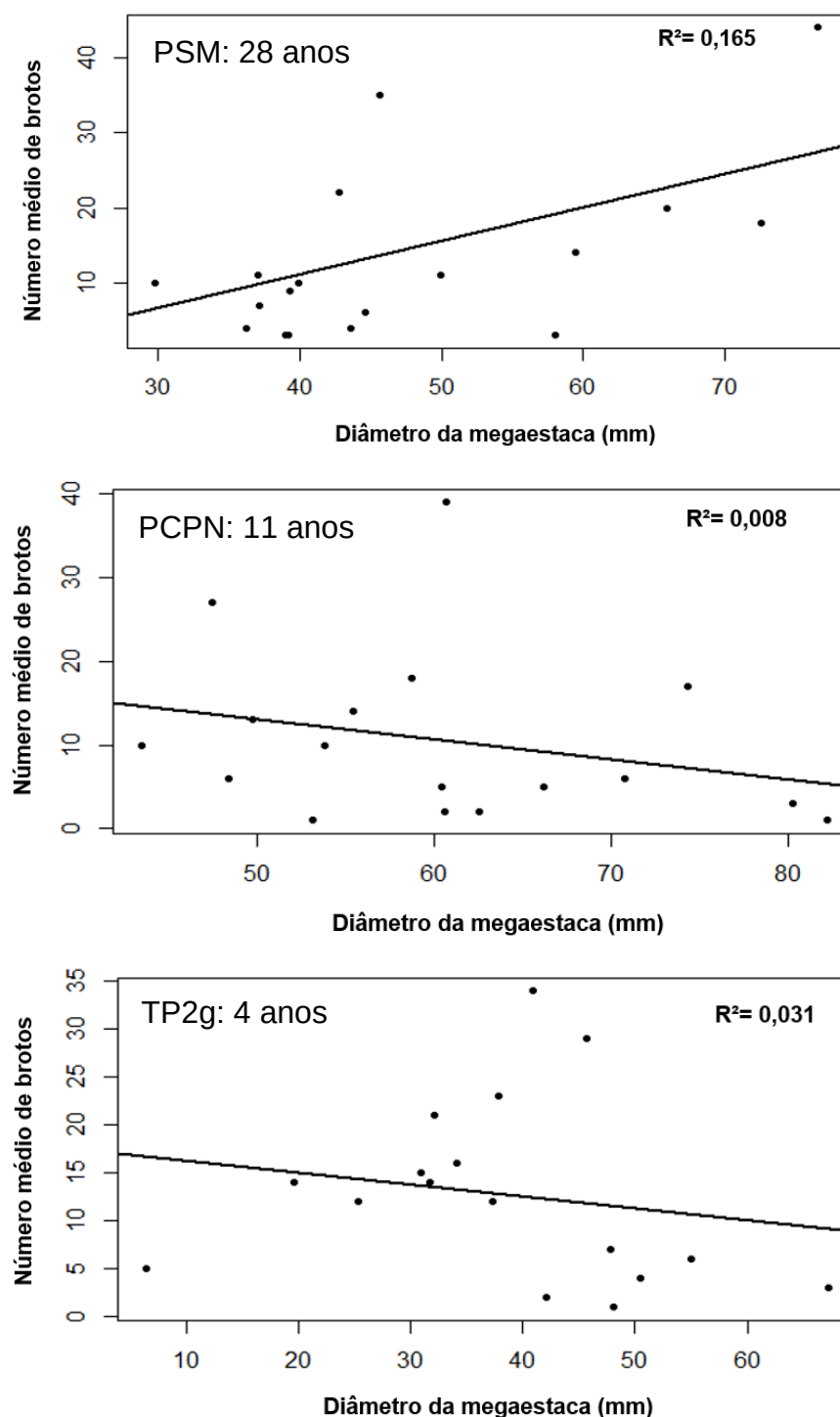
Outros autores também obtiveram resultados semelhantes para árvores adultas de espécies nativas como *Ilex paraguariensis* de 19 anos de idade (Wendling et al., 2013), *Eremanthus erythropappus* (DC.) MacLeish de aproximadamente 30 anos (Fonseca et al., 2021), árvores maduras de *Cordia trichotoma* (Vell.) Arrab. Ex Steud (Silva et al., 2021a) e árvores maduras de *Paratecoma peroba* (Silva et al., 2021b), onde observaram uma média acima de cinco brotações por indivíduo utilizando a mesma técnica.

Essas diferenças no rendimento de brotações ressalta a influência do vigor e da idade das árvores e as características genéticas de cada indivíduo na capacidade em responder as técnicas de propagação vegetativa (Wendling et al., 2014a).

Além disso, a indução de brotações epicórmicas pode ser realizada sob condições naturais, sem qualquer adubação ou tratamento específico que favoreça o desenvolvimento de gemas e brotos, utilizando para isso apenas as reservas nutricionais das galhos da copa coletadas (Wendling et al., 2014b; Fonseca et al., 2021).

Entretanto, as variadas classes de diâmetro das galhos da copa utilizadas neste estudo não tiveram correlação com número de brotos epicórmicos emitidos (Figura 9).

Figura 9 – Relação das variadas classes de diâmetro (mm) das galhos da copa com o número médio de brotações de indivíduos de *Eucalyptus urophylla* com idades diferentes, em Selvíria-MS.



Fonte: Dados da pesquisa da autora.

Para algumas classes de diâmetro não obtivemos coleta de galhos da copa, o que restringiu a compreensão da correlação entre o diâmetro do galho com a variável

número médio de brotos, isto por que com as diferentes idades das árvores alguns indivíduos não foi possível coletar galhos entre 5 a 15 cm de espessura.

Contudo, os dados demonstraram que para as populações de 28 e 4 anos de idade o maior rendimento médio de brotos se deu na classe de 4 a 6 centímetros de diâmetro. Já para a população de 11 anos ocorreu na classe de 6 a 8 centímetros (Tabela 4).

Tabela 4 – Relação das diferentes classes de diâmetro das galhos da copa com o número médio de brotações de indivíduos de *Eucalyptus urophylla* com idades diferentes.

Classe de diâmetro da galhos da copa (cm)	População de <i>Eucalyptus urophylla</i>		
	PSM 28 anos	PCPN 11 anos	TP2g 4 anos
0-2	-	-	9
2-4	10	-	13
4-6	22,6	10,9	13,8
6-8	14	23,6	5
> 8	-	4	-

Fonte: Dados da pesquisa da autora.

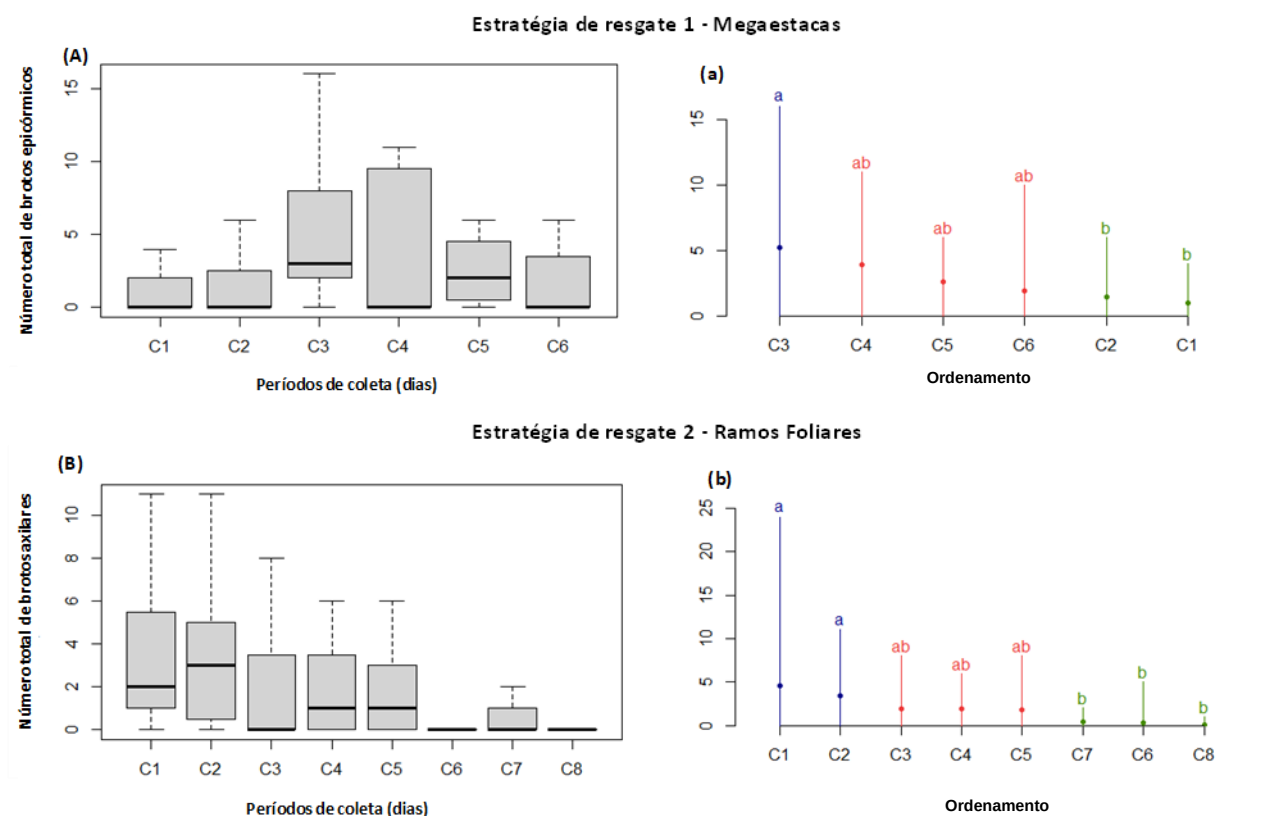
Estes resultados corroboram com Baccarin *et al.* (2012), os quais constataram para *Eucalyptus benthamii* Maiden & Cabbage que a correlação entre o diâmetro da galhos da copa e o número de brotos também não foram significativas, utilizando diâmetros que variaram de 1 a 2 cm. Por outro lado, os resultados observados por Oliveira (2014) em *Eucalyptus cloeziana* demonstraram que a indução de brotações variaram entre a classe de diâmetro de 2 a 8 cm aproximadamente, havendo maior número de brotos epicórmicos no diâmetro médio de 3,66 cm.

Estudos realizados com espécies lenhosas nativas demonstraram resultados similares aos do presente trabalho. Conceição, Ferreira e Lima (2020) observaram que ramos de maior diâmetro (20-40 e 40-80 mm) mostraram maior potencial para obtenção de propágulos para uso na multiplicação clonal de *Bertholletia excelsa* Bonpl (castanha-do-Brasil). Lima, Ferreira e Conceição (2020) observaram para *Myrciaria dubia* (camu-camu) que o número de brotações não apresentou efeito de interação significativo entre os fatores matriz e diâmetro da galhos da copa, porém o maior diâmetro (46 mm) apresentou resultados mais favoráveis.

Em relação aos períodos de coleta e o número total de brotos de cada estratégia de resgate, os resultados estatísticos foram significativos.

No PSM de *Eucalyptus urophylla* de 28 anos de idade, o melhor rendimento de brotos por meio da estratégia de galhos da copa ocorreu na terceira coleta, aos 21 dias após a instalação do experimento ($p \text{ valor} > 0,05$). Na estratégia de ramos foliares, o melhor rendimento de brotos se deu aos 25 e 46 dias, respectivamente, após a instalação do experimento ($p \text{ valor} < 0,05$) (Figura 10).

Figura 10 – Número total de brotos para indivíduos de *Eucalyptus urophylla* com 28 anos de idade, em função dos períodos de coleta na estratégia de resgate com galhos da copa (brotos epicórmicos), onde C1= 12 dias, C2=18 dias, C3= 21 dias, C4= 26 dias, C5= 45 dias e C6 53 dias; e na estratégia de resgate com ramos foliares (brotos axilares), onde C1= 25 dias, C2= 46 dias, C3= 69 dias, C4= 79 dias, C5= 95 dias, C6= 134 dias, C7= 162 dias e C8= 212 dias. (A)(B) Distribuição normal dos dados; (a)(b) Ordenamento entre os períodos de coleta com maior número de brotos.



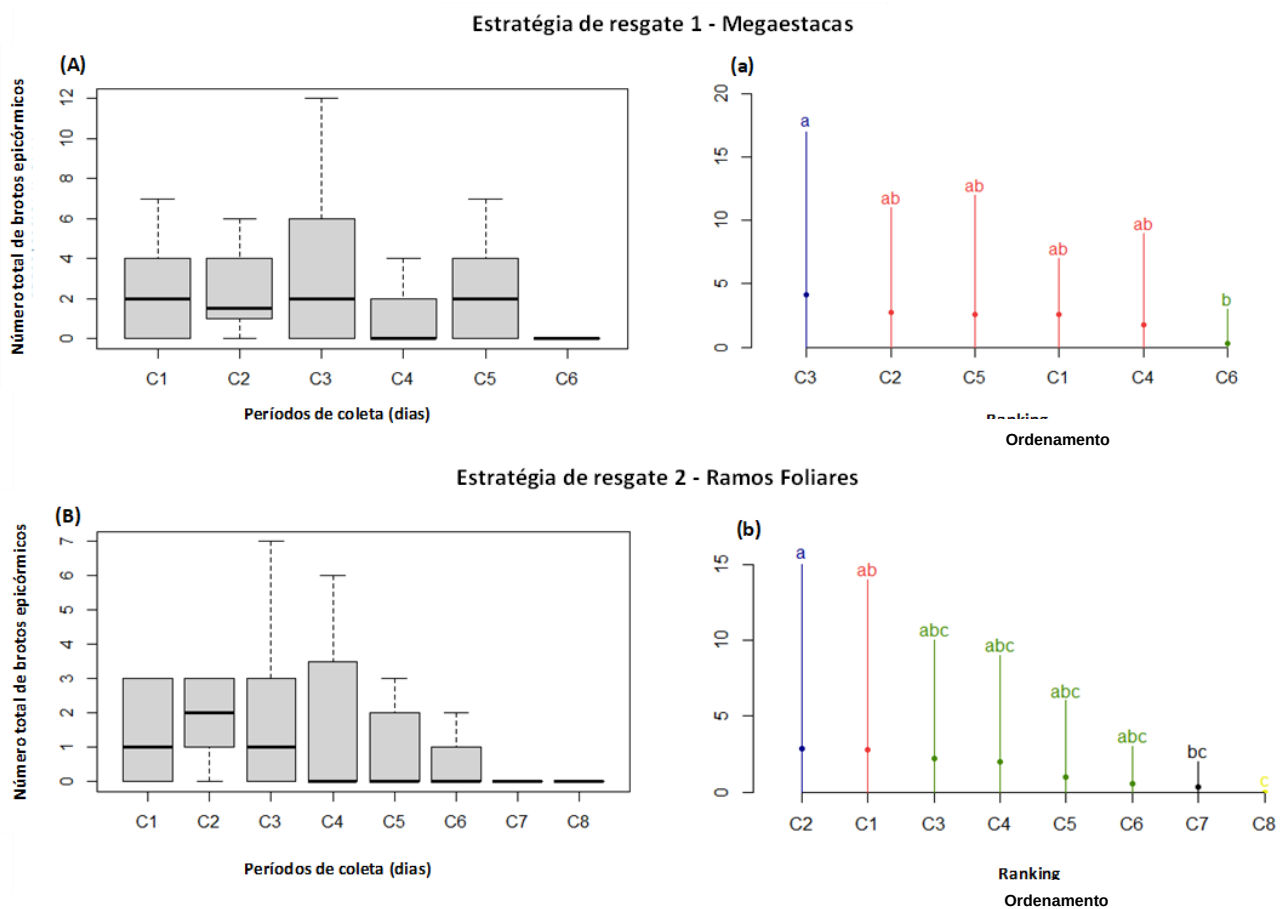
Fonte: Dados da pesquisa da autora.

Igualmente, para o PCPN de *Eucalyptus urophylla* aos 11 anos de idade, o melhor rendimento de brotos por meio da estratégia de galhos da copa ocorreu na terceira coleta, aos 21 dias após a instalação do experimento ($p \text{ valor} < 0,05$). E na

estratégia de ramos foliares, o melhor rendimento de brotos ocorreu na segunda coleta, aos 46 dias após a instalação do experimento (p valor $< 0,05$) (Figura 11).

Igualmente, para o PCPN de *Eucalyptus urophylla* aos 11 anos de idade, o melhor rendimento de brotos por meio da estratégia de galhos da copa ocorreu na terceira coleta, aos 21 dias após a instalação do experimento (p valor $< 0,05$). E na estratégia de ramos foliares, o melhor rendimento de brotos ocorreu na segunda coleta, aos 46 dias após a instalação do experimento (p valor $< 0,05$) (Figura 11).

Figura 11 – Número total de brotos para indivíduos de *Eucalyptus urophylla* com 11 anos de idade, em função dos períodos de coleta na estratégia de resgate com galhos da copa (brotos epicórmicos), onde C1= 12 dias, C2=18 dias, C3= 21 dias, C4= 26 dias, C5= 45 dias e C6 53 dias; e na estratégia de resgate com ramos foliares (brotos axilares), onde C1= 25 dias, C2= 46 dias, C3= 69 dias, C4= 79 dias, C5= 95 dias, C6= 134 dias, C7= 162 dias e C8= 212 dias(A)(B) Distribuição normal dos dados; (a)(b) Ordenamento entre os períodos de coleta com maior número de brotos.

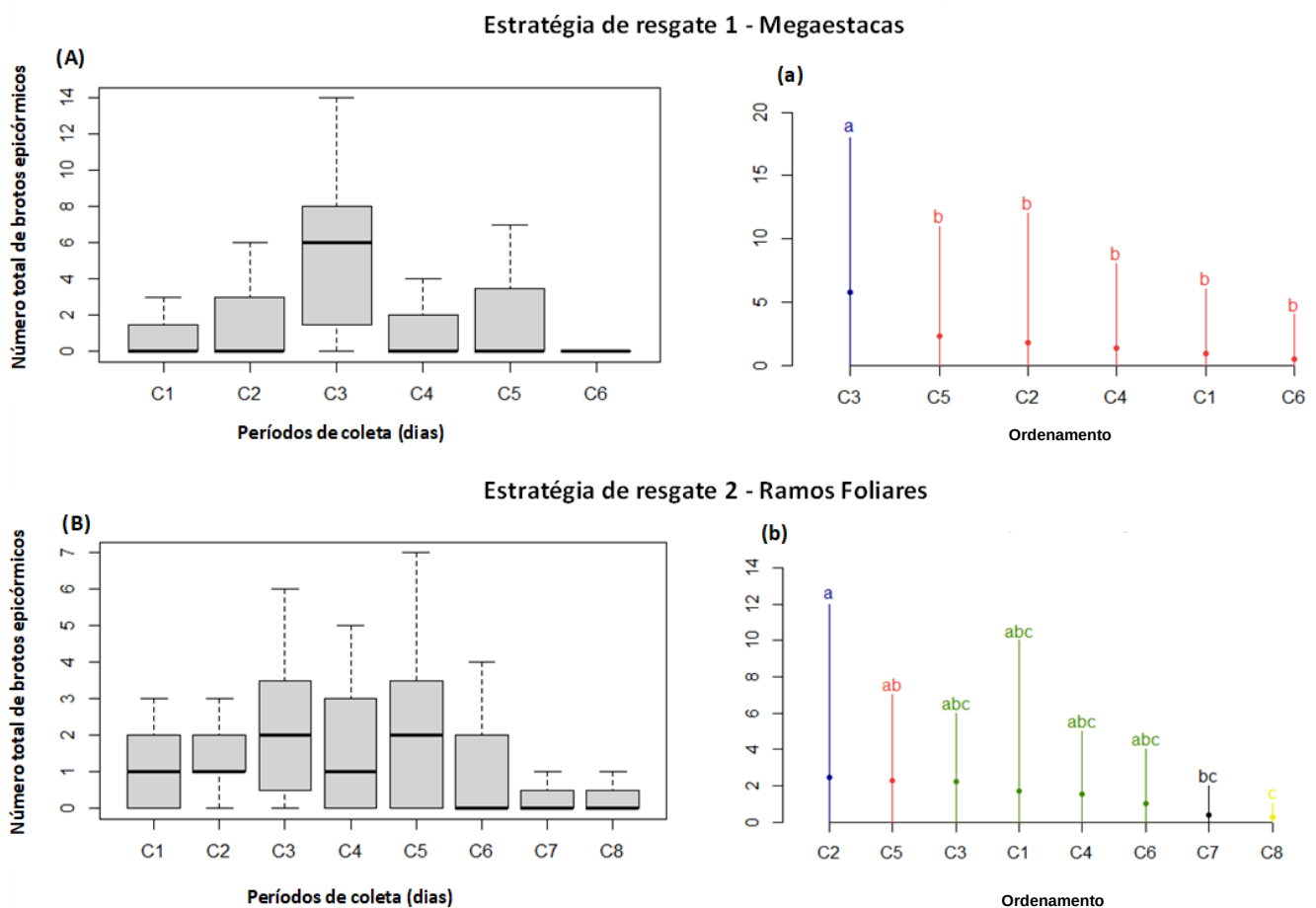


Fonte: Dados da pesquisa da autora.

Assim como os resultados anteriores, para o TP2g de *Eucalyptus urophylla* aos 4 anos de idade o melhor rendimento de brotos por meio da estratégia de galhos da

copa ocorreu na terceira coleta, aos 21 dias após a instalação do experimento (p valor= $6,87.10^{-8}>0,05$). E na estratégia de ramos foliares, o melhor rendimento de brotos ocorreu na segunda coleta, aos 46 dias após a instalação do experimento (p valor= $0,001>0,05$) (Figura 12).

Figura 12 – Número total de brotos para indivíduos de *Eucalyptus urophylla* com 4 anos de idade, em função dos períodos de coleta na estratégia de resgate com galhos da copa (brotos epicórmicos), onde C1= 12 dias, C2=18 dias, C3= 21 dias, C4= 26 dias, C5= 45 dias e C6 53 dias; e na estratégia de resgate com ramos foliares (brotos axilares), onde C1= 25 dias, C2= 46 dias, C3= 69 dias, C4= 79 dias, C5= 95 dias, C6= 134 dias, C7= 162 dias e C8= 212 dias.(A)(B) Distribuição normal dos dados; (a)(b) Ordenamento entre os períodos de coleta com maior número de brotos.



Fonte: Dados da pesquisa da autora.

Foi observado também para todas as idades estudadas que, o início das brotações epicórmicas aconteceram no 12º dia após a indução do experimento, tiveram um arranque aos 21 dias e decaiu após este período, sendo possível realizar coleta de brotos até 53 dias.

Com os brotos axilares ocorreu de maneira diferente, os brotos começaram a surgir e tiveram seu arranque entre 25 a 46 dias, com uma diminuição logo após este período, porém ainda foi possível realizar coletas até um pouco mais de 200 dias após instalação do experimento (AIE).

O menor período de dias com brotos sendo emitidos pelas megastecas, provavelmente ocorre devido a limitação na quantidade de reservas presentes nos galhos utilizados, pois não houve nenhuma aplicação extra de nutrientes e hormônios vegetais, apenas o controle das condições de umidade e temperatura para favorecer a promoção de brotações.

As condições de ambiente favoráveis e o desequilíbrio hormonal entre auxinas e citocininas endógenas que ocorre após realizar a poda dos galhos são os fatores que fazem surgir as brotações epicórmicas (Hartmann *et al.*, 2011).

Por outro lado, os períodos mais longos para coleta de brotos axilares ocorreu devido as condições de armazenamento desses brotos, os quais foram mantidos em meios de cultura contendo solução de nutrientes, carboidratos e vitaminas essenciais para formação de gemas e brotos, portanto, tendo uma reserva energética disponível por mais tempo.

Corroborando com essas observações, até os 30 dias de início do experimento, Avelar *et al.* (2020) observaram o melhor rendimento de brotos na coleta realizada aos 15 dias AIE em *Eucalyptus grandis*. Silva *et al.* (2021a) relataram que a coleta aos 30 dias AIE para *Cordia trichotoma* (Vell.) Arrab. Ex Steud mostrou-se em maior número.

Em contrapartida, a maioria dos trabalhos demonstram que é necessário um período mais longo de dias para alcançar o potencial máximo de emissão de brotos, até mesmo para o gênero *Eucalyptus*, como relatado por Avelar *et al.*, (2020) aos 45 dias em *Eucalyptus pilularis* e Almeida *et al.*, (2007) aos 40 dias em *Eucalyptus cloeziana*.

Para espécies florestais nativas essa tendência é ainda mais comum, como em *Paratecoma peroba* (90 dias), *Eucalyptus erythropappus* (189 dias), *Myrciaria dubia* (Kunth) McVaugh (60 dias) e *Bertholletia excelsa* (entre 35-45 dias) (Silva *et al.*, 2021b; Fonseca *et al.*, 2021; Lima *et al.*, 2020; Conceição *et al.*, 2020).

Diante disso, fica evidente que além da idade da planta e do genótipo selecionado para o resgate, o fator período em que realiza a coleta dos brotos após a

indução do experimento, podem alterar o potencial máximo de desenvolvimento de brotações (Wendling *et al.*, 2014a).

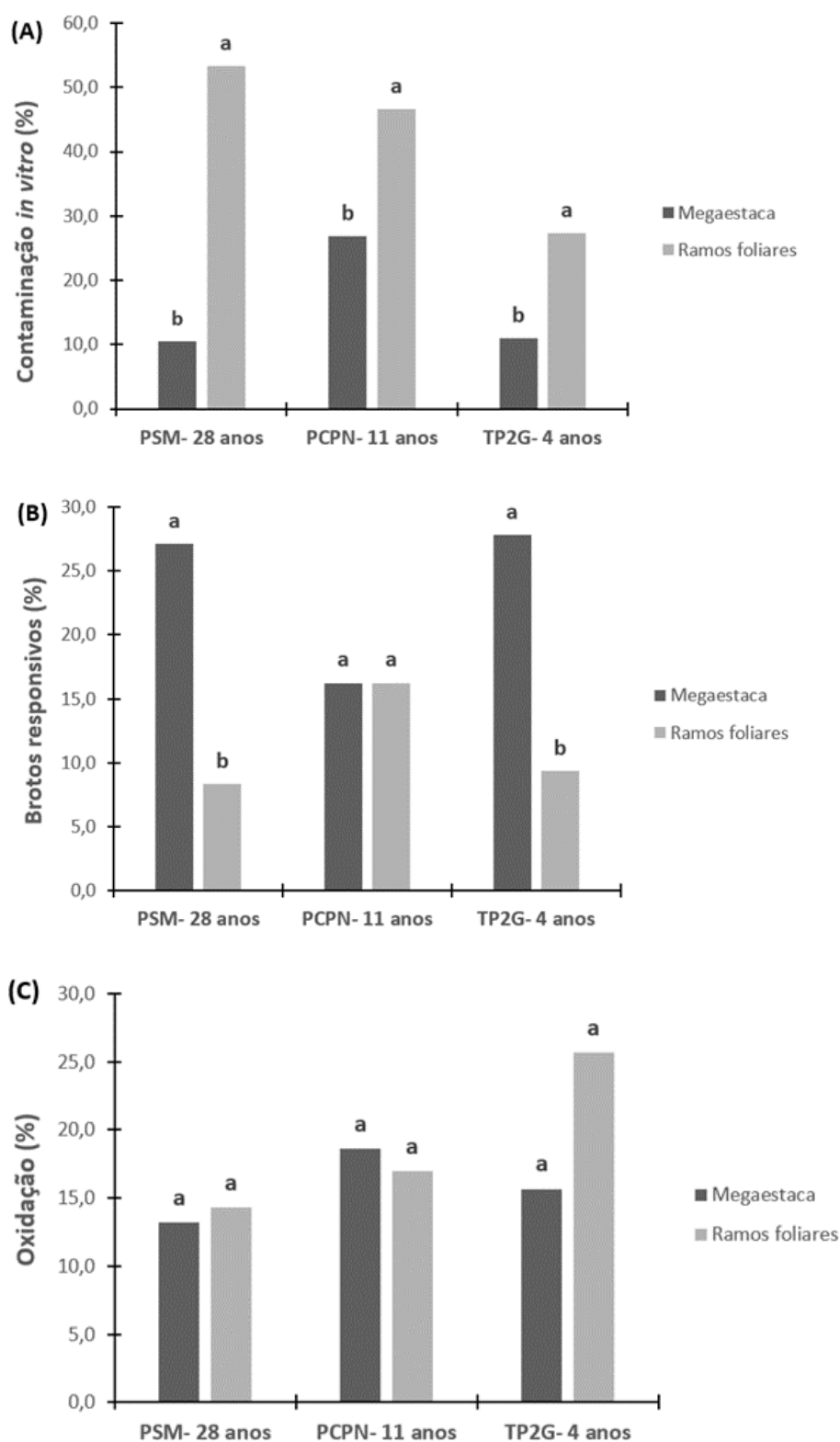
3.3.2 Introdução e estabelecimento *in vitro* das fontes de propágulos

Os resultados das avaliações realizadas aos 35 dias após a introdução *in vitro*, demonstraram diferenças significativas para a porcentagem de contaminação das fontes de propágulos (brotos epicórmicos e brotos axilares) de indivíduos de *Eucalyptus urophylla* com idade de 28, 11 e 4 anos, sendo as menores médias de contaminação observadas pela estratégia de resgate com galhos da copa, com 10,6%, 26,8% e 10,9%, para o PSM, PCPN e TP2g, respectivamente (Figura 13A).

Para as porcentagens de brotos responsivos, os dados apresentaram diferença estatística apenas para os indivíduos de *Eucalyptus urophylla* aos 28 e 4 anos de idade, sendo as maiores médias também observadas pela estratégia de galhos da copa, com 27,1% e 27,8% respectivamente (Figura 13B).

Por outro lado, as análises estatísticas para a porcentagem de oxidação dos tecidos das fontes de propágulos não foram significativas entre as estratégias estudadas e em cada população. Contudo, os resultados mostram uma menor taxa de oxidação dos indivíduos de 28 (13,2%) e 4 (15,7%) anos quando utilizado como fonte os brotos epicórmicos. Em contrapartida, para os *Eucalyptus urophylla* de 11 anos a menor taxa ocorreu por meio da fonte de brotos axilares (16,9%) (Figura 13C).

Figura 13 – Porcentagem de contaminação microbiana *in vitro* (A), brotos responsivos (B) e oxidação dos tecidos (C) 35 dias após a introdução *in vitro* das fontes de propágulos, brotos epicórmicos e axilares, de indivíduos de *Eucalyptus urophylla* com idades de 28, 11 e 4 anos. Médias seguidas com a mesma letra não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey à 5% de probabilidade de erro.



Fonte: Dados da pesquisa da autora.

O uso de brotações epicórmicas e axilares como fonte de explante para a propagação *in vitro* têm se tornado uma estratégia eficaz para várias espécies, incluindo as já citadas neste trabalho. Entretanto, para o sucesso do estabelecimento *in vitro*, as taxas de contaminação por microrganismos e de oxidação dos tecidos dos brotos devem ser reduzidas (Baccarin *et al.*, 2015).

Assim, os resultados obtidos para a contaminação *in vitro* corroboram com os encontrados por Baccarin *et al.*, (2015), que obtiveram uma média de 19,9% de contaminações fúngicas com fontes epicórmicas de *Eucalyptus benthamii*, contra 75,6% com fontes de propágulos oriundos de ramos foliares (brotos axilares).

O fato das galhos da copa serem mantidas em casa de vegetação até a emergência dos brotos epicórmicos permite um maior controle fitossanitário sobre esses propágulos, diferente do que ocorre com as fontes de brotos axilares, onde os ramos foliares são retirados diretamente do campo e os tecidos expostos a todos os tipos de fitopatógenos, tornando a etapa de assepsia antes da introdução *in vitro* ainda mais exigente, devido ao aumento dos níveis de agentes desinfestantes, o que pode acarretar em perdas significativas de fontes de explantes, como ocorreu neste estudo (Brondani *et al.*, 2009; Baccarin *et al.*, 2015).

Em relação a oxidação das fontes de propágulos, os percentuais médios encontrados neste estudo foram considerados altos para as fontes de brotos epicórmicos (15,8%), podendo ser este um dos principais fatores limitantes para a estabelecimento *in vitro* das fontes de propágulos, quando comparado com os resultados de Baccarin *et al.*, (2015) e Avelar *et al.*, (2020) que relataram nenhuma oxidação presentes nas fontes epicórmicas e uma média de 5 e 8% para *Eucalyptus pilularis* e *Eucalyptus microcorys*, respectivamente.

Já para as fontes de brotos axilares, a média observada neste estudo (19%) colabora com a encontrada também por Baccarin *et al.*, (2015) (18,1%).

A oxidação fenólica é um dos fatores mais recorrentes na micropropagação, principalmente para espécies florestais que possuem elevadas concentrações de substâncias fenólicas nos tecidos, que quando excisados ou feridos durante o processo de assepsia e introdução *in vitro* apresentam coloração do arroxeadado ao marrom, podendo levar a morte do broto e conseqüentemente a não formação de explantes (Baccarin *et al.*, 2015; Trueman *et al.*, 2018).

Uma vez as fontes de propágulos estabelecidas *in vitro*, ou seja, livre de contaminações e não oxidado, terão mais chances de emitirem explantes (Brondani *et al.*, 2009).

Desta maneira, em nosso estudo, a maior porcentagem de brotos responsivos foi de aproximadamente 27% para genótipos de 28 e 4 anos de idade por meio de brotações epicórmicas, o que é relativamente baixo quando comparado com os resultados de outros autores que utilizaram a mesma fonte de brotos. Em *Eucalyptus cloeziana* os autores obtiveram em média 51,2% de explantes com brotações (Oliveira *et al.*, 2015), em *Eucalyptus urophylla* × *Eucalyptus globulus* observaram 95% (Borges *et al.*, 2012), em *Eucalyptus pilularis* (60%) e *E. grandis* (62,5%) (Avelar *et al.*, 2020) e uma média de 79,2% em *Eucalyptus benthamii* (Baccarin *et al.*, 2015).

Mesmo com as baixas taxas de brotos responsivos, foi possível iniciar um protocolo de micropropagação para os indivíduos de *Eucalyptus urophylla* de 28, 11 e 4 anos de idade. Entretanto, o ideal é obter o maior número possível de propágulos para que seja possível avançar para as próximas etapas da propagação *in vitro*, que são a multiplicação, alongamento, enraizamento e aclimatização.

3.4 CONCLUSÕES

A proposta deste trabalho em avaliar o resgate vegetativo por meio da estratégia de galhos da copa (brotos epicórmicos) e de ramos foliares (brotos axilares) é viável para os indivíduos de *Eucalyptus urophylla* de 28, 11 e 4 anos de idade, uma vez que para a maioria das árvores selecionadas ocorreram a indução de brotos por ambas as estratégias. Contudo, a estratégia utilizando galhos da copa (brotos epicórmicos) demonstrou ser mais eficiente por apresentar um melhor vigor e número de brotos resgatados em todas as idades estudadas.

A contaminação e oxidação das fontes de explantes na introdução *in vitro*, apesar de presente, não compromete o estabelecimento *in vitro* de alguns indivíduos.

O sucesso do resgate vegetativo de árvores adultas do *Eucalyptus urophylla* dependente da combinação de vários fatores como idade da planta, o grau de juvenilidade dos brotos, a fonte de propágulos, tempo de coleta dos brotos e as condições de cultivo *in vitro*, e desta forma é necessário aprimorar os protocolos de resgate específicos para árvores juvenis e árvores maduras.

REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, F. D.; XAVIER, A.; DIAS, J. M. Propagação vegetativa de árvores selecionadas de *Eucalyptus cloeziana* F. Muell por estaquia. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 1, n. 3, p. 445-53, 2007.
- AVELAR, M. L. M. *et al.* *In vitro* establishment of *Eucalyptus* and *Corymbia* species from epicormic shoots. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 44, 2020.
- BACCARIN, F. J. B.; BACCARIN, L. A.; VIEIRA, I. G.; ALMEIDA, M. **Resgate de matrizes de eucaliptos subtropicais**. Curitiba, 2017. 83 p.
- BACCARIN, F. J. B.; BRONDANI, G. E.; ALMEIDA, L. V. *et al.* Vegetative rescue and cloning of *Eucalyptus benthamii* selected adult trees. **New Forests**, Dordrecht, v. 46, p. 465-483, 2015.
- BACCARIN, F.; BRONDANI, G. E.; VIEIRA, I. G.; ALMEIDA, M. Resgate, conservação e clonagem de matrizes de *Eucalyptus benthamii* Maiden & Cabbage. **Ciencia & Investigación Forestal**, Santiago, v. 18, n. 2, p. 7–20, 2012.
- BARBARÁ, T.; NERI, A. V.; SALGUEIRO, F. O projeto global de conservação ex-situ de coleções de *Eucalyptus* e *Corymbia* na Europa. In: CONFERÊNCIA IUFRO TREE BIOTECHNOLOGY, 2018, Concepción. **Anais** [...]. [S. l.: s. n.], 2018.
- BORGES, S. R.; XAVIER, A.; OLIVEIRA, L. S. *et al.* *In vitro* establishment of *Eucalyptus globulus* hybrid clones. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 22, n. 3, p. 605-616, 2012.
- BRONDANI, G. E.; DUTRA, L. F.; GROSSI, F. *et al.* Establishment, multiplication and elongation *in vitro* of *Eucalyptus benthamii* Maiden & Cabbage × *Eucalyptus dunnii* Maiden. **Revista Árvore** Viçosa, MG, v. 33, n. 1, p. 11–19, 2009.
- CHANG, S. H.; DONALD, D. G. M.; JACOBS, G. Micropropagation of *Eucalyptus radiata* ssp. *radiata* using explants from mature and coppice material. **Suid-Afrikaanse Bosbouydskrif**, [s. l.], p. 162, 1992.
- CONCEIÇÃO, J. B. F.; FERREIRA, S. A. N.; LIMA, N. N. Vegetative rescue potential of Brazil nut through epicormic shoots on detached branches. **Acta Amazonica**, v. 50, p. 199-203, 2020.
- ESPOSITO-POLESI, N. P.; OLIVEIRA, L. S.; BACCARIN, F. J. B. *et al.* Different culture conditions applied to *in vitro* shoot multiplication of two *Eucalyptus benthamii* explant sources. **J For Res.**, Harbin, v. 31, p. 857–869, 2020.
- FERREIRA, E. B.; CAVALCANTI, P. P.; NOGUEIRA, D. A. **ExpDes**: experimental designs package. R package version 1.1.2. 2013.
- FLORES, T. B.; ALVARES, C. A.; SOUZA, V. C.; STAPE, J. L. **Eucalyptus no Brasil**: zoneamento climático e guia para identificação. Piracicaba: IPEF, p. 14-16, 2016.

FONSECA, A. L. C.; MAGALHÃES, T. A.; MELO, L. A.; OLIVEIRA, L. S.; BRONDANI G. E. Rescue and vegetative propagation of *Eremanthus erythropappus* (DC.) MacLeish in natural stand. **Brazilian Journal of Biology**, São Carlos, v. 81, n. 3, p. 566-574, 2021.

GAILIS, A.; SAMSONE, I.; SENHOFA, S. *et al.* Silver birch (*Betula pendula* Roth.) culture initiation *in vitro* and genotype determined differences in micropropagation. **New Forests**, Dordrecht, v. 52, p. 791–806, 2021.

HARTMANN, H. T.; KESTER, D. E.; DAVIES JUNIOR, F. T.; GENEVE, R. L. **Plant propagation: principles and practices**. 8. ed. São Paulo, Prentice-Hall, 2011.

INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES - IBÁ. **Relatório IBÁ 2023**. [S. l.], 2023. 88 p. Disponível em: <https://iba.org/datafiles/publicacoes/relatorios/relatorio-anual-iba2023-r.pdf> Acesso: 01 nov. 2023.

LIMA, M. S.; ARAÚJO, M. M.; BERGHETTI, A. L. P. *et al.* Mini-cutting technique application in *Corymbia* and *Eucalyptus*: effects of mini-tunnel use across seasons of the year. **New Forests**, Dordrecht, v. 53, 161–179, 2021.

LIMA, N. N.; FERREIRA, S. A. N.; CONCEIÇÃO, J. B. F. Vegetative rescue of Camu-Camu from epicormic sprouts of detached branches. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 42, n. 4, p. 1-12, 2020.

MARTÍNEZ, M. T.; ARRILLAGA, I.; SALES, E.; PÉREZ-OLIVER, M. A.; GONZÁLEZ-MAS, M. D. C.; CORREDOIRA, E. Micropropagation, characterization, and conservation of *Phytophthora cinnamomi*-Tolerant holm oak mature trees. **Forests**, 12, 1634. 2021.

MEASON, D. F.; KENNEDY, S. G.; DUNGEY, H. S. Two New Zealand-based common garden experiments of the rangewide ‘Kuser’ clonal collection of *Sequoia sempervirens* reveal patterns of provenance variation in growth and wood properties. **New Forests**, Dordrecht, v. 47, n. 4, p. 638-651, 2016.

MURASHIGE, .T; SKOOG, F. A revised medium for rapid growth and bio assays with tobacco tissue cultures. **Physiologia Plantarum**, Oxford, v. 15, n. 3, p. 473–497, 1962.

NASCIMENTO, B.; SÁ, A. C. S.; LEMOS, L. B.; ROSA, D. P.; PEREIRA, M. O.; NAVROSKI, M. C. Three epicormic shoot techniques in *Ilex paraguariensis* mother trees and its cutting according to the material rejuvenation degree. **Cerne**, Lavras, v. 24, n. 3, p. 240-248, 2018.

OLIVEIRA, L. S. **Propagação de *Eucalyptus cloesiana* F. Muell.** 2014. 144 f. Tese (Doutorado em Ciências) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2014.

OLIVEIRA, L. S.; BRONDANI, G. E.; BATAGIN-PIOTTO, K. D.; CALSAVARA, R.; GONÇALVES, A. N.; ALMEIDA, M. Micropropagation of *Eucalyptus cloeziana* mature trees. **Australian Forestry**, Queen Victoria, v. 78, n. 4, p. 219-31, 2015.

PUPIN, S. **Diversidade genética, sistema de reprodução e parentesco em progênies de *Eucalyptus urophylla* S.T. Blake.** 2018. Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" Faculdade de Engenharia, Ilha Solteira, 2018.

PUPIN, S. **Produtividade, estabilidade e adaptabilidade em progênies de *Eucalyptus urophylla* S.T. Blake.** 2014. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" Faculdade de Engenharia, Ilha Solteira, 2014.

PUPIN, S.; SANTOS, A.V.A.; ZARUMA, D.U.G.; MIRANDA, A.C.; SILVA, P.H.M.; MARINA, C.L.; SEBBENN, A.M.; MORAES, M.L.T. Produtividade, estabilidade e adaptabilidade em progênies de polinização aberta de *Eucalyptus urophylla* S.T. Blake. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 43, n. 105, p. 127-134, 2015.

PUPIN, S.; SEBBENN, A. M.; CAMBUIM, J. *et al.* Effects of pollen contamination and non-random mating on inbreeding and outbreeding depression in a seedling seed orchard of *Eucalyptus urophylla*. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 437, p. 272–281, 2019.

R DEVELOPMENT CORE TEAM. **R: a language and environment for statistical computing.** Vienna: R Foundation for Statistical Computing, 2018.

RESENDE, M. D.V. Software Selegen-REML/BLUP: a useful tool for plant breeding. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, Vicosa, MG, v. 16, p. 330-339, 2016.

SANTOS, H. G.; ALMEIDA, J. A.; FILHO, J. C. A.; OLIVEIRA, J. B.; CUNHA, T. J. F. **Sistema brasileiro de classificação de solos.** Brasília, DF: EMBRAPA, 2018. 357 p.

SILVA, M. K. F.; SIQUEIRA, D. P.; CARVALHO, G. C. M. W. *et al.* Vegetative rescue of *Cordia trichotoma* (Vell.) Arrab. Ex Steud via induction of epicormic sprouts in branches from mature trees. **Rhizosphere**, Amsterdam, v. 20, p. 10043, 2021a.

SILVA, P. H. M.; SEBBENN, A. M.; GRATTAPAGLIA, D. *et al.* Realized pollen flow and wildling establishment from a genetically modified eucalypt field trial in Southeastern Brazil. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 385, p. 161–166, 2017.

SILVA, R. D.; SIQUEIRA, D. P.; CARVALHO, G. C. M. W. *et al.* Vegetative rescue of *Paratecoma peroba* adult trees: Adventitious rooting of epicormic sprouts from detached branches. **Rhizosphere**, Amsterdam, v. 19, p. 100419, 2021 b.

SOUZA, C. S.; FREITAS, M. L. M.; MORAES, M. L. T.; SEBBENN, A. M. Estimativas de parâmetros genéticos para caracteres quantitativos em progênies de polinização aberta de *Eucalyptus urophylla*. **Floresta**, Curitiba, v. 41, n. 4, p. 847-856, 2011.

SOUZA, C.S. **Estimativas de parâmetros genéticos para caracteres quantitativos em progênies de *Eucalyptus urophylla* S.T. Blake.** 2010. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" Faculdade de Engenharia, Ilha Solteira, 2010.

TRUEMAN, S. J.; HUNG, C. D.; WENDLING, I. Tissue culture of *Corymbia* and *Eucalyptus*. **Forests**, [s. l.], v. 9, n. 2, 2018.

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA – UNESP. Faculdade de Engenharia. Área de Hidráulica e Irrigação. **Canal clima**. Ilha Solteira, 2023. Disponível em: <http://clima.feis.unesp.br>. Acesso em: 01 nov. 2023.

WENDLING, I.; BRONDANI, G. E.; BIASIO, A.; DUTRA, L. F. Vegetative propagation of adult *Ilex paraguariensis* trees through epicormic shoots. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v. 35, n. 1, 2013.

WENDLING, I.; TRUEMAN, S. J.; XAVIER, A. Maturation and related aspects in clonal forestry – Part I: concepts, regulation and consequences of phase change. **New Forests**, Dordrecht, v. 45, p. 4, 2014 a.

WENDLING, I.; TRUEMAN, S. J.; XAVIER, A. Maturation and related aspects in clonal forestry – Part II: reinvigoration, rejuvenation and juvenility maintenance. **New Forests**, Dordrecht, v. 45 p. 4, 2014b.

4 CAPÍTULO 2 – ESTIMATIVAS DOS PARÂMETROS GENÉTICOS E GANHOS NA SELEÇÃO DE PROGÊNIES DE SEGUNDA GERAÇÃO DE *Eucalyptus urophylla* EM DIFERENTES LOCAIS

RESUMO

O *Eucalyptus urophylla* é uma das espécies mais utilizadas em plantios florestais operacionais, contudo há a necessidade de desenvolver e selecionar genótipos mais produtivos e adaptados às diferentes regiões do Brasil. O objetivo deste estudo foi investigar a viabilidade em aplicar a seleção genômica a partir de marcadores genéticos microssatélites; avaliar a variação genética para caracteres silviculturais e a melhor estratégia para estimar os ganhos de seleção; e investigar a interação entre genótipos e ambientes (G×A) em testes de progênies de segunda geração de *Eucalyptus urophylla*. Para tanto, foram avaliados os caracteres altura, DAP, volume e sobrevivência em três testes de progênies de segunda geração (TP2g), localizados em Angatuba-SP, Araraquara-SP e Selvíria-MS. Foram utilizados os procedimentos RR-Blup/GWS para estimar parâmetros genômicos a partir de 13 locos microssatélites no Pomar de sementes por mudas que deu origem aos TP2g's; o REML/BLUP para análise individual e conjunta; o método da média harmônica da performance relativa dos valores genéticos. A análise genômica não permitiu selecionar progênies com base nos valores genéticos genômicos por conta da baixa acurácia preditiva. As análises individuais demonstraram diferenças genéticas significativas entre as progênies e elevada herdabilidade da média de progênies. O teste de LRT não detectou interação G×A significativa. Assim, as progênies mais produtivas foram também as mais estáveis e adaptadas nos três locais. Os maiores ganhos na seleção para o TP2g Selvíria-MS foram observados pela estratégia de seleção dos 22 melhores indivíduos (> 20%) já o tamanho efetivo populacional e a diversidade genética foram maiores na estratégia 3, sendo indicado para propor um PSM de segunda geração. Assim, a seleção de genótipos produtivos, estáveis e adaptados é promissora.

Palavras-chave: herdabilidade; interação genótipos × ambientes; teste de progênies.

4.1 INTRODUÇÃO

A silvicultura braileira é atualmente um dos setores mais importantes para a economia do Brasil, possuindo cerca de 7,6 milhões de hectares só de florestas plantadas da cultura de eucalipto, com grande destaque para os estados do Mato Grosso do Sul (1,1 mi ha) e São Paulo (1 mi ha), que ocupam na atualidade a segunda e a terceira posição entre os estados com maior área plantada de eucalipto, perdendo apenas para Minas Gerais (2,2 mi ha) (Indústria Brasileira de Árvores - IBÁ, 2023).

Para alcançar este avanço, foi necessário realizar a expansão das florestas de eucalipto para novas regiões do país com cenários edafoclimáticas desafiadores, exigindo das espécies e seus híbridos uma maior resistência e adaptabilidade aos inúmeros estresses bióticos e abióticos, como escassez hídrica e nutricional, altas temperaturas, geadas, novas espécies de pragas e doenças, entre outras problemáticas (Silva *et al.*, 2022).

Entre as espécies, o *Eucalyptus urophylla* S.T. Blake é uma das mais plantadas no Brasil devido à sua plasticidade e adaptabilidade às mais diversas regiões do país, além de apresentar resistência a diversas doenças e ao seu potencial de utilização da madeira para vários produtos como serraria, papel e celulose, chapas e compensados, postes, dormentes, produção de carvão, entre outros (Rosado *et al.* 2009). Contudo, a busca por um genótipo adaptado as condições específicas de cada local de plantio ainda precisam ser refinadas (Oliveira Junior, 2022). Diante deste desafio da introdução do eucalipto em novos locais, empresas do setor florestal, universidades e instituições de pesquisa estão trabalhando intensamente, por meio do melhoramento genético, na seleção e geração de genótipos geneticamente superiores que se adaptem a estes locais e aumentem a sua produtividade (Zulian, 2021).

Uma das maneiras experimentais mais úteis para os melhoristas explorarem a variabilidade genética dos indivíduos e estimar os parâmetros genéticos usados para a seleção são os testes de progênies, oriundos de sementes de polinização aberta e/ou cruzamentos controlados, instalados em diversos locais e que fornecerão informações específicas sobre o potencial produtivo de cada progênie para aquele local (Fowler, 2021; Oliveira Junior, 2022). Nesse contexto, o estudo da interação Genótipo × Ambiente e a seleção de melhores indivíduos tem a disposição o método de predição da Média Harmônica da Performance Relativa dos Valores Genéticos

(MHPRVG), o qual avalia a estabilidade (MHVG), adaptabilidade (PRVG), e a estabilidade e adaptabilidade simultaneamente (MHPRVG), proporcionando ao melhorista uma seleção otimizada de indivíduos, determinando quais são mais adaptáveis e/ou mais estáveis entre os diferentes ambientes, e que portanto, podem ser plantados em mais de um local (Rosado *et al.*, 2012; Pupin, 2015). Outra maneira de realizar a seleção de indivíduos superiores é por meio do uso de dados moleculares, através de marcadores microssatélites (*Simple Sequence Repeat* - SSR) e o polimorfismo de nucleotídeo único (*Simple Nucleotide Polimorphism* – SNP), nas análise de seleção genômica, algo que tem sido importante e frequentemente utilizado em estudos com eucaliptos (Sumathi; Yasodha, 2014; Zulian, 2021).

Diversos autores consideram que a avaliação de genótipos em diferentes ambientes e que obtenham ganhos genéticos para as características de interesse, como altura, DAP, volume e sobrevivência, é uma das etapas mais importantes de um programa de melhoramento (Resende, 2007a; Oliveira Junior, 2022). Desta maneira, este estudo teve como objetivo estimar os parâmetros genéticos para os caracteres de crescimento e de sobrevivência; avaliar a interação G×A e a melhor estratégia com ganhos na seleção em testes de progênie de segunda geração de *Eucalyptus urophylla* em três diferentes locais: Araraquara-SP, Angatuba-SP e Selvíria-MS.

4.2 MATERIAL E MÉTODOS

4.2.1 Descrição das áreas experimentais

O material do presente estudo é constituído de genótipos que compõe três testes de progênie de segunda geração (TP2g) e um Pomar de Sementes por Mudas de *Eucalyptus urophylla*, denominado de PSM-TPR-EU.

I) Pomar de sementes por mudas (PSM-TPR-EU)

O PSM-TPR-EU constitui parte do Banco Ativo de Germoplasma de *Eucalyptus urophylla* (BAG-EUCA), localizado na Fazenda de Ensino, Pesquisa e Extensão (FEPE), da Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira - FEIS/UNESP, no município de Selvíria-MS, na região Leste do Mato Grosso do Sul. O solo do local onde foi instalado foi classificado como Latossolo Vermelho Distrófico típico (Santos *et al.*, 2018) e o tipo

climático como Aw, conforme a classificação de Köppen, com verão quente e chuvoso e inverno ameno e seco. A temperatura média anual é de 25,3°C e a precipitação média anual de 1100 mm (Santos; Hernandez, 2012).

Este PSM-TPR-EU deu origem as sementes que foram utilizadas para produção de mudas que compõe os testes de progênies de segunda geração. Ele é derivado de um teste de procedências e progênies que foi instalado em outubro de 1991, na FEPE/FEIS/Unesp e que era composto por 26 progênies de Rio Claro-SP (*Coff's Harbour*) e 7 progênies de Três Lagoas-MS. Após o desbaste seletivo realizado em 2011, permaneceram apenas os genótipos de Rio Claro-SP. A partir da seleção baseada no DAP, considerando também a forma do fuste das árvores, e nos valores genéticos aditivos individuais foi realizado o desbaste para formação do PSM-TPR-EU, composto inicialmente por 79 indivíduos, de 22 progênies e número variável de indivíduos por progênie (1 a 9). O espaçamento dos indivíduos no PSM-TPR-EU é variável e, em geral, amplo devido ao desbaste (Figura 14). A localização geográfica do PSM-TPR-EU consiste nas coordenadas geográficas 20°19'57"S e 51°24'22"O, a 389 m de altitude. Cabe destacar que o experimento ocupa solo do bioma cerrado, caracterizado por elevada acidez e baixa disponibilidade nutricional (Anexo A).

Figura 14 – Pomar de Sementes por Mudas de *Eucalyptus urophylla* (PSM-TPR-EU), localizado na Fazenda de Ensino, Pesquisa e Extensão (FEPE), em Selvíria-MS.



Fonte: Adaptado de Google Earth (2023).

Em novembro de 2014, foi realizada uma coleta de sementes em 22 árvores matrizes do PSM-TPR-EU. Para tanto, no momento da coleta foi priorizado a obtenção de frutos em quantidade suficiente para produção de mudas e em árvores matrizes de progênes distintas. A quantidade de frutos foi dividida em duas amostras: uma que foi destinada para o viveiro de mudas da empresa Suzano SA; e a outra que permaneceu sob domínio da Universidade para compor o BAG-EUCA. As mudas foram então produzidas no viveiro da empresa Suzano SA, em Alambari-SP, e utilizadas para instalação de três testes de progênes de segunda geração de *Eucalyptus urophylla*.

II) Teste de progênes de segunda geração (TP2g-ANG)

O primeiro teste de progênes de segunda geração de *Eucalyptus urophylla* (TP2g-ANG) foi instalado também pela empresa Suzano SA no município de Angatuba-SP (Fazenda Três Lagoas) (Figura 15), em 17 de julho de 2015, no delineamento de blocos casualizados, em parcelas lineares de cinco plantas e cinco repetições, no espaçamento $3,30 \times 1,50$ m, ocupando uma área de 0,6 ha. Ao todo, foram utilizados 36 tratamentos, sendo: 22 progênes de polinização aberta do PSM-TPR-EU; 10 progênes do programa de melhoramento florestal da Empresa (ambos *Eucalyptus grandis* $\times$ *Eucalyptus urophylla*).

Figura 15 – Teste de progênes de segunda geração de *Eucalyptus urophylla* (TP2g-ANG), localizado na Fazenda Três Lagoas, em Angatuba-SP.



Fonte: Adaptado de Google Earth (2023).

III) Teste de progênies de segunda geração (TP2g-ARA)

O segundo teste de progênies de segunda geração de *Eucalyptus urophylla* (TP2g-ARA) foi instalado pela empresa Suzano SA no município de Araraquara-SP (Fazenda Fortaleza), em 24 de julho de 2015, no delineamento de blocos casualizados, em parcelas lineares de cinco plantas e cinco repetições, no espaçamento 3,00 m × 2,30 m, ocupando uma área de 0,58 ha. Foram utilizados 34 tratamentos, sendo: 20 progênies de polinização aberta do PSM-TPR-EU; 10 progênies do programa de melhoramento genético da empresa (ambos *Eucalyptus grandis* × *Eucalyptus urophylla*).

IV) Teste de progênies de segunda geração (TP2g-SEL)

O terceiro teste de progênies de segunda geração de *Eucalyptus urophylla* (TP2g-SEL) foi instalado pela FEPE/FEIS/Unesp no município de Selvíria-SP (Figura 16), em 19 de outubro de 2016, no delineamento de blocos casualizados, com uma planta por parcela e 41 repetições, no espaçamento 3,00 × 1,50 m, ocupando uma área de 0,79 ha. Foram utilizados 22 tratamentos, todos eles oriundos de polinização aberta do PSM-TPR-EU. É válido ressaltar que na área ocupada pelo TP2g-SEL existe outro teste de progênies de segunda geração de *Eucalyptus urophylla*, oriundo de outro PSM também localizado na FEPE/FEIS/Unesp.

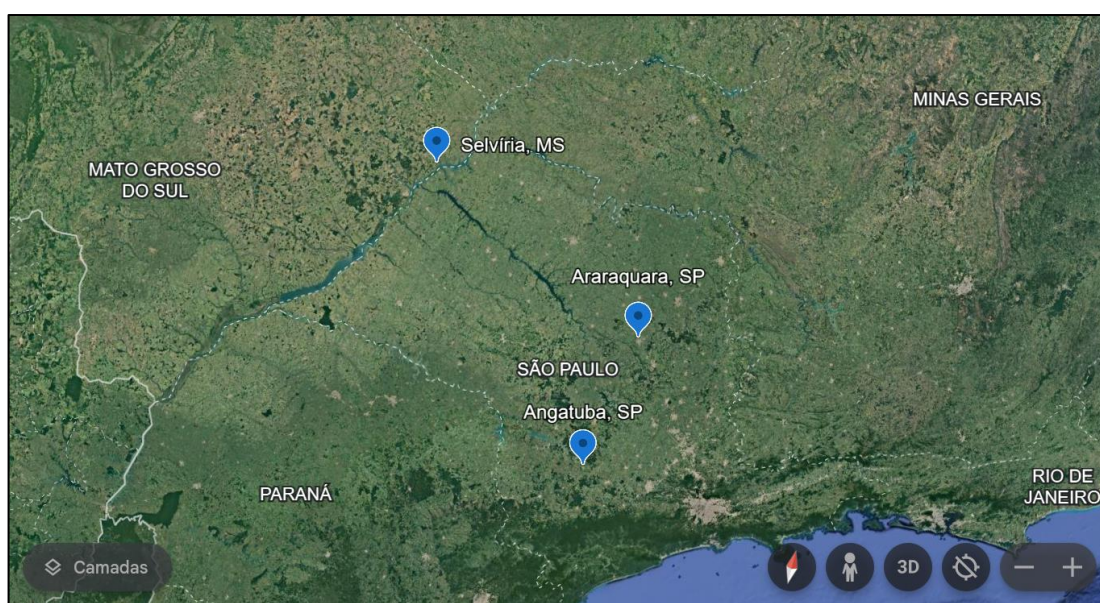
Figura 16 – Teste de progênies de segunda geração de *Eucalyptus urophylla* (TP2g-SEL), localizado na Fazenda de Ensino, Pesquisa e Extensão da Unesp-FEIS, em Selvíria-MS.



Fonte: Adaptado de Google Earth (2023).

A localização (Figura 17) e a caracterização dos locais onde foram instalados os testes de progênie de segunda geração que compõem o material de estudo, indica as diferentes condições edafoclimáticas as quais as progênes foram submetidas (Tabela 5).

Figura 17 – Localização das áreas onde foram instalados os testes de progênes de segunda geração de *Eucalyptus urophylla*.



Fonte: Adaptado de Google Earth (2023).

Tabela 5 – Caracterização dos locais de estudo em que foram instalados os testes de progênes de segunda geração de *Eucalyptus urophylla*.

Experimento	Local	Data de Instalação	LAT (S)	LON (W)	ALT (m)	Solo	Clima*	T.M.A. (°C)	P.M.A. (mm)
TP2g-ANG	Angatuba-SP (Fazenda Três Lagoas)	17/07/2015	-23.3719	-48.4694	704	LVd típico	Cfa	19,6	1261
TP2g-ARA	Araraquara-SP (Fazenda Fortaleza)	24/07/2015	-21.8525	-47.9974	645	RQo típico	Cwa	20,5	1383
TP2g-SEL	Selvíria-MS (FEPE)	05/10/2016	-20.2057	-51.2406	336	LVAd	Aw	23,0	1440

LAT: Latitude; LON: Longitude; ALT: Altitude; T.M.A.: Temperatura média anual; P.M.A.: Precipitação média anual; RQo: Neossolo quartzarênico órtico; LVAd: Latossolo vermelho amarelo distrófico; LVd: Latossolo Vermelho distrófico típico. Cwa: clima temperado úmido com inverno seco e verão quente; Cfa = Clima subtropical úmido; Aw: clima tropical com estação seca de inverno. Fonte: Dados da pesquisa da autora e *Flores et al. (2016).

4.2.2 Avaliação dos caracteres silviculturais

No PSM-TPR-EU o levantamento de dados ocorreu em setembro de 2021. Aos 29,9 anos após o plantio foi estimada a altura total de plantas (ALT, m); mensurado o diâmetro a altura do peito (DAP, cm), utilizando uma fita métrica para obtenção a circunferência a altura de 1,30 m do solo (CAP, cm), transformado para DAP (1):

$$DAP = \frac{CAP}{\pi} \quad (1)$$

e o volume total da árvore com casca (VOL, m³.árv⁻¹), foi estimado de acordo com a equação fornecida pela empresa.

As avaliações das características silviculturais do TP2g-ANG e TP2g-ARA foram realizadas aos 3,45 anos após o plantio e para o TP2g-SEL aos 4 anos após o plantio. As mensurações foram realizadas em nível de indivíduos para obtenção dos seguintes caracteres: i) altura total de plantas (ALT, m); ii) diâmetro a altura do peito (DAP, cm); iii) volume total da árvore com casca (VOL, m³.árv⁻¹), conforme equação fornecida pela empresa e; vi) sobrevivência (SOB, %), atribuindo-se o valor “1” para presença da planta e “0” para ausência da planta.

4.2.3 Caracterização genética

Todos os indivíduos do PSM-TPR-EU (N= 79) foram genotipados com 13 marcadores microssatélites (Pupin, 2018). Dessa população original, foram considerados os 73 indivíduos sobreviventes em 2021 para proceder a análise genômica. A partir do número de alelos total da população (138) foi elaborado um arquivo para contabilizar a presença ou ausência do loco, colocando-se “0” para ausência do loco, “1” para heterozigoto e “2” para homozigoto. Com isso, foi gerado uma planilha de dados com 120 marcas validadas para aplicação da análise de seleção genômica.

4.2.4 Análises individuais e estimativas dos parâmetros genéticos

As estimativas de componentes de variância e parâmetros genéticos foram obtidas pelo método REML/BLUP (máxima verossimilhança restrita/melhor predição

linear não viciada), empregando-se o software genético-estatístico SELEGEN-REML/BLUP, desenvolvido por Resende (2007).

Para a análise individual dos TP2g-ANG (Angatuba) e TP2g-ARA (Araraquara), as variáveis quantitativas foram analisadas pela metodologia do modelo linear misto (aditivo univariado) – REML/BLUP, aplicado aos testes de progênies de polinização aberta (assumindo progênies de meios-irmãos), delineamento em blocos ao acaso, várias plantas por parcela, em um local e uma única população (Modelo 93), seguindo o procedimento proposto por Resende (2007) (3):

$$\mathbf{y} = \mathbf{Xr} + \mathbf{Za} + \mathbf{Wp} + \mathbf{e} \quad (3)$$

em que: $\mathbf{y}$ é o vetor de dados, $\mathbf{r}$ é o vetor dos efeitos de repetições (fixo) somados a média geral, $\mathbf{a}$ é o vetor dos efeitos genéticos aditivos individuais (aleatório), $\mathbf{p}$ é o vetor dos efeitos de parcelas (aleatório) e $\mathbf{e}$ é o vetor de erros (aleatórios). As letras maiúsculas representam as matrizes de incidência para referidos efeitos.

Para analisar as variáveis quantitativas do TP2g-SEL (Selvíria), empregou-se o Modelo 95 do Selegen, aplicado aos testes de progênies de polinização aberta (considerando como meias-irmãs), um local, delineamento em blocos ao acaso, com uma planta por parcela, conforme o modelo matemático proposto por Resende (2007a) (4):

$$\mathbf{y} = \mathbf{Xr} + \mathbf{Za} + \mathbf{e} \quad (4)$$

em que: $\mathbf{y}$ é o vetor de dados, $\mathbf{r}$ é o vetor dos efeitos de repetição (assumidos como fixos) somados à média geral, $\mathbf{a}$ é o vetor dos efeitos genéticos aditivos individuais (assumidos como aleatórios), $\mathbf{e}$ é o vetor de erros ou resíduos (aleatórios). As letras maiúsculas representam as matrizes de incidência para os referidos efeitos.

Para acomodar as estimativas de variância genética aditiva ($\hat{\sigma}_a^2$) considerou-se o coeficiente médio de coancestria entre pares de indivíduos ($\hat{\theta}_{xy} = 0,110$), que foi obtido a partir de marcadores microssatélites utilizados para análise de parentesco do PSM-TPR-EU (Pupin, 2018). Com isso, foi possível estimar o coeficiente de parentesco ($\hat{r}_{xy} = 2 \times \hat{\theta}_{xy}$) e o coeficiente de endogamia dos indivíduos (F), conforme as equações (5):

$$F = \frac{s}{2-s} \therefore F(2-s) = s \therefore 2F - Fs = s \therefore 2F = Fs + s \therefore 2F = s(1+F) \therefore s = \frac{2F}{(1+F)} \quad (5)$$

Assim, foram utilizados os modelos do Selegen alocados na caixa “Sistema reprodutivo misto”, para avaliação de indivíduos de progênies de polinização aberta

em um local, no delineamento de blocos ao acaso, progênies de uma só população, várias plantas por parcela (Modelo 110) ou uma planta por parcela (Modelo 111), considerando a taxa de autofecundação (s) de 0,20.

As estimativas dos componentes de variâncias e os parâmetros estatísticos e genéticos obtidos foram: i) Herdabilidade individual no sentido restrito (efeitos aditivos) ($\hat{h}_a^2$); ii) Herdabilidade da média de progênies, assumindo sobrevivência completa ($\hat{h}_m^2$); iii) Herdabilidade aditiva dentro de progênie ($\hat{h}_{ad}^2$); iv) Acurácia da seleção de progênies, assumindo sobrevivência completa (r_{aa}); v) Coeficiente de variação genética aditiva individual (CV_{gi}); vi) Coeficiente de variação genotípica entre progênies (CV_{gp}); vii) Coeficiente de variação experimental (CV_e); viii) Coeficiente de variação relativa (CV_r); ix) Média geral ($\hat{m}$).

Para modelos mistos com dados desbalanceados, os efeitos dos modelos foram testados por análise de deviance (ANADEV), a partir das diferenças entre as deviances para os modelos completos (com todos os efeitos) e para o modelo sem o efeito a ser testado. Essa diferença é testada por meio da razão de verossimilhança (LRT – *Likelihood Ratio Test*) (Resende, 2007a).

4.2.5 Análise conjunta

Em razão das avaliações silviculturais terem sido realizadas em diferentes idades das progênies foi necessário realizar a transformação para variável Z para ALT, DAP e VOL, permitindo a comparação dos três testes de progênies de segunda geração, conforme equação (6):

$$Z = 3 + \frac{(X_{ij} - X)}{\sigma_{..}} \quad (6)$$

em que: X_{ij} é a medida aferida no indivíduo, X é a média e σ a variância da característica.

Após as transformações, os dados foram submetidos a análise conjunta dos experimentos, feito com base em Resende (2007a) que informa que experimentos com diferentes tamanhos de parcela (por exemplo, uma e várias plantas por parcela) podem ser analisados, simultaneamente, usando os modelos para várias plantas por parcela e para blocos incompletos, os quais ajustam efeitos de parcela. Assim, os três testes de progênies de segunda geração foram submetidos a análise conjunta pelo Modelo 53, para verificar a significância da interação de genótipos por ambientes,

considerando blocos incompletos em vários locais, com base no modelo estatístico (Resende, 2007 a,b) (7):

$$\mathbf{y} = \mathbf{Xr} + \mathbf{Za} + \mathbf{Wp} + \mathbf{Ti} + \mathbf{Qb} + \mathbf{e}; \quad (7)$$

em que: $\mathbf{y}$ é o vetor de dados, $\mathbf{r}$ é o vetor dos efeitos de repetições (assumido como aleatório) somados a média geral, $\mathbf{a}$ é o vetor dos efeitos genéticos aditivos individuais (aleatório), $\mathbf{p}$ é o vetor dos efeitos de parcelas (aleatório), $\mathbf{b}$ é o vetor dos efeitos de blocos (assumidos como aleatórios), $\mathbf{i}$ é o vetor que se refere aos efeitos da interação genótipo $\times$ ambiente (aleatório) e $\mathbf{e}$ é o vetor de erros (aleatórios). As letras maiúsculas representam as matrizes de incidência para referidos efeitos.

4.2.6 Análise genômica

A partir dos dados do PSM-TPR-EU foi realizada a análise individual (Modelo 1) do Selegen – REML/BLUP para estimar os valores genéticos dos indivíduos para correção dos fenótipos e obter a herdabilidade individual no sentido restrito ($\hat{h}_a^2$).

Com base nos fenótipos corrigidos para as características ALT, DAP e VOL, estes foram utilizados para compor um arquivo contendo as 120 marcas obtidas por meio da análise de microssatélites. A partir desse arquivo, utilizou-se o Selegen-Genômica (Resende, 2007c), Modelo 15 (genética de populações) para estimar os valores genéticos de marcas e obter a soma de 2pq, utilizada para inserir na caixa “n locos” no “Modelo 1” – rrBLUP/GWS do Selegen-Genômica.

Após proceder as análises foram obtidos: as estimativas da acurácia da capacidade preditiva ($\hat{r}_{gf}$), acurácia realizada ($\hat{r}_{gg} = \frac{\hat{r}_{gf}}{\sqrt{\hat{h}_a^2}}$) e viés (b_{fg}). Desse modo, foi possível obter os valores fenotípicos corrigidos da população de validação (yv) e os valores genéticos genômicos (VGG).

4.2.7 Produtividade, estabilidade e adaptabilidade

As análises referentes à produtividade, estabilidade e adaptabilidade foram obtidas com base no método MHPRVG (média harmônica da performance relativa dos valores genéticos), empregando-se o Modelo 53 do *software* SELEGEN-REML/BLUP,

para análise de delineamento em blocos incompletos, em vários locais e várias observações por parcela.

De acordo com o método, a estabilidade corresponde a Média Harmônica dos Valores Genotípicos nos locais (MHVG); a adaptabilidade refere-se à Performance Relativa dos Valores Genotípicos em relação à média de cada local (PRVG) e a estabilidade, adaptabilidade e produtividade simultaneamente, corresponde a Média Harmônica da Performance Relativa dos Valores Genotípicos (MHPRVG). Dessa forma, o modelo estatístico utilizado foi (8):

$$\mathbf{y} = \mathbf{Xr} + \mathbf{Zg} + \mathbf{Wp} + \mathbf{Ti} + \mathbf{Sb} + \mathbf{e} \quad (8)$$

em que: $\mathbf{y}$, $\mathbf{r}$, $\mathbf{g}$, $\mathbf{p}$, $\mathbf{i}$, $\mathbf{b}$ e $\mathbf{e}$ são os vetores de dados referentes aos efeitos de repetição (fixos) somados à média geral, genotípico (aleatórios), parcelas (aleatórios), interação Genótipo $\times$ Ambiente (aleatórios) e do resíduo (aleatório), respectivamente. $\mathbf{X}$, $\mathbf{Z}$, $\mathbf{W}$, $\mathbf{T}$ e $\mathbf{S}$ representam as matrizes de incidência para os referidos efeitos.

4.2.8 Ganhos de seleção

As estimativas de ganhos de seleção foram baseadas na característica DAP e considerando os valores obtidos de BLUP a nível de indivíduos e genitores (progênies). Para tanto, foram considerados os valores genéticos, que contabiliza os efeitos genéticos aditivos e de dominância ($g = a + d$). O cálculo do ganho de seleção em porcentagem foi realizado conforme a equação (9):

$$Gs(\%) = \left(\frac{\sum \hat{g}}{\sum k_f} \times 100 \right) \div \hat{m} \quad (9)$$

em que: $\hat{g}$ corresponde aos valores genéticos; e $\hat{m}$ é a média geral do caráter.

O tamanho efetivo populacional (N_e) foi obtido com base em Resende (2002), dado pela equação (10):

$$N_e = \left(4N_f \bar{k}_f \right) / \left[\bar{k}_f + 3 + \left(\sigma_{kf}^2 / \bar{k}_f \right) \right] \quad (10)$$

em que: N_e é o tamanho efetivo populacional; N_f o número de famílias selecionadas; k_f o número de indivíduos selecionados por família; $\bar{k}_f$ é o número médio de indivíduos selecionados por família; e σ_{kf}^2 é a variância do número de indivíduos selecionados por família.

A diversidade genética (D), após a seleção foi quantificada conforme Wei e Lindgren (1996), citados por Resende (2002) (11):

$$N_{ef} = \left(\sum k_F \right)^2 / \sum k_F^2 \quad \therefore D = N_{ef} / N_{fo} \quad (11)$$

em que: $0 < D \leq 1$, sendo N_{ef} o número efetivo de progênes selecionadas; N_{fo} o número original de famílias e k_F corresponde ao número de plantas por progênes.

Tanto o ganho de seleção (%), o tamanho efetivo e a diversidade genética foram estimadas apenas para o TP2g de Selvíria, devido ao fato de que este teste é o único que ainda está ativo, os demais testes de progênes já foram analisados e cortados pela empresa Suzano SA e dado continuidade no seus programas de melhoramento.

Desta maneira, foram utilizadas três estratégias para seleção de 22 indivíduos do TP2g- de Selvíria-MS, considerando a característica DAP e com base nos valores genéticos ($g = a + d$):

Estratégia 1- seleção dos melhores indivíduos, sem restrição do número de indivíduos por progênie;

Estratégia 2- seleção de 1, melhor indivíduos dentro das 11 melhores progênes selecionadas pelo critério de produtividade, estabilidade e adaptabilidade simultaneamente;

Estratégia 3- seleção dentro de progênes com restrição no número de indivíduos que cada progênie pudesse contribuir (1).

4.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.3.1 Análise genômica

A predição dos valores genéticos genômicos (VGG) obtidas via análise genômica RR-BLUP/GWS apresentaram valores baixos de acurácia e viés para os caracteres estudados (Tabela 6).

Tabela 6 – Análise genômica para marcas obtidas de 13 locos microssatélites em indivíduos de *Eucalyptus urophylla* do PSM-TPR-EU em Selvíria, MS.

Parâmetro	ALT	DAP	VOL
$\hat{r}_{gf}$	0,0606	-0,081	-0,0355
$\hat{r}_{gg}$	0,0619	-0,1053	-0,0407
Desvio-padrão (g)	3,7864	2,3249	0,4960
Desvio-padrão (f)	3,3749	4,5427	0,7604
bfg	0,054	-0,1583	-0,0544

Nota: $\hat{r}_{gf}$: capacidade preditiva; $\hat{r}_{gg}$: acurácia realizada; bfg: viés. Fonte: dados da pesquisa da autora.

Os valores reduzidos podem ter ocorridos devido ao baixo número de indivíduos para treinamento do modelo utilizado (N = 73 indivíduos sobreviventes do PSM-TPR-EU), ao tamanho efetivo da população devido o parentesco entre progênies, ou a arquitetura genética dos caracteres que, por serem quantitativos, são controladas por muitos locos com pequenos efeitos.

Além disso, a distribuição das marcas no genoma também influencia a capacidade preditiva, uma vez que, geralmente, os microssatélites estão localizados em regiões do genoma que não são expressas, diferentemente dos EST-SSR (*Expressed Sequence Tag – Single Sequence Repeat*), como os utilizados no presente estudo (SSR).

O viés menos acentuado foi obtido para altura de plantas. Contudo, a acurácia realizada ainda foi baixa (0,0619). Esse valor foi maior em relação a outros caracteres (DAP e VOL), possivelmente pela maior herdabilidade individual no sentido restrito ($\hat{h}_a^2$). Além da herdabilidade, a acurácia realizada é afetada pelo número de indivíduos no treinamento, número de locos controladores dos caracteres, entre outros.

Desse modo, o modelo predito para seleção genômica a partir de poucos dados microssatélites se mostrou inviável para essa população do PSM-TPR-EU. Neste sentido, o uso de metodologias derivadas da genética quantitativa pode ser mais adequada para seleção genética.

Fritsche-Neto *et al.* (2012) observaram na avaliação do método da Seleção Genômica Ampla (GWS) para o melhoramento de milho que, quando eles consideraram as 214 marcas, as capacidades preditivas foram muito baixas (0,19 a 0,61), ou seja, o aumento do número de marcadores não aumenta linearmente a acurácia da GWS pelo método RR-BLUP. Assim, segundo os autores, é fundamental

para cada caráter a ser selecionado, estabelecer o número ótimo de marcadores que maximizem a acurácia na população de validação.

Outros autores também observaram esta tendência, como Granato *et al.* (2013), no trabalho com mil clones de eucalipto, utilizando os métodos RR-BLUP e BLASSO constataram um aumento da capacidade preditiva com a redução do número de marcadores até um ponto ótimo, e a partir deste, houve redução na estimativa da capacidade preditiva.

Santos *et al.* 2019, avaliando a acurácia e eficiência da seleção genômica utilizando o método da regressão aleatória RR-BLUP para ganhos na produtividade de grãos em *Jatropha curcas* L. (pinhão-mansão), concluíram que nas primeiras safras de grãos são necessários um número maior de indivíduos na população de melhoramento para se obter melhores valores genéticos genômicos e acurácias.

4.3.2 Análises individuais

Os resultados das análises individuais apresentaram que para o caráter altura (ALT) das progênies as maiores médias foram verificadas no TP2g em Angatuba-SP (16,20 m), já as médias de altura para os testes de Araraquara-SP e Selvíria-MS foram similares, sendo 13,37 m e 12,32 m, respectivamente (Tabela 7).

No caráter diâmetro a altura do peito (DAP), o TP2g que obteve o melhor desempenho foi também de Angatuba-SP (11,93 cm), contudo não sendo muito distante dos demais locais, onde Araraquara-SP apresentou média do DAP de 9,33 cm e Selvíria-MS de 10,04 cm (Tabela 7).

Para o caráter volume total da árvore com casca (VOL) as progênies em Angatuba-SP ($0,10 \text{ m}^3 \cdot \text{árv}^{-1}$) apresentaram o dobro da média comparado aos demais locais ($0,05 \text{ m}^3 \cdot \text{árv}^{-1}$), confirmando os melhores resultados de crescimento neste local (Tabela 7).

Já no caráter sobrevivência (SOB) os resultados encontrados variaram, onde a maior média foi em Angatuba-SP (90%), seguida de Araraquara-SP (79%) e a menor em Selvíria (61%) (Tabela 7), onde neste último foi constatado frequentes ataques de formigas cortadeiras, cupins e *Costalimaite ferruginea* (besouro amarelo) no primeiro ano de instalação. Segundo Ferreira (1989), ataques severos por pragas e doenças, como as citadas, podem tornar os indivíduos avaliados mais suscetíveis às variações climáticas, como redução do regime de chuvas e altas temperaturas.

Resultados semelhantes foram observados por Nogueira *et al.* (2019), avaliando os mesmos caracteres em progênies de irmãos completos de *Eucalyptus* de seis anos de idade, obtiveram médias de ALT= 20,74 m, DAP= 13,20 cm, VOL= 0,15 m³.árv⁻¹ e SOB= 54%. Miranda *et al.* (2015), estudando quatro locais diferentes, verificaram em progênies de *Eucalyptus grandis* aos 24 meses de idade que a média para altura variou de 6,38 a 12,93 m, DAP de 7,0 a 9,69 cm e volume de 0,02 a 0,05 m³.árv⁻¹.

Foi possível verificar pelo teste da razão de verossimilhança (LRT) que existem diferenças genéticas significativas entre as progênies para todos as variáveis e locais estudados, possibilitando assim um maior sucesso na seleção (Tabela 7). Além disso, os coeficientes de variação experimental (CVe) foram considerados de magnitude intermediária a alta, variando de 12,18% a 73,42% entre todos os caracteres, demonstrando que as condições experimentais foram apropriadas para o controle ambiental para ALT e DAP e assim foi obtido uma maior precisão experimental.

Dentre os caracteres avaliados, o volume foi o que apresentou os maiores CVe em todos os locais estudados, com estimativas acima de 30%. Porém, para Selvíria-MS, além do volume, o CVe do caráter DAP também foi elevado (33,10%) (Tabela 7). No entanto, estes resultados de maiores CVe para o teste de Selvíria-MS já eram esperados, devido ao delineamento utilizado com uma planta por parcela.

Estes resultados são condizentes com os encontrados na literatura e considerados comum para este caráter, pois Abad (2003) e Batista *et al.* (2012) explicaram que como o volume é uma combinação das características de DAP e ALT, os erros de mensuração são acumulados de ambos, e assim pode vir ocorrer um alto CVe. Além disso, Pupin *et al.* (2015), avaliando progênies de *Eucalyptus urophylla* aos 24 meses de idade, em cinco locais diferentes entre os estados de MG, SP e MS, também observaram CVe mais elevado no caráter volume (acima de 20%) para todos os locais.

Nogueira *et al.* (2019) verificaram para progênies de *Eucalyptus* com seis anos de idade CVe de alta magnitude (>24%) e o maior valor também no caráter volume (83,12%). Assim como no trabalho de Zulian (2021), o CVe do caráter volume (>94%) foi elevado em comparação com os demais caracteres estudados em progênies de *Eucalyptus grandis* aos 9 anos.

Os resultados para o coeficiente de variação genética aditiva individual (CVgi), ou seja, a porcentagem de variação genética aditiva existente dentro das progênies,

variou de 11,08% a 48,81% entre todos os caracteres (Tabela 7), e de acordo com Sebbenn (1998) coeficientes de variação genéticos acima de 7% são considerados bons e de alta magnitude. Portanto, os resultados do presente estudo demonstram que existe variação genética nos três testes de progênes e com potencial para utilização das progênes em programas de melhoramento genético.

Além do mais, novamente o volume foi o caráter que apresentou os maiores CVgi, onde em Araraquara-SP foi 48,81%, Angatuba-SP 24,52% e Selvíria-MS 29,05%, indicando ser um bom caráter para a seleção de indivíduos superiores. Estes resultados corroboram com os encontrados na literatura, onde os valores do CVgi para volume de *Eucalyptus urophylla* no estudo de Rocha *et al.* (2007) foi de 32,97%, no de Moraes (2013) foi 45,16%, no de Pupin *et al.* (2015) variou entre 28,79% a 44,39% nos diferentes locais, no de Miranda *et al.* (2015) em progênes de *Eucalyptus grandis* aos 24 meses de idade variou de 50,6 a 57%, e no de Zulian (2021) o CVgi para volume foi de 68,48% estudando progênes de *Eucalyptus grandis* aos 9 anos.

Para o coeficiente de variação genética entre progênes (CVgp) os resultados apresentaram que as melhores porcentagens ocorreram no teste de Araraquara-SP, com ALT= 7,37%, DAP= 10,31% e VOL= 24,40%. Já os demais testes apresentaram resultados similares entre si. No geral, os CVgp de todos os caracteres demonstraram ser de magnitude baixa a intermediária e também com o caráter volume apresentando as maiores porcentagens (Tabela 7).

Em contrapartida, Nogueira *et al.* (2019) observaram valores de CVgp com magnitude mais elevada, variando de 14,13% para altura e 49,04% para volume em progênes de *Eucalyptus grandis* aos 9 anos. Já Miranda *et al.* (2015) verificaram em quatro locais diferentes que o maior CVgi para volume foi de 57%, para DAP foi 27,8% e para altura foi de 23,4% nas progênes de *Eucalyptus grandis* com 24 meses de idade.

O coeficiente de variação relativa (CVr) representa a razão entre o CVgp e o CVe, e quanto mais próxima de 1, maior será o controle genético do caráter e menor será a influência ambiental no fenótipo (Vencovsky; Barriga, 1992). Desta forma, para o TP2g-ARA o CVr do caráter volume (0,73) foi o mais elevado e portanto o indicado para seleção das progênes neste local. Em contrapartida, nos TP2g-ANG e TP2g-SEL os resultados de CVr foram mais altos e similares nos caracteres ALT e DAP, desta forma, a tomada de decisão poderá partir dos valores de CVgp, que quanto mais alto o valor maior a probabilidade de existir mais variabilidade genética para ser

explorada nos programas de melhoramento. Dito isso, o caráter indicado para seleção em Angatuba e Selvíria seria o DAP (Tabela 7).

Valores de CVr mais elevados foram observados por Nogueira *et al.* (2019) no caráter DAP (0,61) das progênes de *Eucalyptus* aos seis anos de idade, porém bem próximos dos demais caráter, onde VOL foi 0,59 e ALT 0,57. Já Henriques *et al.* (2018) verificaram em um teste de progênes de *Eucalyptus* sp. aos 2, 5 e 7 anos de idade que os níveis de CVr foram bem mais altos nos caracteres comparados aos deste estudo, estando entre 0,66 a 1,07.

Os resultados de herdabilidades individuais no sentido restrito ($\hat{h}_a^2$), que quantifica a fração da variância genética que pode ser transmitida para a próxima geração, variaram de $0,08 \pm 0,06$ a $0,27 \pm 0,12$ (Tabela 7). Segundo a classificação de Resende (2015), valores de $\hat{h}_a^2$ menores que 0,15 são interpretados como de baixa magnitude; de 0,15 a 0,50 moderada magnitude; de 0,51 a 0,80 alta magnitude e 0,81 a 0,99 muito alta magnitude. Desta maneira, pode-se interpretar os resultados como de magnitude baixa a moderada, porém mesmo os valores baixos apresentaram intervalos significativos, pois o intervalo de variação foi diferente de zero, reforçando que houve diferenças genéticas entre os indivíduos, mas não em proporções para se obter ganhos elevados na seleção.

Zulian (2021) encontrou resultados de $\hat{h}_a^2$ com magnitudes mais elevadas, variando para os caracteres ALT, DAP e VOL de $0,33 \pm 0,07$ a $0,46 \pm 0,08$ no teste de progênes de *Eucalyptus grandis* aos 9 anos de idade no município de Selvíria-MS.

Outros autores como Nogueira *et al.* (2019) (0,49 a 0,54) e Miranda *et al.* (2015) (0,30 a 0,61) também observaram valores para $\hat{h}_a^2$ com magnitude alta para *Eucalyptus* aos seis e aos dois anos de idade, respectivamente.

As herdabilidades da média de progênes ($\hat{h}_m^2$) variaram de 0,50 a 0,66 para ALT, 0,46 a 0,69 para DAP e 0,43 a 0,72 para VOL (Tabela 7) e foram consideradas de magnitude moderada a alta, o que demonstra um bom controle genético das progênes, evidenciando uma boa acurácia e possíveis ganhos na seleção das melhores progênes como genitores. Estes resultados corroboram com os da literatura, onde Rosado *et al.* (2012) encontraram valores altos (0,77 a 0,87) para clones de *Eucalyptus* aos três anos de idade; Pupin *et al.* (2015) observaram em cinco locais diferentes valores que variaram de 0,21 a 0,82 e no geral 70% dos seus dados apresentaram valores altos para $\hat{h}_m^2$; Moraes (2013) observou para *Eucalyptus*

urophylla aos dois anos, valores de 0,76 em ALT, 0,79 em DAP e 0,88 em VOL; e Zulian (2021) constatou progênes de *Eucalyptus grandis* aos 9 anos de idade no município de Selvíria-MS valores de 0,70 para altura, 0,73 para DAP e 0,77 para volume.

Para as herdabilidades aditivas dentro de progênes ($\hat{h}_{ad}^2$) os valores foram relativamente baixos, variando entre 0,05 a 0,19 (Tabela 7). No teste de Araraquara-SP todos os caracteres foram superiores comparada aos demais locais.

Nogueira *et al.* (2019) verificaram em um teste de progênes de *Eucalyptus* aos seis anos de idade instalado município de Sabinópolis-MG valores de $\hat{h}_{ad}^2$ entre 0,33 a 0,37, considerados de magnitude mediana. Já Pupin *et al.* (2015) observou em seu estudo com progênes de *Eucalyptus urophylla* aos 24 meses de idade e em cinco locais diferentes que os valores de $\hat{h}_{ad}^2$ foram bem diversificados, variando para o caráter ALT de 0,22 a 0,69, para DAP de 0,11 a 0,41 e para VOL de 0,19 a 0,50, onde o teste instalado em Itamarandiba-MG apresentou os maiores valores.

Com relação a acurácia (r_{aa}) foram observadas estimativas consideradas de alta magnitude (0,65 a 0,85) em todos os caracteres avaliados (Tabela 7), estando dentro do proposto por Resende (2007a) onde analisa uma boa acurácia sendo $\geq 70\%$, o que possibilita uma maior precisão na seleção dos indivíduos.

Estes resultados corroboram com os encontrados por Nogueira *et al.* (2019) que obtiveram acurácia acima de 92% para progênes de *Eucalyptus* aos seis anos de idade; Henriques *et al.* (2018) observaram acurácias relativamente altas ($> 75\%$) aos 2, 5 e 7 anos de idade de progênes de polinização controlada de *Eucalyptus* sp.; Zulian (2021) verificou valores de acurácia $>84\%$ no teste de progênes de *Eucalyptus grandis* aos 9 anos de idade; e Furlan, Moraes e Tambarussi (2020) constaram valores $>90\%$ em um teste clonal de *Eucalyptus* spp., instalado no município de Grajaú-MA.

Para fins de comparação de desempenho, progênes da empresa, testemunhas operacionais e semioperacionais foram utilizadas para verificar o posicionamento das progênes do TP2g-SEL no ordenamento dos testes de progênes de segunda geração em Araraquara-SP e Angatuba-SP (Tabela 8).

Foi possível notar no ordenamento que muitas progênes do TP2g-SEL tiveram seu desempenho melhor do que algumas progênes da empresa e muito próximas das testemunhas operacionais que já passaram por vários ciclos de melhoramento

genético, tornando as da Unesp competitivas e atraentes para a empresa continuar utilizando nos programas de melhoramento.

Tabela 7 – Estimativas dos parâmetros genéticos e estatísticos de progênies de *Eucalyptus urophylla* de segunda geração em três locais diferentes.

Parâmetro	Araraquara-SP (3,45 anos)				Angatuba-SP (3,45 anos)				Selvíria-MS (4,0 anos)			
	ALT	DAP	VOL	SOB	ALT	DAP	VOL	SOB	ALT	DAP	VOL	SOB
$\hat{h}_a^2$	0,22±0,11	0,24±0,11	0,27±0,12	-	0,11±0,07	0,09±0,06	0,08±0,06	-	0,13±0,07	0,13±0,07	0,10±0,06	-
$\hat{h}_m^2$	0,60	0,69	0,72	-	0,50	0,46	0,43	-	0,66	0,67	0,61	-
$\hat{h}_{ad}^2$	0,18	0,17	0,19	-	0,07	0,06	0,05	-	0,08	0,09	0,06	-
r_{aa}	0,78	0,83	0,85	-	0,71	0,68	0,65	-	0,81	0,82	0,78	-
CV_{gi} (%)	14,75	20,62	48,81	-	11,08	12,35	24,52	-	11,73	15,11	29,05	-
CV_{gp} (%)	7,37	10,31	24,40	-	5,54	6,17	12,26	-	5,86	7,55	14,52	-
CV_e (%)	13,21	15,43	33,27	-	12,18	14,76	31,54	-	26,27	33,10	73,42	-
CV_r (%)	0,55	0,66	0,73	-	0,45	0,41	0,38	-	0,22	0,22	0,19	-
$\hat{m}$	13,37	9,33	0,05	0,79	16,20	11,93	0,10	0,90	12,32	10,04	0,05	0,61
LRT	6,63***	10,67***	15,08***	13,05***	5,06**	3,99**	2,88*	5,25**	8,1***	8,42***	5,39**	1,38 ^{ns}

Nota: **ALT**: altura (m); **DAP**: diâmetro à altura do peito (cm); **VOL**: volume (m³.árv⁻¹); **SOB**: sobrevivência (%); $\hat{h}_a^2$: herdabilidade individual no sentido restrito; $\hat{h}_m^2$: herdabilidade da média de progênies; $\hat{h}_{ad}^2$: herdabilidade aditiva dentro de parcelas; r_{aa} : acurácia; CV_{gi} : coeficiente de variação genética aditiva individual; CV_{gp} : coeficiente de variação genética entre progênies; CV_e : coeficiente de variação experimental; CV_r : coeficiente de variação relativa; $\hat{m}$: média geral da variável; **LRT**: teste da razão de verossimilhança. *** significativo a 1% com 1 grau de liberdade; ** significativo a 5% com 1 grau de liberdade; * significativo a 10% com 1 grau de liberdade; ^{ns} não significativo. Fonte: Elaborado pela autora.

Tabela 8 – Ordenamento com base no desempenho de acordo com a seleção de genitores (capacidade geral de combinação) para fins de comparação das progênie de *Eucalyptus urophylla* Unesp, com as testemunhas operacionais, semioperacionais e outras progênie da empresa Suzano SA.

Araraquara-SP				Angatuba-SP				Selvíria-MS			
Ordem	Progênie	a	Média	Ordem	Progênie	a	Média	Ordem	Progênie	a	Média
1	Testemunha	8,74	19,26	1	Testemunha	9,31	22,09	1	M146 Unesp	1,74	11,78
2	Testemunha	8,33	19,05	2	Testemunha	8,65	21,76	2	M61 Unesp	1,55	11,69
3	Testemunha	5,39	18,00	3	Testemunha	5,04	20,45	3	M42 Unesp	1,42	11,61
4	Testemunha	5,09	17,40	4	Testemunha	3,75	19,47	4	M139Unesp	1,27	11,54
5	Testemunha	4,91	17,00	5	Testemunha	2,98	18,73	5	M3 Unesp	1,09	11,45
6	Progênie Suzano	3,28	16,47	6	Progênie Suzano	2,25	18,11	6	M33 Unesp	0,10	11,38
7	Testemunha	2,80	16,02	7	Progênie Suzano	2,25	17,67	7	M82 Unesp	0,08	11,31
8	Progênie Suzano	2,75	15,67	8	Testemunha	2,05	17,32	8	M97Unesp	0,08	11,25
9	Progênie Suzano	2,49	15,38	9	Progênie Suzano	1,87	17,02	9	M24 Unesp	0,05	11,17
10	M3 Unesp	2,34	15,12	10	M61 Unesp	1,61	16,76	10	M17 Unesp	0,04	11,10
11	Progênie Suzano	2,19	14,90	11	M95 Unesp	1,19	16,50	11	M16 Unesp	0,04	11,04
12	M146 Unesp	1,86	14,69	12	M3 Unesp	0,07	16,25	12	M21 Unesp	-0,05	10,92
13	Progênie Suzano	0,06	14,42	13	M99 Unesp	0,05	16,02	13	M87 Unesp	-0,05	10,82
14	M16 Unesp	-0,02	14,12	14	Progênie Suzano	0,04	15,82	14	M71 Unesp	-0,05	10,73
15	Progênie Suzano	-0,03	13,86	15	M21 Unesp	0,01	15,63	15	M108 Unesp	-0,06	10,64
16	Progênie Suzano	-0,05	13,62	16	M33 Unesp	-0,05	15,42	16	M138 Unesp	-0,09	10,55
17	M29 Unesp	-0,06	13,40	17	M16 Unesp	-0,05	15,23	17	M95 Unesp	-0,09	10,47
18	Progênie Suzano	-0,09	13,19	18	Progênie Suzano	-0,08	15,05	18	M94 Unesp	-1,07	10,38
19	M82 Unesp	-0,10	13,00	19	Progênie Suzano	-0,08	14,89	19	M55 Unesp	-1,27	10,30
20	M24 Unesp	-0,10	12,82	20	M24 Unesp	-0,10	14,74	20	M29 Unesp	-1,32	10,22
21	Progênie Suzano	-1,16	12,66	21	M17 Unesp	-1,01	14,59	21	M67 Unesp	-1,50	10,14
22	M97 Unesp	-1,49	12,49	22	M71 Unesp	-1,06	14,46	22	M99 Unesp	-2,05	10,04
23	M71 Unesp	-1,79	12,33	23	M87 Unesp	-1,50	14,33				
24	M87 Unesp	-1,92	12,17	24	Progênie Suzano	-1,53	14,20				
25	M139 Unesp	-1,95	12,03	25	Progênie Suzano	-1,59	14,08				
26	M108 Unesp	-2,36	11,88	26	M29 Unesp	-1,70	13,96				
27	M95 Unesp	-2,39	11,74	27	M55 Unesp	-1,70	13,85				
28	M17 Unesp	-2,46	11,61	28	M139 Unesp	-2,02	13,74				
29	M138 Unesp	-2,69	11,48	29	M146 Unesp	-2,15	13,64				
30	M21 Unesp	-2,74	11,35	30	M82 Unesp	-2,42	13,53				
31	Progênie Suzano	-2,99	11,23	31	Progênie Suzano	-2,47	13,42				
32	M55 Unesp	-3,52	11,10	32	M138 Unesp	-2,91	13,31				
33	M33 Unesp	-3,83	10,96	33	M97 Unesp	-3,03	13,20				
34	M99 Unesp	-4,23	10,83	34	Progênie Suzano	-4,15	13,07				
35	M61 Unesp	-4,44	10,69	35	M67 Unesp	-4,37	12,94				
36	M67 Unesp	-6,28	10,51	36	M108 Unesp	-5,48	12,78				

Fonte: Elaborado pela autora.

4.3.3 Análise conjunta

Na análise conjunta dos experimentos a significância dos efeitos genéticos e da interação foram avaliadas pela análise de deviance (ANADEV) por meio do teste da razão

de verossimilhança (LRT), para as variáveis altura (ALT), diâmetro à altura do peito (DAP) e volume total da árvore com casca (VOL) (Tabela 9).

Tabela 9 – Análise de deviance (ANADEV) para os caracteres altura (ALT), diâmetro à altura do peito (DAP) e volume (VOL), na análise conjunta de testes de progênes de segunda geração de *Eucalyptus urophylla*, em três ambientes distintos.

Efeito	LRT		
	ALT	DAP	VOL
Progênie	6,64*	7,94*	6,73*
Interação GxA	0,01 ^{ns}	0,01 ^{ns}	0,01 ^{ns}

LRT: teste da razão de verossimilhança; valores tabelados de qui-quadrado: 6,63.
*significativo a 1% com 1 grau de liberdade; ^{ns} não significativo. Fonte: dados da pesquisa da autora.

O teste de LRT demonstrou ser significativo apenas para os efeitos de progênes em todas as variáveis, indicando que existem diferenças genéticas entre elas e há a possibilidade de se obter ganhos com a seleção. Já os demais efeitos não foram significativos.

Miranda *et al.* (2015) também obtiveram pelo teste da LRT, envolvendo quatro locais com progênes de *Eucalyptus grandis* aos 24 meses de idade valores significativos para as progênes, sendo para ALT= 330,33, DAP= 399,83 e VOL= 244,84. Além disso, diferente dos resultados encontrados neste estudo, os efeitos de parcela foram significativos para o caráter altura (5,71), demonstrando heterogeneidade entre os blocos para este caráter; e os efeitos da interação G x A também foram significativos em todos os caracteres (ALT= 86,71; DAP= 14,68 e VOL= 92,68), indicando que existe diferenças significativas entre os genótipos dentro de cada local.

Tanto os valores para os efeitos de progênes (ALT= 80,26; DAP= 43,63 e VOL=86,06) quanto para os efeitos da interação GxA (ALT= 147,78; DAP= 156,79 e VOL=180,95) foram significativos pelo teste da LRT no estudo de Furlan, Moraes e Tambarussi (2020) em testes clonais de *Eucalyptus* spp.

Pupin *et al.* (2015) também encontraram valores significativos a 1% para os os efeitos de progênie, parcela e interação GxA, com exceção dos caracteres DAP (3,73) e VOL (5,20) no efeito de parcela.

As estimativas de parâmetros genéticos e componentes de variância foram obtidas para os três locais de estudo e encontram-se na Tabela 10.

Tabela 10 – Parâmetros genéticos e componentes de variância estimados para as características altura (ALT, m), diâmetro a altura do peito (DAP, cm) e volume ($\text{m}^3 \cdot \text{árv}^{-1}$), considerando a variável Z, na análise conjunta dos testes de progênie de segunda geração de *Eucalyptus urophylla*, em três ambientes distintos.

Parâmetros	ALT	DAP	VOL
$\hat{h}_g^2$	0,03±0,01	0,03±0,01	0,03±0,01
$\hat{h}_{mg}^2$	0,77	0,80	0,77
$\hat{c}_{\text{parc}}^2$	0,04	0,006	0,007
$\hat{c}_{\text{int}}^2$	0,01	0,01	0,01
$\hat{r}_{\text{gloc}}$	0,68	0,70	0,65
$r_{\hat{a}a}$	0,88	0,89	0,88
CV_{gi}	6,24	6,48	6,15
CV_e	15,76	14,47	14,49

($\hat{h}_g^2$): herdabilidade individual no sentido amplo, ou seja, dos efeitos genotípicos totais; ($\hat{h}_{mg}^2$): herdabilidade ajustada da média de genótipos; ($\hat{c}_{\text{parc}}^2$): coeficiente de determinação dos efeitos de parcela; ($\hat{c}_{\text{int}}^2$): coeficiente de determinação dos efeitos da interação genótipos × ambientes; ($\hat{r}_{\text{gloc}}$): correlação genotípica entre o desempenho nos vários ambientes; ($r_{\hat{a}a}$): acurácia da seleção de genótipos, assumindo sobrevivência completa; (CV_{gi}): coeficiente de variação genotípica; (CV_e): coeficiente de variação experimental. Fonte: dados da pesquisa da autora.

O coeficiente de determinação da interação genótipo × ambiente ($\hat{c}_{\text{int}}^2$) apresentou baixos níveis de variância em todos as variáveis (0,01), em contra partida, a correlação genotípica entre o desempenho das progênie e os ambientes ($\hat{r}_{\text{gloc}}$) foi alta (> 65%). De acordo com Vencovsky e Barriga (1992), valores elevados de $\hat{r}_{\text{gloc}}$ indicam que a interação entre os genótipo × ambiente é do tipo simples, ou seja, os genótipos apresentam comportamentos diferentes nos diferentes ambientes, mas a classificação de produtividade não é alterada entre ambientes (Morais *et al.*, 2013).

Resultados semelhantes foram observados por Pupin *et al.* (2015) avaliando cinco testes de progênie de *Eucalyptus urophylla* aos 24 meses e obteve um intervalo de variação do $\hat{c}_{\text{int}}^2$ de 1,72% a 2,36%, considerados baixos, e $\hat{r}_{\text{gloc}}$ maiores que 75%.

Moraes (2013), avaliando três testes de progênie de *Eucalyptus urophylla*, aos 12 e 24 meses de idade, encontraram valores para $\hat{r}_{\text{gloc}}$ acima de 60%, concluindo que a interação G×A também foi do tipo simples. Furlan *et al.* (2020), avaliando testes clonais de *Eucalyptus* spp. no estado do Maranhão verificaram a mesma tendência para estes parâmetros, onde o

$\hat{c}_{int}^2$ das variáveis altura, DAP e volume variaram de 0,11 a 0,20 e o $\hat{r}_{gloc}$ foram maiores que 70%.

O coeficiente de determinação dos efeitos de parcelas ($\hat{c}_{parc}^2$) apresentou valores de baixos níveis de variância para as variáveis estudadas. Segundo a classificação de Resende (2002), valores do coeficiente de determinação dos efeitos de parcelas menores que 0,1 (10%) são considerados como de baixa magnitude, e indicam que a variação ambiental entre as parcelas foi baixa e que as estimativas dos parâmetros genéticos é confiável.

Estes resultados corroboram com demais autores que observaram dados semelhantes para este coeficiente como, Pupin *et al.* (2015) que observaram variação entre 0,01 a 0,04 em cinco experimentos de *Eucalyptus urophylla*; e Miranda *et al.* (2015) verificaram variação de 0,003 a 0,01 em quatro experimentos de *Eucalyptus grandis*.

O coeficiente de variação genotípica (CVgi) para a análise conjunta apresentou valores similares entre as variáveis estudadas (Tabela 10) e indicam que existe variabilidade genética entre as progênies. Porém, segundo Miranda *et al.* (2015), quanto maior o valor de (CVgi), maiores as chances de se encontrar indivíduos superiores, ou com maiores valores de CVgi para os caracteres. Outros autores em estudos com de populações melhoradas de *Eucalyptus* verificaram valores para CVgi maiores do que o presente estudo como, no mínimo 17,5% (Miranda *et al.*, 2025), maiores que 9% (Furlan, Moraes e Tambarussi, 2020) e acima de 10,89% (Zulian, 2021).

Para os coeficientes de variação experimental (CVe) os valores foram considerados de magnitude média (>14%) e a acurácia de seleção de genótipos também foram altas (>88%), ambos indicam que houve uma boa precisão experimental (Tabela 10).

Os coeficientes de herdabilidade individual no sentido amplo ($\hat{h}_g^2$) observados para as variáveis do presente estudo foram similares entre si e de magnitude baixa, contudo considerados significativos, ou seja, com valores acima de zero (Tabela 10).

Tais resultados corroboram com os observados por Pupin *et al.* (2015) em progênies de *Eucalyptus urophylla* de cinco experimentos, onde tal parâmetro variou de 0,02 a 0,07. Santos *et al.* (2015) também verificaram resultados semelhantes em clones de *Eucalyptus*, com $\hat{h}_g^2$ variando de 0,02 a 0,17.

Já o coeficiente de herdabilidade da média de progênies ($\hat{h}_{mg}^2$) apresentou valores de nível alto (0,77 a 0,80) entre os caracteres, isso demonstra que as progênies apresentam

um alto controle genético dos caracteres e conseqüentemente a possibilidade de ganhos na seleção.

Miranda *et al.* (2015) também observaram resultados altos, acima de 0,90 para os caracteres ALT e DAP. Assim como Santos *et al.* (2015) ($>0,64$); Pupin *et al.* (2015) ($>0,84$); e Furlan *et al.* (2020) ($>0,80$).

Os resultados observados pela análise MHPRVG acerca da estabilidade (MHVG), adaptabilidade (PRVG) e simultaneamente da produtividade (MHPRVG) para a característica DAP estão apresentados na Tabela 11.

Tabela 11 – Ordenamento das progênies de segunda geração de *Eucalyptus urophylla* em três ambientes distintos, com base nos valores genéticos da estabilidade (MHVG), adaptabilidade (PRVG) e produtividade (MHPRVG) do caráter DAP (cm), considerando a variável Z.

Estabilidade			Adaptabilidade			Produtividade, estabilidade e adaptabilidade				
Ordem	Prog.	MHVG	Ordem	Prog.	PRVG	MG*PRVG	Ordem	Prog	MHPRVG	MG*MHPRVG
1	M3 Unesp	33,120	1	M3 Unesp	11,141	32,751	1	M3 Unesp	11,137	32,738
2	M146 Unesp	32,295	2	M146 Unesp	10,865	31,939	2	M146 Unesp	10,857	31,915
3	M42 Unesp	31,784	3	M42 Unesp	10,727	31,534	3	M42 Unesp	10,727	31,533
4	M61 Unesp	31,141	4	M61 Unesp	10,477	30,799	4	M61 Unesp	10,468	30,773
5	M16 Unesp	31,069	5	M16 Unesp	10,447	30,710	5	M16 Unesp	10,446	30,708
6	M24 Unesp	30,653	6	M24 Unesp	10,306	30,295	6	M24 Unesp	10,306	30,295
7	M139 Unesp	30,358	7	M139 Unesp	10,207	30,005	7	M139 Unesp	10,204	29,997
8	M82 Unesp	30,289	8	M82 Unesp	10,185	29,939	8	M82 Unesp	10,182	29,932
9	M29 Unesp	30,165	9	M29 Unesp	10,151	29,840	9	M29 Unesp	10,145	29,822
10	M95 Unesp	29,987	10	M95 Unesp	10,090	29,662	10	M95 Unesp	10,084	29,643
11	M33 Unesp	29,933	11	M33 Unesp	10,067	29,594	11	M33 Unesp	10,062	29,579
12	M17 Unesp	29,920	12	M17 Unesp	10,059	29,571	12	M17 Unesp	10,059	29,569
13	M97 Unesp	29,794	13	M97 Unesp	10,018	29,450	13	M97 Unesp	10,015	29,441
14	M21 Unesp	29,686	14	M21 Unesp	0,9984	29,349	14	M21 Unesp	0,9981	29,342
15	M71 Unesp	29,515	15	M71 Unesp	0,9924	29,174	15	M71 Unesp	0,9924	29,173
16	M87 Unesp	29,350	16	M87 Unesp	0,9868	29,010	16	M87 Unesp	0,9868	29,009
17	M94 Unesp	28,550	17	M94 Unesp	0,9639	28,334	17	M94 Unesp	0,9637	28,331
18	M138 Unesp	28,350	18	M138 Unesp	0,9532	28,020	18	M138 Unesp	0,9532	28,019
19	M55 Unesp	28,196	19	M55 Unesp	0,9482	27,873	19	M55 Unesp	0,9480	27,869
20	M108 Unesp	27,655	20	M108 Unesp	0,9301	27,340	20	M108 Unesp	0,9296	27,328
21	M99 Unesp	26,439	21	M99 Unesp	0,8890	26,133	21	M99 Unesp	0,8890	26,132
22	M67 Unesp	25,765	22	M67 Unesp	0,8664	25,468	22	M67 Unesp	0,8661	25,461

Nota: MG: Média geral. Fonte: dados da pesquisa da autora.

Foi possível verificar que as progênies de *Eucalyptus urophylla* de segunda geração coincidiram 100% pelo ordenamento dos critérios MHVG, PRVG e MHPRVG.

Segundo Pupin *et al.* (2015), quando ocorre essa coincidência elevada indica que as progênies mais produtivas são também as que apresentaram comportamento mais estável e maior adaptabilidade em todos os ambientes. Santos *et al.* (2015) observaram que a coincidência foi de 67% entre os cinco melhores clones de *Eucalyptus*, mas houve inversão de ordem entre os coincidentes. Pupin *et al.* (2015) verificaram para o critério estabilidade (MHPR) e considerando as 50 primeiras progênies a coincidência com o ordenamento de 32% e para a adaptabilidade (PRVG) foi de 40%. Resultados semelhantes ao deste estudo foram encontrados por Miranda (2012), avaliando 150 progênies de *Eucalyptus grandis*, ocorreu coincidência de 100% na classificação das dez primeiras progênies aos 12 meses de idade. E Moraes (2013) verificou em *Eucalyptus urophylla* que as melhores coincidiram com a análise conjunta de todos os locais.

4.3.4 Ganhos de seleção

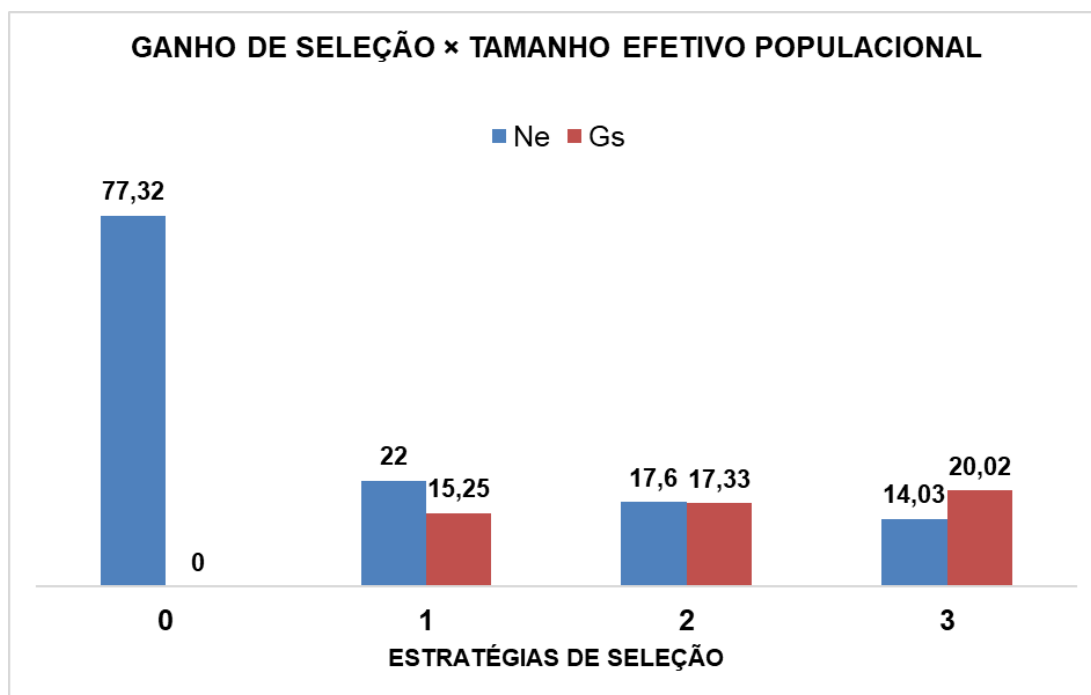
Os resultados das três estratégias utilizadas para a seleção de 22 indivíduos do TP2g-Selvíria, considerando o caráter DAP e com base nos valores genéticos ($g = a + d$), demonstraram que as maiores expectativas de ganho foram maiores pela estratégia 1 (20,02%), onde selecionou os melhores indivíduos, sem restrição do número de indivíduos que cada progênie pudesse contribuir (Tabela 12). As estimativas de diversidade genética ($\hat{D}$) e tamanho efetivo populacional (N_e) podem ser observadas na Figura 18.

Tabela 12 – Seleção dos 22 melhores indivíduos de *Eucalyptus urophylla* do TP2g localizado em Selvíria-MS, considerando o caráter DAP, de acordo com quatro estratégias de seleção: 0. ausência de seleção no TP2g-SEL em 2020; 1. o melhor indivíduo selecionado dentro de progênie; 2. dois melhores indivíduos de 11 progênies com maior MHPRVG; 3. melhores 22 indivíduos.

Estratégia 0			Estratégia 1			Estratégia 2			Estratégia 3		
Ordem	Progênie	Kf	Ordem	Progênie	Kf	Ordem	Progênie	Kf	Ordem	Progênie	Kf
1	M3 Unesp	30	1	M3 Unesp	1	1	M3 Unesp	2	1	M3 Unesp	1
2	M16 Unesp	27	2	M16 Unesp	1	2	M16 Unesp	2	2	M17 Unesp	2
3	M17 Unesp	21	3	M17 Unesp	1	3	M24 Unesp	2	3	M33 Unesp	3
4	M21 Unesp	27	4	M21 Unesp	1	4	M29 Unesp	2	4	M42 Unesp	3
5	M24 Unesp	23	5	M24 Unesp	1	5	M33 Unesp	2	5	M61 Unesp	4
6	M29 Unesp	21	6	M29 Unesp	1	6	M42 Unesp	2	6	M94 Unesp	1
7	M33 Unesp	24	7	M33 Unesp	1	7	M61 Unesp	2	7	M97 Unesp	1
8	M42 Unesp	27	8	M42 Unesp	1	8	M82 Unesp	2	8	M139 Unesp	5
9	M55 Unesp	30	9	M55 Unesp	1	9	M95 Unesp	2	9	M146 Unesp	2
10	M61 Unesp	22	10	M61 Unesp	1	10	M139 Unesp	2			
11	M67 Unesp	25	11	M67 Unesp	1	11	M146 Unesp	2			
12	M71 Unesp	20	12	M71 Unesp	1						
13	M82 Unesp	25	13	M82 Unesp	1						
14	M87 Unesp	25	14	M87 Unesp	1						
15	M94 Unesp	19	15	M94 Unesp	1						
16	M95 Unesp	29	16	M95 Unesp	1						
17	M97 Unesp	24	17	M97 Unesp	1						
18	M99 Unesp	22	18	M99 Unesp	1						
19	M108 Unesp	24	19	M108 Unesp	1						
20	M138 Unesp	29	20	M138 Unesp	1						
21	M139 Unesp	30	21	M139 Unesp	1						
22	M146 Unesp	27	22	M146 Unesp	1						
-	Total	551	-	Total	22			22	-	Total	22
-	$\hat{G}_s$	0,0%	-	$\hat{G}_s$	15,25%	-	$\hat{G}_s$	17,33%	-	$\hat{G}_s$	20,02%
-	N_e	77,32	-	N_e	22,0	-	N_e	17,60	-	N_e	14,03
-	$\hat{D}$	1,00	-	$\hat{D}$	1,00	-	$\hat{D}$	0,50	-	$\hat{D}$	0,54

Nota: Kf: número médio de indivíduos selecionados por família; $\hat{D}$: diversidade genética; N_e : tamanho efetivo populacional; $\hat{G}_s$: ganho de seleção. Fonte: dados da pesquisa da autora.

Figura 18 – Ganho de seleção e tamanho efetivo populacional dos 22 melhores indivíduos de *Eucalyptus urophylla* do TP2g localizado em Selvíria-MS, considerando o caráter DAP, de acordo com quatro estratégias de seleção: 0. ausência de seleção no TP2g-SEL em 2020; 1. o melhor indivíduo selecionado dentro de progênie; 2. dois melhores indivíduos de 11 progênes com maior MHPRVG; 3. melhores 22 indivíduos.



Fonte: Dados da pesquisa da autora.

Estes resultados corroboram com os encontrados por Pupin *et al.* (2015), em cinco testes de progênes de *Eucalyptus urophylla*, para o caráter DAP, avaliado aos 24 meses de idade, onde pela estratégia considerando a escolha dos melhores indivíduos a autora observou o ganho mais expressivos de 19,09%, a diversidade genética oscilou de 0,35 a 0,50 e o tamanho efetivo populacional foi maior no local Selvíria-MS (≈ 258). Por outra estratégia (S2) avaliada pela mesma autora, os maiores ganhos genéticos foram 13,11%, o maior Ne foi 413 e a diversidade genética foi à mesma (1,00) em todos os locais.

Santos *et al.* (2015) relataram ganhos de seleção na ordem de 43%, em relação à média geral do experimento, quando utilizaram o caráter volume ($m^3.ha.ano^{-1}$) e a estratégia de seleção com os cinco melhores clones de uma rede de testes clonais com 864 clones de *Eucalyptus* instalados em quatro ambientes do estado do Rio Grande do Sul.

Miranda *et al.* (2015) observaram na seleção de progênes de *Eucalyptus grandis* para DAP aos 24 meses de idade, em quatro locais, utilizando o índice de multi-efeitos

(IME) para as estimativas de tamanho efetivo populacional variando de 92 a 154, a diversidade genética variando de 0,18 a 0,37 e os ganhos na seleção variando de 23,5 a 34,9%.

Zulian (2021) verificou em dois testes de progênies de *Eucalyptus grandis* no município de Selvíria-MS que a seleção, com base no caráter DAP, proporcionou estimativas de ganhos de 8,90%, tamanho efetivo populacional de 30,1% e diversidade genética de 0,79 para o teste 1. E no teste 2, verificou ganhos de 4,9%, tamanho efetivo populacional de 34,5% e uma diversidade genética de 0,84.

O fato do ganho de seleção ter apresentado melhores resultados pela estratégia 3, indica que ao utilizar essa estratégia as progênies contribuiriam com mais indivíduos do que pelas outras e portanto haveria uma maior representação genética.

Deste modo, a escolha da estratégia de seleção dos melhores indivíduos irá depender do objetivo futuro, por exemplo, para a formação de um teste clonal, a melhor tomada de decisão seria optar pela estratégia que apresentou os maiores ganhos genéticos esperado na população.

Já para a formação de pomares de sementes por mudas, a escolha da estratégia mais adequada seria a qual apresentou as melhores estimativas de tamanho efetivo populacional e diversidade genética, pois desta forma irão se manter níveis elevados de variabilidade genética das progênies que contribuirão no futuro com novos cruzamentos entre os indivíduos.

4.4 CONCLUSÕES

A avaliação genômica a partir de marcas de locos microssatélites é inviável para essa população que originou os testes de progênies de segunda geração de *Eucalyptus urophylla*.

Existe variação genética nos três testes de progênies de segunda geração de *Eucalyptus urophylla* e com potencial para utilização das progênies em programas de melhoramento genético e seleção de clones.

A interação Genótipo × Ambiente não é significativa, o que permite indicar progênies para plantios nos três locais. Apenas o fator progênies na análise conjunta é significativo, confirmando que existem diferenças genéticas entre as progênies e há a possibilidade de se obter ganhos com a seleção.

A análise realizada pelo método MHPRVG demonstrou que as progênies mais produtivas são também as que apresentaram comportamento mais estável e maior adaptabilidade em todos os ambientes, o que indica que a seleção das melhores progênies é promissora.

A estratégia de seleção 3 baseada nos melhores indivíduos permite alcançar maiores ganhos de seleção para o TP2G-Selvíria e é indicada para composição de um teste clonal. As estimativas de diversidade genética e tamanho efetivo populacional são adequadas para recomendar a transformação do teste de progênies de segunda geração em um pomar de sementes por mudas de segunda geração.

REFERÊNCIAS

- ABAD, J. I. M. **Diversidade genética por meio de marcadores moleculares e predição de ganhos em *Eucalyptus* spp.** 2003. 98 f. Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2003.
- BATISTA, C. M.; FREITAS, M. L. M.; MORAES, M. A.; ZANATTO, A. C. S.; SANTOS, P. C.; ZANATA, M.; MORAES, M. L. T.; SEBBENN, A. M. Estimativas de parâmetros genéticos e a variabilidade em procedências e progênies de *Handroanthus vellosi*. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, v. 32, n. 71, p. 269-276, 2012.
- FERREIRA, F. A. **Patologia florestal**: principais doenças florestais no Brasil. Viçosa: Sociedade Brasileira de investigações Florestais, 1989. 570 p.
- FLORES, T. B.; ALVARES, C. A.; SOUZA, V. C.; STAPE, J. L. **Eucalyptus no Brasil**: zoneamento climático e guia para identificação. Piracicaba: IPEF, 2016. 447 p.
- FOWLER, J. A. P. Produção, tecnologia e uso das sementes de eucalipto no Brasil. In.: OLIVEIRA, E. B.; PINTO JÚNIOR, J. E. **O eucalipto e a Embrapa**: quatro décadas de pesquisa e desenvolvimento. 1. ed. Brasília: EMBRAPA, 2021. Cap. 21. p. 796 – 821.
- FRITSCHÉ-NETO, R.; RESENDE, M.D. V.; MIRANDA, G. V.; DO VALE, J. C. Seleção genômica ampla e novos métodos de melhoramento do milho. **Ceres**, Viçosa, MG, v. 59, n.6, p. 794-802, 2012.
- FURLAN, R. A.; MORAES, C.B.; TAMBARUSSI, E. V. Genetic parameters of *Eucalyptus* spp. clones in northeastern Brazil. **Floresta**, Curitiba, v. 50, n. 2, p. 1267-1278, 2020.
- GRANATO, I. S. C.; MARINHO, C. D.; ALMEIDA FILHO, J. E.; RESENDE, M. D. V.; SILVA, F. F.; FERREIRA, K. C. Z.; ROSSE, L. N.; SANSALONI, C. P.; PETROLI, C. D.; GRATAPAGLIA, D. Seleção de marcadores para os métodos RR-BLUP e BLASSO na seleção genômica ampla. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE MELHORAMENTO DE PLANTAS, 7., 2013, Uberlândia. **Resumos** [...] Uberlândia: [s. n.], 2013.
- HENRIQUES, E. P.; NUNES, A. C. P.; MORAES, M. L. T. de; RESENDE, M. D. V. de; SEBBENN, A. M.; MORAES, M. A. de. Genetic selection in *Eucalyptus* full-sibs families for charcoal production. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 46, n. 119, p. 405-413, set. 2018.
- IBÁ, Indústria brasileira de árvores. **Relatório IBÁ 2023**. 88 p. 2023. Disponível em: <https://iba.org/datafiles/publicacoes/relatorios/relatorio-anual-iba2023-r.pdf> Acesso: 01 nov. 2023.
- MIRANDA, A.C. **Produtividade, estabilidade e adaptabilidade em progênies de *Eucalyptus grandis***. 2012. 56 f. Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Ciências Agrônomicas - FCA, Universidade Estadual Paulista - UNESP, Botucatu, 2012.

MIRANDA, A. C.; MORAES, M. L. T. de; SILVA, P. H. M.; SEBBENN, A. M. Genetic gain in the selection by multi-effects index in open-pollinated progenies of *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 43, n. 105. 2015.

MORAES, C.B. **Variabilidade genética em progênes de polinização aberta de *Eucalyptus urophylla* para tolerância ao frio**. 2013. 90 f. Tese (Doutorado)- Faculdade de Ciências Agronômicas - FCA, Universidade Estadual Paulista - UNESP, Botucatu, 2013.

NOGUEIRA, T. A. P. C.; NUNES, A. C. P.; SANTOS, G. A. dos; TAKAHASHI, E. K.; RESENDE, M. D. V. de; CORRADI, I. S. Genetic evaluation of *Eucalyptus* full-sib progenies and optimization of selection. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 47, n. 123, p. 451-462, set. 2019.

OLIVEIRA JUNIOR, J. C. **Seleção precoce, otimização de ganhos e diversidade genética em progênes de *Eucalyptus urophylla***. 2022. 87 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" Faculdade de Engenharia, Ilha Solteira, 2022.

PEREIRA, M. B.; VENCOVSKY, R. Limites da seleção recorrente: I. Fatores que afetam as frequências alélicas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 23, n. 7, p. 769-780, 1988.

PUPIN, S. **Diversidade genética, sistema de reprodução e parentesco em progênes de *Eucalyptus urophylla* S.T. Blake**. 2018. 143 f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" Faculdade de Engenharia, Ilha Solteira, 2018.

RESENDE, M. D. V. **Genética biométrica e estatística no melhoramento de plantas perenes**. Brasília: EMBRAPA, Informação Tecnológica, 2002. 975 p.

RESENDE, M. D. V. **Software SELEGEM – REML/BLUP: sistema estatístico e seleção genética computadorizada via modelos lineares mistos**. Colombo: Embrapa Florestas, 2007a. 359 p.

RESENDE, M. D. V. **Matemática e estatística na análise de experimento e no melhoramento genético**. Colombo: Embrapa Florestas, 2007b. 362 p.

RESENDE, M. D. V. **SELEGEM Genômica RR-BLUP**. Sistema de Seleção Genômica Ampla (GWS) computadorizada via modelos lineares mistos. CD-ROM. 2007c.

RESENDE, M. D. V.; RESENDE JR, M. F. R. R.; AGUIAR, A. M.; ABAD, J. I. M.; MISSIAGGIA, A. A.; SANSALONI, C.; PETROLI, C.; GRATTAPAGLIA, D. **Computação da seleção genômica ampla (GWS)**. Colombo, Embrapa Florestas, 2010. 79 p. (Documentos, 210).

RESENDE, M. D. V. **Genética quantitativa e de populações**. Viçosa, MG: Suprema. 2015. 463 p.

RESENDE, M. D. V. Software Selegen – REML/BLUP: a useful tool for plant breeding. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, Viçosa, MG, v. 16, n. 4, p. 330-339, 2016.

ROCHA, M. G. B.; PIRES, I. E.; ROCHA, R. B.; XAVIER, A.; CRUZ, C. D. Seleção de genitores de *Eucalyptus grandis* e de *Eucalyptus urophylla* para produção de híbridos interespecíficos utilizando REML/BLUP e informação de divergência genética. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 31, n. 6, p. 977-987, 2007.

ROSADO, A. M., ROSADO, T. B., RESENDE JÚNIOR, M. F. R., BHERING, L. L., & CRUZ, C. D. Ganhos genéticos preditos por diferentes métodos de seleção em progênies de *Eucalyptus urophylla*. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 44, n. 12, 1653–1659, 2009.

ROSADO, A. M.; ROSADO, T. B.; ALVES, A. A.; LAVIOLA, B. G.; BHERING, L. L. Seleção simultânea de clones de eucalipto de acordo com produtividade, estabilidade e adaptabilidade. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 47, n. 7, p. 964-971, 2012.

SANTOS, G. O.; HERNANDEZ, F. B. T. Uso do solo e monitoramento dos recursos hídricos no córrego do Ipê, Ilha Solteira, SP. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 17, n. 1, p. 60-68, 2012.

SANTOS, G. A., RESENDE, M. D. V., SILVA, L. D., HIGA, A., ASSIS, T. F. Interação genótipos x ambientes para produtividade de clones de *Eucalyptus* L'Hér. no estado do Rio Grande Do Sul. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 39, n. 1, p. 81–91, 2015.

SANTOS, H. G.; ALMEIDA, J. A.; FILHO, J. C. A.; OLIVEIRA, J. B.; CUNHA, T. J. F. **Sistema brasileiro de classificação de solos**, Brasília, DF: EMBRAPA, 2018. 357 p.

SANTOS, A.; LAVIOLA, B. G.; CARNEIRO, A. S.; COMBY, A. C. O.; GOMES, E. S.; FERREIRA, A. G. C.; ROCHA, L. S.; COLLI, W. B.; SANTOS, J. V. J.; FALCÃO, R.; MARANA, J. C.; RODRIGUES, E. V. Acurácia e eficiência da seleção genômica para ganhos na produtividade de grãos em pinhão-mansão. In: CONGRESSO DA REDE BRASILEIRA DE TECNOLOGIA DE BIODIESEL, 7., 2019, Florianópolis. **Resumos** [...] Florianópolis: [s. n.], 2019.

SEBBENN, A. M.; SIQUEIRA, A. C. M. F.; KAGEYAMA, P. Y.; MACHADO, J. A. R. Parâmetros genéticos na conservação da cabreúva – *Myroxylon peruiferum* L.F. Allemão. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, n. 53, p. 31-38, 1998.

SILVA, P. H. M.; ARAUJO, M. J.; LEE, D. J.; BUSH, D.; BARONI, G. R.; DE PAULA, R. C. Adaptability and stability of novel eucalypt species and provenances across environments in Brazil at two assessment. **New Forests**, Dordrecht, v. 53, p. 779–796, 2022.

SUMATHI, M.; YASODHA, R. Microsatellite resources of *Eucalyptus*: current status and future perspectives. **Botanical Studies**, Heidelberg, v. 55, n. 73, p. 1-18, 2014.

VENCOVSKY, R.; BARRIGA, P. **Genética biométrica no fitomelhoramento**.
Ribeirão Preto: Sociedade Brasileira de Genética, 1992. 496 p.

ZULIAN, D. F. **Estratégias para produção de sementes melhoradas de *Myracrodruon urundeuva* e *Eucalyptus grandis* na região leste do Mato Grosso do Sul**. 2013. 90 f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira-FEIS, Universidade Estadual Paulista - UNESP, Ilha Solteira, 2021.

APÊNDICE A1 – Dados a cerca dos caracteres de crescimento (altura e DAP), família genética e a posição do ordenamento de seleção dos indivíduos de *Eucalyptus urophylla* de cada população com idades diferentes que emitiram brotações em cada estratégias de resgate ou por ambas.

População: PSM Espécie: <i>Eucalyptus urophylla</i> Idade: 28 anos					
Indivíduo (campo)	Família	Altura (m)	DAP (cm)	Ordenamento de seleção	Estratégia de resgate com brotações
226 (Pai)	27	46	47,7	Baseada nos melhores cruzamentos, não havendo uma posição para cada genitor.	Galhos da copa/ Ramos foliares
31 (Pai)	28	42,5	49,4		Galhos da copa/ Ramos foliares
332 (Pai)	41	25	27,7		Galhos da copa/ Ramos foliares
10 (Matriz)	41	46	62,2		Galhos da copa/ Ramos foliares
236 (Matriz)	23	36	41,4		Galhos da copa/ Ramos foliares
299 (Pai)	38	46,4	45,6		Galhos da copa/ Ramos foliares
261 (Pai)	1	34,9	32,4		Galhos da copa/ Ramos foliares
212 (Matriz)	1	32	34,8		Galhos da copa/ Ramos foliares
171 (Pai)	13	48	51,1		Galhos da copa/ Ramos foliares
168 (Pai)	56	46	46,2		Galhos da copa/ Ramos foliares
86 (Matriz)	1	44,5	47,6		Galhos da copa/ Ramos foliares
1 (Matriz)	44	49	63,4		Galhos da copa/ Ramos foliares
11 (Pai)	44	42	46,3		Galhos da copa/ Ramos foliares
155 (Matriz)	39	35,8	42,7		Ramos foliares
533 (Pai)	3	41	44		Ramos foliares
99 (Pai)	13	41	53,7		Ramos foliares
129 (Pai)	55	37,4	34,8		Ramos foliares
20 (Matriz)	28	49,3	53,9		Ramos foliares
116 (Pai)	19	46	52,1		Galhos da copa
118 (Matriz)	20	44,5	46,7		Galhos da copa

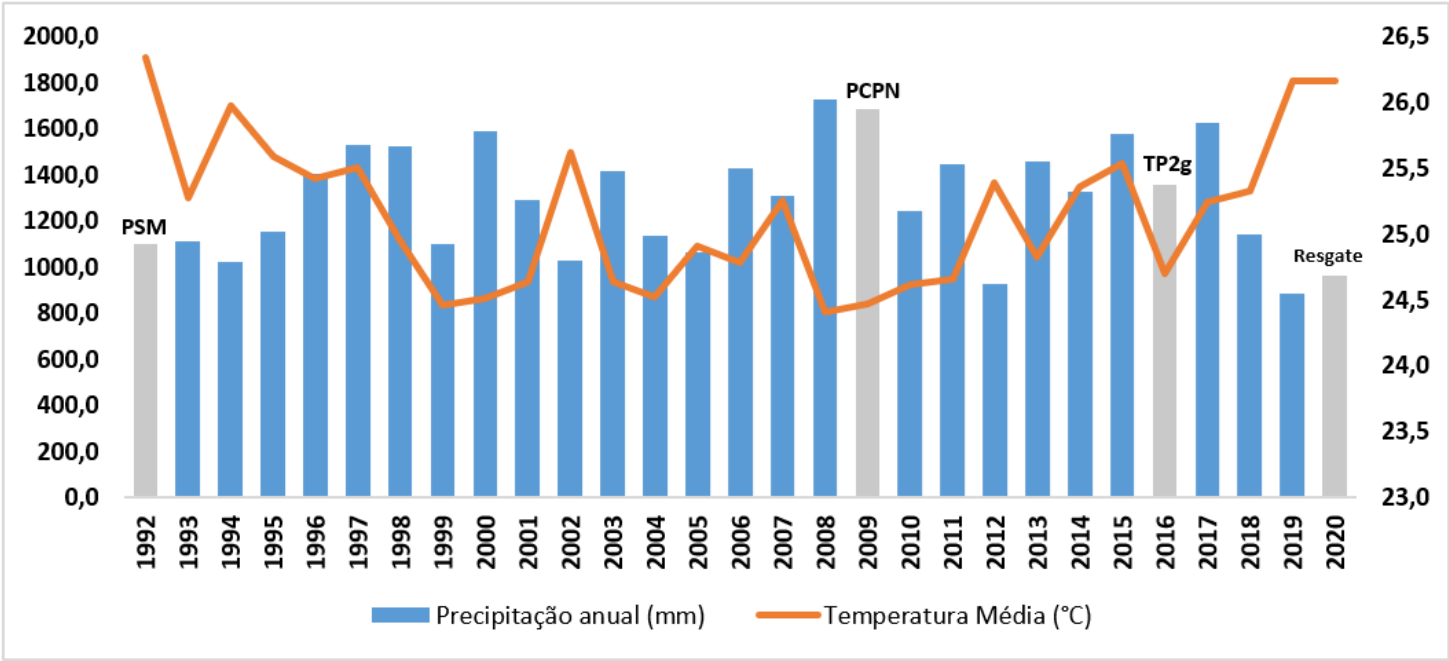
APÊNDICE A2 – Dados a cerca dos caracteres de crescimento (altura e DAP), família genética e a posição do ordenamento de seleção dos indivíduos de *Eucalyptus urophylla* de cada população com idades diferentes que emitiram brotações em cada estratégias de resgate ou por ambas.

População: PCPN Espécie: <i>Eucalyptus urophylla</i> Idade: 11 anos				
Prog. Rep. Árv.	Altura (m)	DAP (cm)	Ordenamento de seleção	Estratégia de resgate com brotações
143.4.3	NA	43,9	5	Galhos da copa/ Ramos foliares
148.3.5	NA	38,2	40	Galhos da copa/ Ramos foliares
98.5.2	NA	46,2	2	Galhos da copa/ Ramos foliares
139.1.5	NA	42,7	6	Galhos da copa/ Ramos foliares
108.1.4	NA	36	33	Galhos da copa/ Ramos foliares
97.1.3	NA	36,9	38	Galhos da copa/ Ramos foliares
95.1.4	NA	36,5	26	Galhos da copa/ Ramos foliares
52.4.1	NA	40,7	75	Galhos da copa/ Ramos foliares
80.1.5	NA	38,9	16	Galhos da copa/ Ramos foliares
54.4.5	NA	40,4	24	Galhos da copa/ Ramos foliares
82.3.1	NA	36,6	21	Galhos da copa/ Ramos foliares
142.1.1	NA	36,6	41	Galhos da copa/ Ramos foliares
24.4.5	NA	41,4	64	Galhos da copa/ Ramos foliares
166.1.2	NA	33,7	34	Galhos da copa/ Ramos foliares
60.1.3	NA	34,7	32	Galhos da copa/ Ramos foliares
9.3.2	NA	38,5	44	Galhos da copa/ Ramos foliares
56.1.4	NA	36,2	56	Ramos foliares
104.4.3	NA	41,4	50	Ramos foliares
74.5.2	NA	35	110	Ramos foliares
94.4.5	NA	41,4	14	Galhos da copa
84.1.3	NA	37,1	52	Galhos da copa

APÊNDICE A3 – Dados a cerca dos caracteres de crescimento (altura e DAP), família genética e a posição do ordenamento de seleção dos indivíduos de *Eucalyptus urophylla* de cada população com idades diferentes que emitiram brotações em cada estratégias de resgate ou por ambas.

População: TP2 ^a G Espécie: <i>Eucalyptus urophylla</i> Idade: 4 anos				
Prog. Rep. Árv.	Altura (m)	DAP (cm)	Ordenamento de seleção	Estratégia de resgate com brotações
6.1.1	24,8	22,9	1	Galhos da copa/ Ramos foliares
23.2.2	21,3	23,4	37	Galhos da copa/ Ramos foliares
6.4.4	25	23,9	4	Galhos da copa/ Ramos foliares
22.6.6	22,1	18,3	17	Galhos da copa/ Ramos foliares
7.11.11	27	22,3	73	Galhos da copa/ Ramos foliares
22.8.8	24,6	20,1	12	Galhos da copa/ Ramos foliares
22.13.13	24	21,7	10	Galhos da copa/ Ramos foliares
14.26.26	26,5	23,2	39	Galhos da copa/ Ramos foliares
17.28.28	22,5	22	48	Galhos da copa/ Ramos foliares
12.6.6	23,8	19,7	41	Galhos da copa/ Ramos foliares
23.7.7	20,9	21,3	44	Galhos da copa/ Ramos foliares
9.20.20	21,3	22,9	43	Galhos da copa/ Ramos foliares
14.14.33	22,8	18,1	52	Galhos da copa/ Ramos foliares
23.22.22	23,2	19,4	49	Galhos da copa/ Ramos foliares
2.26.50	24	21,3	94	Galhos da copa/ Ramos foliares
11.2.2	22,7	21,5	68	Galhos da copa/ Ramos foliares
13.11.11	20,4	16,2	133	Galhos da copa/ Ramos foliares
22.3.3	23,5	19,1	13	Ramos foliares
6.3.3	22,4	16,6	18	Ramos foliares
2.22.46	21,3	16,4	207	Ramos foliares
6.15.15	23,9	20,6	2	Ramos foliares
7.15.15	26	19,9	104	Ramos foliares
2.23.47	24	20,8	86	Ramos foliares
10.1.1	24,3	25,3	38	Galhos da copa

APÊNDICE B – Dados climáticos históricos da região de Selvíria-MS onde foram instalados os testes PSM-TPR-EU e o TP2G-Selvéria.



Fonte: Canal Clima Unesp FEIS (2023).

ANEXO A – Caracterização nutricional do solo onde foram instalados os testes PSM-TPR-EU e o TP2G-Selvíria no bioma cerrado

Amostra: PSM-TPR-EU 0-20

P - resina	MO	pH	K	Ca	Mg	H+Al	Al	SB	S-SO ₄
Fósforo	Mat. Org.	pH	Potássio	Cálcio	Magnésio	Ac.Potencial	Alumínio	Soma Bases	Enxofre
mg/dm ³	g/dm ³	CaCl ₂	mmolc/dm ³	mmolc/dm ³	mmolc/dm ³	mmolc/dm ³	mmolc/dm ³	mmolc/dm ³	mg/dm ³
4	19	4.3	1.2	9	11	42	6	21.2	2
CTC	V	Ca/CTC	Mg/CTC	m	B	Cu	Fe	Mn	Zn
Cap.Troca Cat.	Sat. Bases	Ca na CTC	Mg na CTC	Sat. Alumínio	Boro	Cobre	Ferro	Manganês	Zinco
mmolc/dm ³	%	%	%	%	mg/dm ³	mg/dm ³	mg/dm ³	mg/dm ³	mg/dm ³
63.2	34	14	17	22	0.07	2.4	38	15.8	0.2

Amostra: PSM-TPR-EU 20-40

P - resina	MO	pH	K	Ca	Mg	H+Al	Al	SB	S-SO ₄
Fósforo	Mat. Org.	pH	Potássio	Cálcio	Magnésio	Ac.Potencial	Alumínio	Soma Bases	Enxofre
mg/dm ³	g/dm ³	CaCl ₂	mmolc/dm ³	mmolc/dm ³	mmolc/dm ³	mmolc/dm ³	mmolc/dm ³	mmolc/dm ³	mg/dm ³
2	13	4.0	0.6	3	3	52	15	6.6	2
CTC	V	Ca/CTC	Mg/CTC	m	B	Cu	Fe	Mn	Zn
Cap.Troca Cat.	Sat. Bases	Ca na CTC	Mg na CTC	Sat. Alumínio	Boro	Cobre	Ferro	Manganês	Zinco
mmolc/dm ³	%	%	%	%	mg/dm ³	mg/dm ³	mg/dm ³	mg/dm ³	mg/dm ³
58.6	11	5	5	69	0.17	1.8	18	5.2	0.1

Amostra: PSM-TPR-EU 40-60

P - resina	MO	pH	K	Ca	Mg	H+Al	Al	SB	S-SO ₄
Fósforo	Mat. Org.	pH	Potássio	Cálcio	Magnésio	Ac.Potencial	Alumínio	Soma Bases	Enxofre
mg/dm ³	g/dm ³	CaCl ₂	mmolc/dm ³	mmolc/dm ³	mmolc/dm ³	mmolc/dm ³	mmolc/dm ³	mmolc/dm ³	mg/dm ³
1	11	4.1	0.5	3	2	38	11	5.5	13
CTC	V	Ca/CTC	Mg/CTC	m	B	Cu	Fe	Mn	Zn
Cap.Troca Cat.	Sat. Bases	Ca na CTC	Mg na CTC	Sat. Alumínio	Boro	Cobre	Ferro	Manganês	Zinco
mmolc/dm ³	%	%	%	%	mg/dm ³	mg/dm ³	mg/dm ³	mg/dm ³	mg/dm ³
43.5	13	7	5	67	0.03	1.0	6	1.3	0.1

Amostra: TP2G-TPR-EU- 0-20

P - resina	MO	pH	K	Ca	Mg	H+Al	Al	SB	S-SO ₄
Fósforo	Mat. Org.	pH	Potássio	Cálcio	Magnésio	Ac.Potencial	Alumínio	Soma Bases	Enxofre
mg/dm ³	g/dm ³	CaCl ₂	mmolc/dm ³	mmolc/dm ³	mmolc/dm ³	mmolc/dm ³	mmolc/dm ³	mmolc/dm ³	mg/dm ³
9	19	4.4	1.1	10	11	47	6	22.1	2
CTC	V	Ca/CTC	Mg/CTC	m	B	Cu	Fe	Mn	Zn
Cap.Troca Cat.	Sat. Bases	Ca na CTC	Mg na CTC	Sat. Alumínio	Boro	Cobre	Ferro	Manganês	Zinco
mmolc/dm ³	%	%	%	%	mg/dm ³	mg/dm ³	mg/dm ³	mg/dm ³	mg/dm ³
69.1	32	14	16	21	0.04	4.3	25	26.1	0.6

Amostra: TP2G-TPR-EU- 20-40

P - resina	MO	pH	K	Ca	Mg	H+Al	Al	SB	S-SO ₄
Fósforo	Mat. Org.	pH	Potássio	Cálcio	Magnésio	Ac.Potencial	Alumínio	Soma Bases	Enxofre
mg/dm ³	g/dm ³	CaCl ₂	mmolc/dm ³	mmolc/dm ³	mmolc/dm ³	mmolc/dm ³	mmolc/dm ³	mmolc/dm ³	mg/dm ³
2	13	4.8	0.6	10	6	31	2	16.6	21
CTC	V	Ca/CTC	Mg/CTC	m	B	Cu	Fe	Mn	Zn
Cap.Troca Cat.	Sat. Bases	Ca na CTC	Mg na CTC	Sat. Alumínio	Boro	Cobre	Ferro	Manganês	Zinco
mmolc/dm ³	%	%	%	%	mg/dm ³	mg/dm ³	mg/dm ³	mg/dm ³	mg/dm ³
47.6	35	21	13	11	0.05	2.0	9	8.8	0.1

Amostra: TP2G-TPR-EU- 40-60

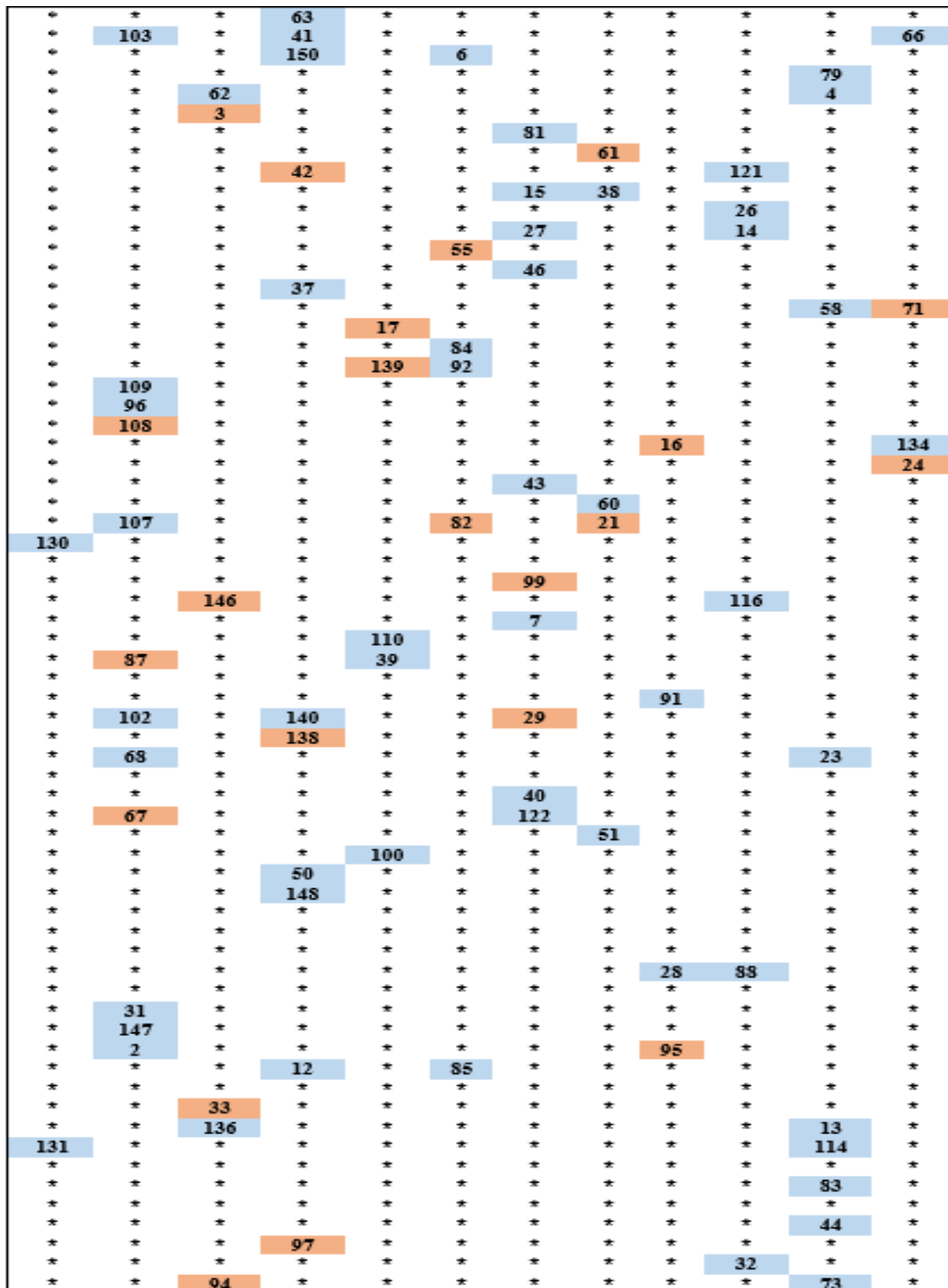
P - resina	MO	pH	K	Ca	Mg	H+Al	Al	SB	S-SO ₄
Fósforo	Mat. Org.	pH	Potássio	Cálcio	Magnésio	Ac.Potencial	Alumínio	Soma Bases	Enxofre
mg/dm ³	g/dm ³	CaCl ₂	mmolc/dm ³	mmolc/dm ³	mmolc/dm ³	mmolc/dm ³	mmolc/dm ³	mmolc/dm ³	mg/dm ³
1	11	5.3	0.5	9	6	22	0	15.5	30
CTC	V	Ca/CTC	Mg/CTC	m	B	Cu	Fe	Mn	Zn
Cap.Troca Cat.	Sat. Bases	Ca na CTC	Mg na CTC	Sat. Alumínio	Boro	Cobre	Ferro	Manganês	Zinco
mmolc/dm ³	%	%	%	%	mg/dm ³	mg/dm ³	mg/dm ³	mg/dm ³	mg/dm ³
37.5	41	24	16	0	0.08	1.0	4	3.5	0.1

ANEXO B – Famílias remanescentes PSM-TPR-EU após o desbaste realizado aos 20 anos de idade, quantidade de árvores remanescentes por progênie (k_f), identificação das árvores matrizes onde foram coletadas as sementes para formação do TP2g-Sel, e caracteres silviculturais (Altura e DAP) obtidos em 2021, em Selvíria-MS.

Ordem	Família	k_f	Árvore Matriz	Altura* (m)	DAP* (cm)
1	2	2	71	42,8	47,2
2	4	1	42	-	47,3
3	5	1	82	39,7	50,3
4	6	9	108	41,2	45,5
5	7	2	139	38,1	38,1
6	8	4	138	42,9	36,4
7	9	1	146	38,5	45,7
8	10	2	33	41,6	52,6
9	11	7	55	43,3	45,5
10	12	3	16	44,9	59,3
11	13	6	29	44,8	55,3
12	14	2	24	48,4	54,9
13	15	3	17	43,5	52,1
14	16	1	94	35,2	50,9
15	17	3	95	43,1	47,1
16	18	3	61	42,3	45,2
17	19	4	67	35,6	44,1
18	20	4	3	43,0	59,5
19	21	1	97	35,0	48,8
20	22	3	99	35,7	34,7
21	23	7	87	38,3	33,9
22	25	3	21	41,7	47,7
Total	22	73	22	-	-
Média	-	-	-	39,5	46,7
Desvio-padrão	-	-	-	9,0	8,1

Nota: Valores referente às mensurações da árvore matriz (*); Diâmetro a altura do peito (DAP). Fonte: adaptado de Pupin (2018).

ANEXO C – Croqui e distribuição das árvores matrizes do PSM-TPR-EU de *Eucalyptus urophylla*, localizado em Selvíria-MS. Coloração laranja indicando as matrizes em que foram coletadas sementes



Fonte: Pupin (2018).