

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA - UNESP
Faculdade de Engenharia - Campus de Ilha Solteira

JULIELLY ALVES DOS SANTOS

**Capacidade geral e específica de competição de clones de eucalipto aos 60 meses e
seleção de compostos multigenotípicos**

Ilha Solteira
2026

JULIELLY ALVES DOS SANTOS

Capacidade geral e específica de competição de clones de eucalipto aos 60 meses e seleção de compostos multigenotípicos

Trabalho de Conclusão de curso apresentada à Universidade Estadual Paulista (UNESP), Faculdade de Engenharia, Ilha Solteira, para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Agrônômica.

Orientador(a): Prof. Dr. Bruno Ettore Pavan

Ilha Solteira
2026

FICHA CATALOGRÁFICA

Desenvolvido pelo Serviço Técnico de Biblioteca e Documentação

S237c Santos, Julielly Alves dos.
Capacidade geral e específica de competição de clones de eucalipto aos 60 meses e seleção de compostos multigenotípicos / Julielly Alves dos Santos. -- Ilha Solteira: [s.n.], 2026
40 f. : il.

Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Engenharia Agrônômica) - Universidade Estadual Paulista (UNESP), Faculdade de Engenharia, Ilha Solteira, 2026

Orientador: Bruno Ettore Pavan

Inclui bibliografia

1. Alocompetição. 2. Autocompetição. 3. Diversidade genética. 4. Eucalyptus Spp. 5. Melhoramento genético florestal. 6. Produtividade florestal.

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA "JÚLIO DE MESQUITA FILHO" FACULDADE
DE ENGENHARIA – CÂMPUS DE ILHA SOLTEIRA - CURSO DE ZOOTECNIA**

ATA DA DEFESA – TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

TÍTULO: "CAPACIDADE GERAL E ESPECÍFICA DE COMPETIÇÃO DE EUCALIPTO AOS 60 MESES E SELEÇÃO DE COMPOSTO MULTIGENOTÍPICOS".

ALUNA: JULIELLY ALVES DOS SANTOS - RA: 202054551

ORIENTADOR: BRUNO ETTORE PAVAN

Aprovado (X) Reprovado () pela Comissão Examinadora.

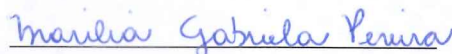
Comissão Examinadora: 8,75



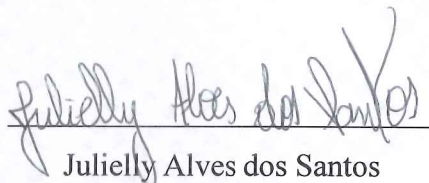
Prof. Dr. Bruno Ettore Pavan (Orientador)



Eng^a.Florestal Msc^a. Talita Carvalho de Souza Santos (Doutoranda em Agronomia)



Bióloga Msc^a. Marília Gabriela Pereira (Doutoranda em Agronomia)



Julielly Alves dos Santos

Aluna

Ilha Solteira (SP), 04 de julho de 2026.

Dedico este trabalho aos meus pais, que, sob muito sol e com inúmeros sacrifícios, fizeram com que eu chegasse até aqui...

AGRADECIMENTOS

A conclusão deste trabalho representa muito mais do que o encerramento de uma etapa acadêmica; simboliza a concretização de um sonho construído ao longo de anos de dedicação, superação de desafios, constantes aprendizados e profundo crescimento pessoal. Ao olhar para trás, percebo com clareza que esta conquista jamais teria sido alcançada de forma solitária.

Agradeço primeiramente a Deus, por me conceder força, saúde, sabedoria e perseverança para seguir em frente mesmo diante das maiores dificuldades. Em muitos momentos, quando o caminho parecia incerto, foi a fé que me sustentou e me permitiu continuar.

À minha família, dedico esta conquista com todo o meu amor e gratidão. Obrigado por sempre acreditarem em mim, apoiarem minhas escolhas e permanecerem ao meu lado em todas as etapas. Cada incentivo, palavra de conforto e gesto de carinho foram essenciais para que eu chegasse até aqui. Esta vitória não é apenas minha, mas de todos vocês, que sempre foram minha base, meu porto seguro e minha maior fonte de inspiração.

Aos meus pais, Alessandra e Silvano, expresso minha mais profunda e eterna gratidão. Obrigado por todos os sacrifícios realizados para que eu pudesse estudar e perseguir meus objetivos. Obrigado pelo amor incondicional, pelos ensinamentos, pela confiança e por nunca terem deixado que eu desistisse dos meus sonhos. Tudo o que sou hoje carrega um pouco de vocês, e espero poder retribuir todo o orgulho e dedicação que sempre me dedicaram.

Aos meus avós maternos e paternos, agradeço por todo amor, cuidado e pelos valores transmitidos ao longo da minha vida. Vocês foram e continuam sendo exemplos de força, honestidade e perseverança. Tenho muito orgulho de carregar um pouco da história e dos ensinamentos de cada um de vocês.

Aos meus irmãos, Ester e Benjamim, deixo um agradecimento especial. Vocês são uma das minhas maiores motivações. Espero que esta conquista possa servir de inspiração para que nunca deixem de acreditar no potencial de vocês. Independentemente dos desafios que encontrarem pelo caminho, lembrem-se sempre de que podem ser tudo aquilo que desejarem, desde que tenham dedicação, coragem e persistência. Nunca deixem que ninguém diga o contrário.

Ao meu namorado, Vitor Yuske, agradeço por todo amor, companheirismo, incentivo e cumplicidade ao longo desses anos. Obrigado por estar ao meu lado nos momentos mais difíceis, por compreender minhas ausências, acolher minhas inseguranças e celebrar cada pequena vitória comigo. Seu apoio foi fundamental para que eu mantivesse o equilíbrio e chegasse até aqui.

Ao Professor Bruno Pavan, expresso minha sincera gratidão pela excelente orientação, pela confiança depositada em mim, pela constante disponibilidade e pelos valiosos ensinamentos compartilhados durante a realização deste trabalho.

À Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira (FEIS/UNESP), agradeço pela excelente estrutura disponibilizada e por todo o conhecimento técnico e humano proporcionado ao longo da minha formação acadêmica.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), agradeço pela concessão da bolsa de estudos, recurso essencial que viabilizou minha dedicação a esta pesquisa.

À empresa Eldorado S.A., manifesto meus agradecimentos pela oportunidade, pelo projeto proposto e pelo fornecimento dos dados essenciais para o desenvolvimento e viabilização deste trabalho.

Ao Grupo de Pesquisa e Extensão voltado para o Melhoramento Genético de Plantas de Interesse Agrônomo, agradeço pela oportunidade de aprendizado, pelas experiências vivenciadas e pelo conhecimento compartilhado. Fazer parte deste grupo contribuiu significativamente para minha formação e despertou ainda mais meu interesse pela pesquisa científica.

À Ramo da Terra Empresa Júnior, agradeço por proporcionar experiências práticas que ultrapassaram os muros da sala de aula. Participar dessa equipe foi um divisor de águas para meu crescimento profissional, liderança, trabalho em equipe e para a construção de amizades que levarei para a vida toda.

A todos os amigos que fiz ao longo da graduação, meu muito obrigado. Obrigado pelos momentos compartilhados, pelo apoio nos períodos de exaustão, pelas conversas, risadas, estudos em conjunto e por tornarem essa caminhada mais leve e especial. Cada um de vocês deixou sua marca nesta trajetória e contribuiu para a pessoa e profissional que me tornei.

Aos professores do curso, agradeço pelos ensinamentos transmitidos, pela dedicação e pelo compromisso com a formação de novos profissionais. Levo comigo não apenas a bagagem técnica, mas também os exemplos de ética, responsabilidade e amor pela profissão.

Por fim, agradeço a todos que, direta ou indiretamente, fizeram parte desta caminhada e contribuíram para a realização deste sonho. Esta conquista não representa apenas o término de uma graduação, mas o início de uma nova jornada, construída com o apoio, incentivo e carinho de muitas pessoas que fizeram e farão parte da minha história.

“Não importa o tamanho do seu sonho, mas a
determinação que você tem para realizá-lo.”

Augusto Cury

RESUMO

O uso de materiais clonais superiores tem sido amplamente utilizado na silvicultura intensiva de *Eucalyptus* spp., levando a uma grande produtividade e uniformidade dos povoamentos florestais. No entanto, a alta produtividade das plantações monoclonais pode aumentar a suscetibilidade do sistema de produção ao estresse biótico e abiótico, sendo necessárias soluções para misturar produtividade com estabilidade e diversidade genética. Para esse fim, o presente estudo foca em quantificar a capacidade de competição geral e específica entre clones de *Eucalyptus* aos 60 meses de idade e em selecionar compostos multigenotípicos com alto potencial de produtividade. O experimento foi conduzido em Selvíria, Mato Grosso do Sul, com base na autocompetição e alocompetição entre clones comerciais e pré-comerciais de *Eucalyptus* spp. As características altura total, diâmetro à altura do peito (DAP) e incremento médio anual (IMA) foram medidas e a variância foi analisada em um modelo competitivo. A diversidade genética dos clones avaliados foi muito alta e ampla para as capacidades de competição geral e específica. A capacidade de competição geral II (CCG II), que está associada à tolerância ao estresse competitivo, foi mais proeminente para as características avaliadas, especialmente para o IMA, e mostrou que a capacidade de continuar crescendo sob competição é o principal determinante da produtividade aos 60 meses. A importância da Capacidade Específica de Competição (CEC) foi que os dois pares de clones têm efeitos não aditivos e, assim, existe complementaridade funcional entre alguns genótipos. Todos os clones mostraram pelo menos uma boa combinação multiclonal em comparação com o plantio monoclonal e podemos ver que o uso de compostos multigenotípicos ajudará os povoamentos a crescerem mais robustos, estáveis e produtivos. Os resultados demonstram que a estratégia de seleção ao longo das capacidades de competição geral e específica deve ser incorporada nos programas de melhoramento genético florestal para criar plantações mais produtivas, estáveis e resilientes.

Palavras-chave: alocompetição; autocompetição; diversidade genética; *Eucalyptus* spp.; melhoramento genético florestal; produtividade florestal.

ABSTRACT

The use of better clonal materials has been widely used in intensive *Eucalyptus* spp. silviculture, leading to high productivity and uniformity of forest stands. However, the widespread use of monoclonal plantations may increase the susceptibility of production systems to biotic and abiotic stress and hence there is a need for strategies to combine productivity, stability and genetic diversity. In this context, we aimed to investigate the general and specific competitive ability among *Eucalyptus* clones at 60 months of age and to select multigenotypic compounds with high productivity potential. The trial was conducted in Selvíria, Mato Grosso do Sul, Brazil based on the auto- and allocompetition among commercial and pre-commercial *Eucalyptus* spp. clones. Total height, diameter at breast height (DBH) and mean annual increment (MAI) were measured and the variance was analysed using a competitive model. We found that the evaluated clones demonstrated a wide genetic variation based on all of which there are highly significant effects of general and specific competitive ability, including general competitive ability II (GCA II), which is associated with tolerance to competitive stress, for the evaluated traits and in particular MAI. This indicates that the ability to successfully grow over competitive situations is the key factor determining productivity at age 60 months. Specific competitive ability (SCA) was found to have non-additive effects on the clone pairs of which functional complementarity is present between genotypes. All clones showed at least one multiclonal combination with superior performance compared to monoclonal plantations and thus multigenotypic compounds could enhance stand productivity, stability and resilience. The results highlight the necessity of incorporating selection methods that are based on general and specific competitive abilities in forest breeding programs for more productive and stable stands.

Keywords: allocompetition; autocompetition; *Eucalyptus* spp.; forest genetic breeding; forest productivity; genetic diversity.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Crescimento da área plantada de eucalipto no Brasil	18
Figura 2 – Localização do município de Selvíria – MS	21
Figura 3 – Localização da área experimental de <i>Eucalyptus</i> spp. aos 60 meses, Selvíria – MS	23
Figura 4 – Croqui representativo da distribuição espacial dos clones na área experimental	24
Figura 5 – Estimativas da capacidade geral de competição (CGC I e CGC II) para o incremento médio anual (IMA, m ³ ha ⁻¹ ano ⁻¹) de 16 clones de <i>Eucalyptus</i> spp., aos 60 meses de idade, em Selvíria – MS	28

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Descrição dos clones comerciais e/ou pré-comerciais de eucalipto, instalados em 2020, no município de Selvíria – MS	22
Tabela 2 – Resumo da análise de variância segundo o modelo competitivo de Perecin <i>et al.</i> (1997), para os caracteres altura de fuste, diâmetro à altura do peito (DAP) e incremento volumétrico médio anual (IMA), em teste competitivo com clones de eucalipto aos 60 meses de idade, em Selvíria – MS	27
Tabela 3 – Classificação (Class.) dos clones em autocompetição (Auto) e das 16 melhores misturas clonais, em diferentes compostos para o incremento volumétrico médio anual (IMA, $\text{m}^3 \text{ha}^{-1} \text{ano}^{-1}$), em um teste competitivo de eucalipto, em Selvíria – MS	29
Tabela 4 – Médias entre clones em autocompetição e compostos de 50% de cada clone para incremento médio volumétrico anual (IMA, $\text{m}^3 \text{ha}^{-1} \text{ano}^{-1}$) de pares de clones e suas médias de combinações, em teste competitivo de eucalipto, em Selvíria – MS	30

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CGC I	Capacidade Geral de Competição I
CGC II	Capacidade Geral de Competição II
CEC	Capacidade Específica de Competição
DAP	Diâmetro à Altura do Peito
IBÁ	Indústria Brasileira de Árvores
IMA	Incremento Médio Anual
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
PEVS	Produção da Extração Vegetal e da Silvicultura
SIDRA	Sistema IBGE de Recuperação Automática
SNIF	Sistema Nacional de Informações Florestais

LISTA DE SÍMBOLOS

CAP

Circunferência à Altura do Peito

m^3

Metro cúbico

$m^3 \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$

Metro cúbico por hectare por ano

%

Percentual

ha

Hectare

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	15
2 REVISÃO DE LITERATURA	16
2.1 Panorama da Silvicultura no Brasil	16
2.2 Melhoramento Genético	18
2.3 Vulnerabilidade de Plantios Monoclonais	19
3 MATERIAL E MÉTODOS	21
3.1 Aplicação Prática	21
3.2 Delineamento experimental	23
3.3 Análise dos dados	24
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	26
5 CONCLUSÃO	32
6 REFERÊNCIAS	33

1 INTRODUÇÃO

O Brasil é o principal produtor de eucalipto no setor florestal internacional, com uma área total plantada de 10,52 milhões de hectares, dos quais 8,1 milhões pertencem ao gênero *Eucalyptus*. O setor está crescendo 10,4%, mais rápido que o PIB do Brasil. Atualmente, o eucalipto cobre cerca de 73% das terras reflorestadas no país e é economicamente e estrategicamente importante em diferentes partes do país (IBÁ, 2025). Este cenário se deve ao desenvolvimento contínuo da genética e do manejo silvicultural. A produtividade média do eucalipto no Brasil aumentou de $10 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ na década de 1970 para mais de $38,1 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ atualmente, na faixa de $34,4 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ (IBÁ, 2025). Em ambientes favoráveis (com genótipos de alta qualidade), essa produtividade pode aumentar para $60 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ (Ferreira, 2016).

Melhorias em plantios seminais foram inicialmente baseadas na seleção em massa de melhores indivíduos (Paludzyszyn Filho *et al*, 2013). Com a consolidação da silvicultura clonal, o foco foi deslocado para melhorar o desempenho de genótipos individuais (Martins *et al*, 2005). No entanto, o modelo (baseado em plantios clonais) ainda tem algumas limitações em termos de produtividade. A homogeneidade genética, embora benéfica para a padronização das operações e previsibilidade da produtividade, torna os povoamentos mais suscetíveis a doenças e ao risco de uma alta perda de produtividade (Barbosa *et al*, 2014). A baixa variabilidade genética de uma floresta limita sua capacidade de reagir a desafios como longas secas e oscilações térmicas. É a diversidade genética que atua como um escudo, promovendo a adaptação local e a resiliência. Povoamentos geneticamente diversos mostram uma plasticidade notável, essencial para enfrentar as incertezas do clima atual (Lefèvre *et al*, 2014; Jordan *et al*, 2020). Além disso, estudos constataram a relação entre diversidade genética e o favorecimento de interações positivas, refletindo no aumento da produtividade. (Zhang *et al*, 2012; Forrester; Bauhus, 2016).

Sob essa perspectiva, o uso de diferentes genótipos no mesmo talhão tem sido considerado uma alternativa eficaz para a proteção das florestas plantadas contra pressões abióticas e bióticas, além de apresentar ganhos na produtividade devido à interação benéfica entre os indivíduos (Pavan *et al*, 2019). Os indivíduos têm uma relação de competição que pode ser dividida em dois tipos principais: intra e intergenotípicas. Conceitualmente, a competição intragenotípica ocorre quando há disputa por recursos entre indivíduos de um

mesmo genótipo, enquanto a competição intergenotípica se estabelece entre indivíduos pertencentes a genótipos distintos (Araújo *et al*, 2021).

De acordo com as interações estabelecidas entre os indivíduos, a competição vegetal pode ser estruturada em duas vertentes. Na competição por exploração, a captação de recursos por uma planta limita a disponibilidade destes para os demais indivíduos do sítio, ocorrendo mesmo na ausência de contato direto. Já a competição por interferência pressupõe uma interação mútua em que um indivíduo causa danos ou suprime o crescimento de outro diretamente (Santos, 2021). Assim, o desenvolvimento biométrico de uma árvore pode sofrer estímulo ou supressão em função do nível de competição exercido pelos indivíduos adjacentes, dinâmica que gera impactos diretos nos critérios de seleção genética (Santos, 2021).

Desse modo, a seleção criteriosa de indivíduos constitui um dos pilares fundamentais dos programas de melhoramento florestal, pois permite conciliar ganhos genéticos com a manutenção da variabilidade genética das populações. Além disso, compreender os mecanismos envolvidos na seleção de genótipos e na capacidade competitiva entre clones é essencial para a recomendação de materiais genéticos mais adaptados e produtivos. Enquanto a consideração da interação genótipo $\times$ ambiente permite identificar clones de elevado desempenho e estabilidade em diferentes condições de cultivo (Chaves *et al*, 2024), o conhecimento da habilidade competitiva entre clones contribui para a seleção de combinações mais eficientes em povoamentos multiclonais (Pavan *et al*, 2021).

Diante disso, o objetivo do presente trabalho foi avaliar a capacidade geral e específica de competição entre clones comerciais e pré-comerciais de *Eucalyptus spp.* aos 60 meses de idade, visando identificar combinações multiclonais com elevado potencial produtivo, maior estabilidade e maior diversidade genética para utilização em plantios florestais.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Panorama da Silvicultura no Brasil

A evolução da silvicultura brasileira relaciona-se com expansão ferroviária registrada no início do século XX e a demanda crescente de madeira, para produção de energia e para a fabricação de dormentes, que levou à implantação dos primeiros programas de reflorestamento, conduzidos pela Companhia Paulista de Estradas de Ferro, sendo o

agrônomo Edmundo Navarro de Andrade o responsável pela introdução, avaliação da adaptação e seleção de espécies do gênero *Eucalyptus* (Andrade, 1961; Martini, 2004).

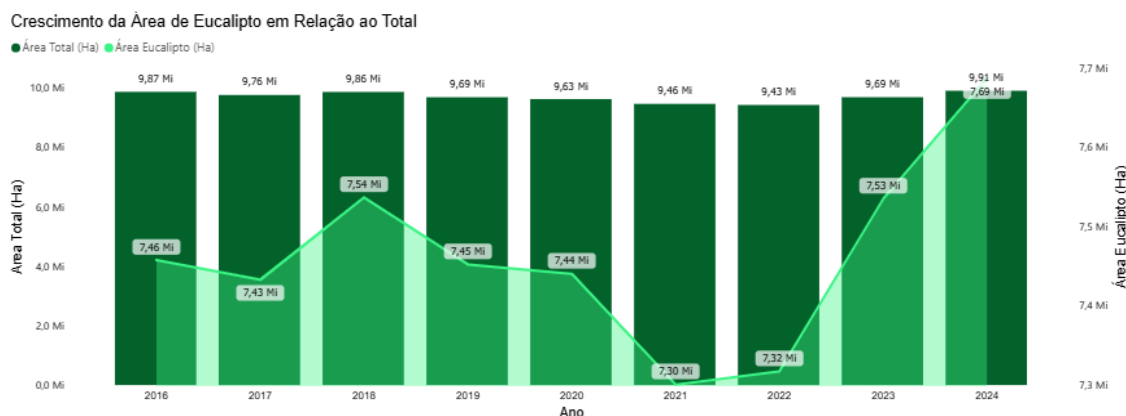
Embora o cultivo de espécies do gênero *Eucalyptus* tenha começado antes no país, os estudos realizados por Navarro de Andrade foram os alicerces técnicos para a eucaliptocultura brasileira, os quais possibilitaram a seleção de materiais genéticos de alto potencial produtivo para diferentes locais do Brasil (Oliveira, 2021). A silvicultura brasileira avançou a partir da década de 1970, devido ao fortalecimento da pesquisa florestal no país. Nesse período, a Embrapa organizou o Programa Nacional de Pesquisa Florestal (PNPF), que visava aumentar a produtividade e a qualidade das florestas plantadas pela geração de tecnologias ligadas ao melhoramento genético, implantação e manejo florestal, nutrição de plantas, proteção florestal, propagação vegetal, tecnologia de sementes, mecanização florestal e sistemas agrossilvipastoris (Oliveira, 2021)

Por consequência dos investimentos em pesquisa, genética e desenvolvimento tecnológico, o Brasil se tornou uma referência internacional em ambientes de florestas plantadas. Atualmente o país possui cerca de 10,52 milhões de hectares de florestas plantadas, sendo 8,1 milhões de hectares correspondentes ao cultivo de *Eucalyptus*, o que demonstra a relevância econômica e estratégica desse gênero para o setor florestal brasileiro (IBÁ, 2025).

De acordo com o Sistema Nacional de Informações Florestais (SNIF), as florestas plantadas desempenham papel estratégico no suprimento das cadeias produtivas florestais de celulose e papel, painéis de madeira, carvão vegetal, biomassa energética e demais produtos florestais, impactando significativamente na economia nacional (SNIF, 2024). Além disso, a importância da biomassa lignocelulósica das florestas plantadas é considerada uma das alternativas para promover uma substituição com a utilização de recursos fósseis, contribuindo em favor da bioeconomia e na transição para a produção de baixo carbono (Isikgor *et al*, 2015).

Com base nas informações do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2025), as florestas plantadas no Brasil cresceram substancialmente nos últimos anos (Figura 1), refletindo a importância econômica e estratégica do setor. Esse crescimento também se reflete no debate atual sobre sustentabilidade, sequestro de carbono e mitigação das mudanças climáticas, já que as florestas plantadas desempenham papel relevante na remoção de CO₂ atmosférico, contribuindo significativamente para o estoque de carbono e para as estratégias nacionais de mitigação das mudanças climáticas (Sanquetta *et al*, 2018).

Figura 1 - Crescimento da Área plantada de Eucalipto



Fonte: Elaborado pelo próprio autor.

Nota: Dados extraídos do IBGE (2025)

2.2 Melhoramento Genético

O desenvolvimento tecnológico da silvicultura brasileira consolidou nas últimas décadas um modelo de produção intensiva baseado em ciclos curtos de rotação e alta produtividade florestal. O sistema de produção é mantido graças a materiais clonais geneticamente superiores, que são mais uniformes, adaptáveis ao ambiente e apresentam melhor desempenho nas regiões de produção (Assis *et al*, 2015). Segundo os autores, o desenvolvimento da clonagem e dos programas de melhoramento genético fundamentados em hibridação controlada foram responsáveis por grande parte do aumento da produtividade observado nos plantios de eucalipto no Brasil. Nesse contexto, o melhoramento genético do eucalipto tornou-se uma das principais ferramentas para ampliação da competitividade do setor florestal brasileiro.

Conforme discutido em Assis, Abad e Aguiar (2015), os programas de melhoramento estavam focados no aumento volumétrico, qualidade da madeira, resistência a pragas e doenças, tolerância ao estresse abiótico e adaptação a diferentes condições edafoclimáticas. Além disso, o uso de híbridos interespecíficos e técnicas de propagação clonal permitiu a manutenção de combinações genéticas superiores, levando a um aumento nos ganhos genéticos anuais nos programas florestais brasileiros.

Em 2016, muitos estudos sobre melhoramento genético florestal também se concentraram na adaptação de clones às condições ambientais específicas de cada região de produção. Nunes *et al*. (2016) observaram que o estabelecimento de zonas de melhoramento

para clones de eucalipto é uma estratégia importante para maximizar a produtividade e a estabilidade genética dos materiais em diferentes ambientes. Eles argumentam que a interação genótipo $\times$ ambiente desempenha um papel fundamental no desempenho silvicultural dos clones e, portanto, é crucial selecionar materiais geneticamente adaptados às condições locais. Além disso, pesquisas recentes mostram que a clonagem e o melhoramento genético aumentaram consideravelmente a produtividade das plantações florestais brasileiras.

Pesquisas sobre a produtividade de clones de eucalipto mostram que o crescimento nas últimas décadas está diretamente relacionado ao melhoramento genético, técnicas silviculturais e seleção clonal (Pizzi, 2016). Nesse cenário, a seleção de melhores clones tornou-se um papel estratégico para melhorar a produtividade, ciclos de corte e qualidade da madeira destinada às indústrias de celulose, papel, biomassa e siderurgia.

Paralelamente, as ferramentas utilizadas para o melhoramento florestal, como seleção genômica, marcadores moleculares e hibridização, também expandiram o escopo do melhoramento florestal no Brasil. Segundo Assis (2021), os híbridos clonais de eucalipto são uma das tecnologias florestais brasileiras mais avançadas, capazes de proporcionar produtividade e resistência a mudanças ambientais em um único material genético. Assim, o melhoramento genético do eucalipto consolidou-se no Brasil como um componente principal do desenvolvimento sustentável, competitivo e industrial.

2.3 Vulnerabilidade de Plantios Monoclonais

O uso em larga escala de materiais geneticamente uniformes, em plantações florestais e cultivos agrícolas, pode aumentar a vulnerabilidade de sistemas produtivos a estresses bióticos e abióticos. Em plantios clonais de eucalipto, a baixa diversidade genética pode aumentar os riscos associados ao surgimento de pragas, doenças e fenômenos climáticos extremos, o que impõe adotar estratégias que promovam o aumento da variabilidade genética dos povoamentos (Bianchin, 2023; Libby; Ahuja, 1993). Situação semelhante já foi observada nos sistemas agrícolas, conforme evidenciado pela epidemia de mancha foliar do milho (Southern Corn Leaf Blight), no sul dos Estados Unidos, em 1970. Nesse caso, a ampla utilização de híbridos geneticamente uniformes favoreceu a disseminação do patógeno *Cochliobolus heterostrophus*, ocasionando perdas estimadas em 15% da produção norte americana de milho e mostrando os riscos associados à baixa diversidade genética nos sistemas produtivos (Ullstrup, 1972; Bruns, 2017).

A vulnerabilidade genética decorrente da reduzida diversidade dos sistemas produtivos também foi responsável por severos impactos históricos na agricultura mundial. Um dos exemplos mais emblemáticos foi a Grande Fome Irlandesa, ocorrida na década de 1840, quando extensas áreas cultivadas com materiais geneticamente uniformes de batata foram devastadas pela requeima causada por *Phytophthora infestans*. A epidemia resultou na morte de aproximadamente um milhão de pessoas e forçou a migração de outro milhão, evidenciando os riscos inerentes à reduzida variabilidade genética em sistemas monoculturais (Yoshida *et al*, 2013).

Segundo Wernberg *et al*. (2018) a perda de diversidade genética pode levar a uma ampla redução da resiliência ecológica em termos de variações estruturais na estrutura do ecossistema. O estudo deles foi realizado em ecossistemas marinhos, mas os princípios ecológicos estão fortemente ligados aos sistemas florestais monoclonais da silvicultura moderna.

Na silvicultura de *Eucalyptus spp.*, a utilização de materiais genéticos superiores, que é a chave para os ganhos de produtividade, pode levar à diminuição da base genética operacional das plantações. Conforme relataram Assis e Mafia (2007), tal uniformidade aumenta o perigo de perdas por doenças, pragas e/ou por eventos climáticos, uma vez que genótipos geneticamente parecidos devem ter também respostas fisiológicas semelhantes a estresses ambientais.

Por outro lado, a interação entre genótipos em sistemas clonais foi reconhecida como uma variável importante para o desempenho produtivo dos povoamentos. Evidências experimentais mostram que clones têm diferentes capacidades para exercer e para tolerar a competição, permitindo a identificação de combinações de genótipos mais eficientes quando plantados em conjunto (Pavan *et al*, 2021). Espécies de rápido crescimento, a exemplo do eucalipto, frequentemente demonstram elevada sensibilidade à interferência competitiva, cujos impactos oscilam em função da herança genética dos materiais e do estágio de desenvolvimento do indivíduo (Castro; Garcia, 1996; Kuva *et al*, 2003). Nesse contexto, a competição intergenotípica pode assumir caráter complementar, levando a aumentos de produtividade comparativamente a plantios monoclonais.

Além disso, estratégias com mistura de clones têm sido sugeridas como alternativa para atenuar a vulnerabilidade genética, mantendo ou aumentando a estabilidade produtiva nos sistemas florestais (Rezende *et al*, 2019). Estudos indicam que a escolha das combinações clonais deve considerar o desempenho de cada genótipo, além das interações competitivas e

complementares entre eles, as quais podem ser exploradas por meio de modelos estatísticos e delineamentos experimentais (Martins *et al*, 2014).

Até agora, a literatura mostra que, embora as plantações monoclonais possam levar a altos ganhos operacionais e produtivos, a baixa diversidade genética é um fator de risco para a sustentabilidade das florestas comerciais. Portanto, a diversidade genética e a seleção multigenotípica são imperativas para manter a estabilidade e a adaptação ambiental, bem como a longevidade produtiva na silvicultura moderna.

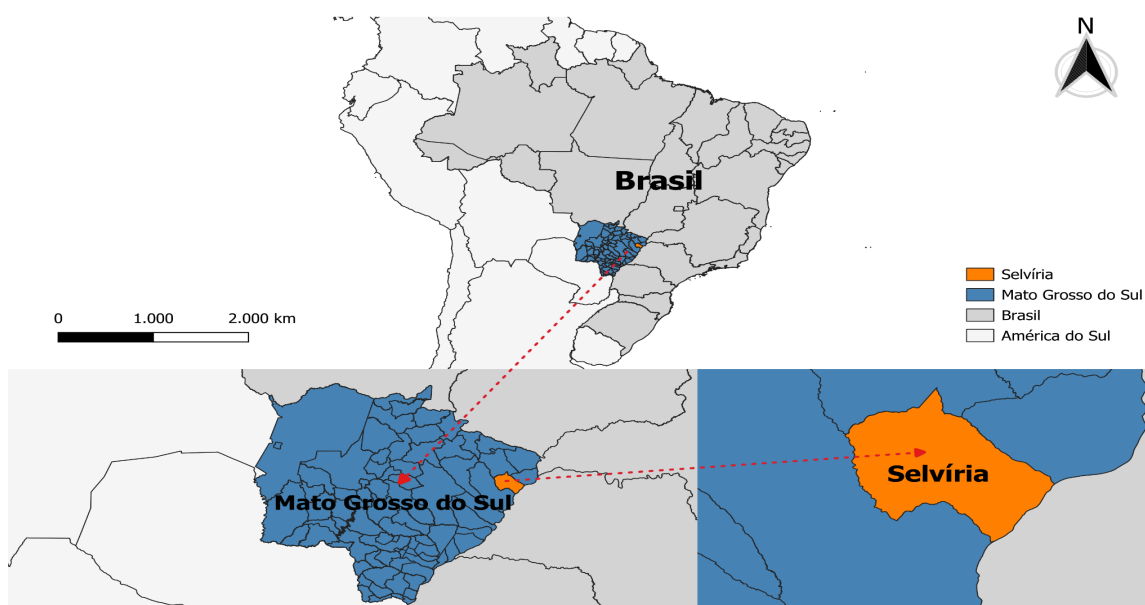
3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Aplicação Prática

O experimento foi realizado com os dados provenientes de um teste competitivo de eucalipto instalado em abril de 2020 em área pertencente a Eldorado Brasil S.A, no município de Selvíria – MS (Figura 2), seguindo a metodologia de Perecin *et al.* (1997).

O experimento foi conduzido em 16 clones comerciais e/ou pré-comerciais de *Eucalyptus spp.* desenvolvidos e utilizados pela empresa (Tabela 1). Com intuito de quantificar os efeitos da auto e alocompetição entre os materiais genéticos, e estimar as capacidades gerais e específicas de competição e prever a produtividade de compostos multiclonais.

Figura 2 – Localização do Município Selvíria – MS



Fonte: Elaborado pelo próprio autor.

Nota: adaptação dos dados do IBGE utilizando o software QGIS Versão 3.28

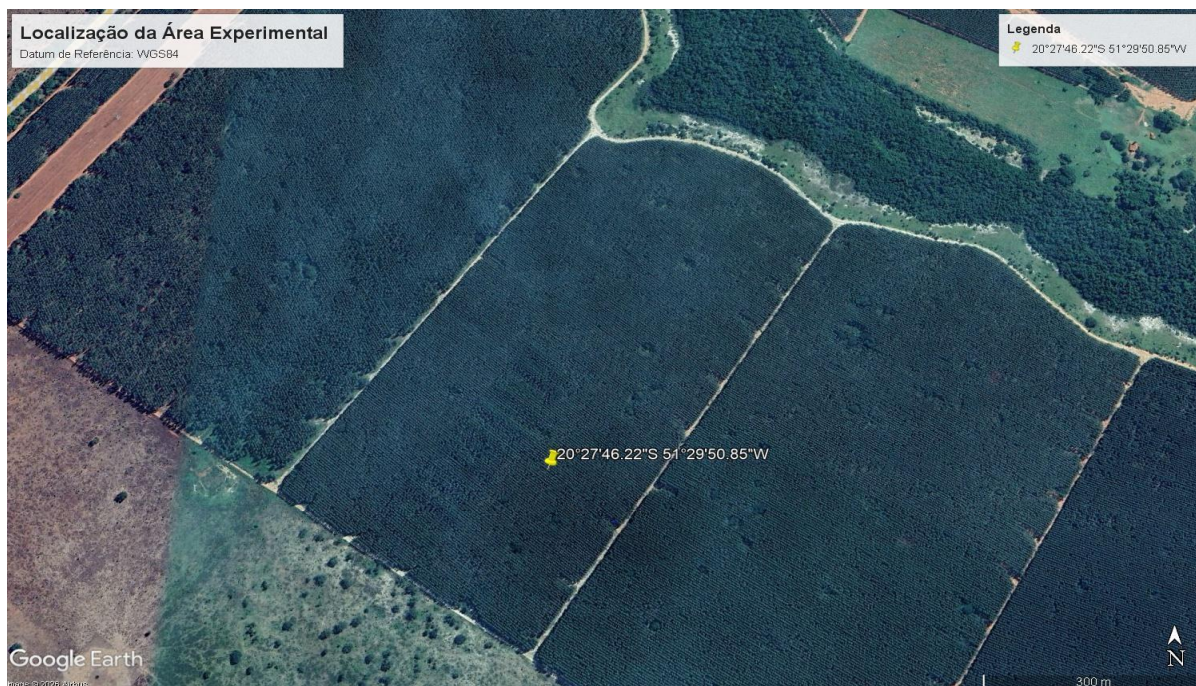
As características examinadas foram altura total (m), diâmetro à altura do peito (DAP, cm) e incremento médio anual (IMA, $\text{m}^3 \text{ha}^{-1} \text{ano}^{-1}$) aos 60 meses de idade. Essas características foram usadas como indicadores do crescimento e produtividade dos clones sob diferentes interações competitivas.

Tabela 1 - Descrição dos clones comerciais e/ou pré-comerciais de eucalipto, instalados em 2020, no município de Selvíria - MS.

ID	Espécie/Híbrido	Origem	Clone
1	-	TC69gm	9
2	-	TC66gm	34
3	-	Testgm	E13
4	-	Testgm	E17
5	-	TC66gm	74
6	-	TC69gm	78
7	-	TC66gm	80
8	-	TC66gm	185
9	-	TC66gm	111
10	-	TC66gm	127
11	-	TC78gm	172
12	-	TC66gm	183
13	-	E43	Testgm
14	-	E50	Testgm
15	-	207	TC66gm
16	-	258	TC66gm

A área experimental está localizada a 20°27'46.22" de latitude sul e 51°29'50.85" de longitude oeste, a uma altitude de 340 m (Figura 3). O solo é Podzólico Vermelho-Amarelo, (Santos et al, 2013). Segundo a classificação climática de Köppen, o clima da região é Aw, que é tropical com estação seca no inverno, com temperatura média anual de 22,9 °C e precipitação média anual de 1.456 mm.

Figura 3 – Localização da área experimental de *Eucalyptus spp.* aos 60 meses, Selvíria – MS



Fonte: Elaborado pelo próprio autor.

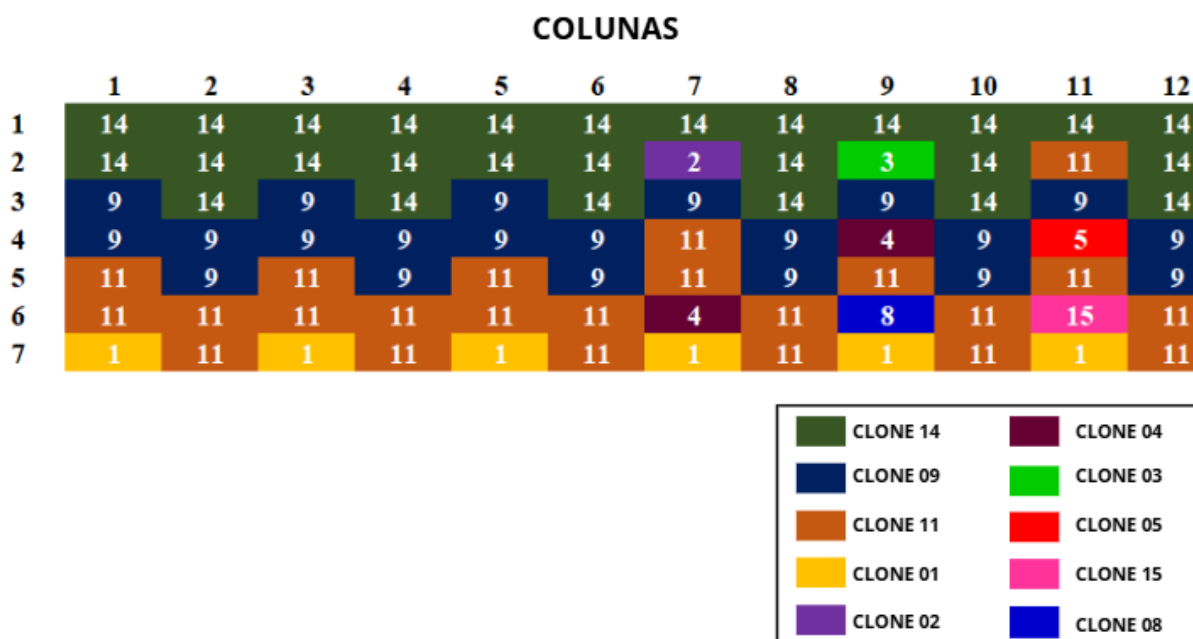
Nota: Adaptado de dados do Google Earth Pro.

3.2 Delineamento experimental

O delineamento competitivo adotado foi baseado em Perecin *et al.* (1997) e foi organizado em parcelas subdivididas em blocos ao acaso com três repetições. Cada repetição consistiu em 16 parcelas de vizinhos competitivos e 16 subparcelas de clones avaliados.

Em cada parcela, foram plantadas 33 fileiras de 36 plantas por fileira com espaçamento de 3,4 m $\times$ 2,6 m, totalizando cerca de 3.564 indivíduos em uma área experimental de cerca de 3,2 hectares.

A distribuição espacial dos clones (Figura 4), foi projetada de forma que as fileiras ímpares atuem como bordas laterais para minimizar a competição externa e isolar os tratamentos uns dos outros. O desenho permitiu avaliar simultaneamente os efeitos da autocompetição, que é a competição entre indivíduos do mesmo clone, e da alocompetição, que é a competição entre diferentes genótipos.

Figura 4 – Croqui representativo da distribuição espacial dos clones na área experimental.

Fonte: Elaborado pelo próprio autor.

3.3 Análise dos dados

Conforme o delineamento de Perecin et al. (1997), o processamento estatístico considerou as linhas ímpares como bordaduras de vizinhança destinadas à autocompetição, concentrando as análises de dados nas linhas pares.

Foram mensurados aos 60 meses de idade as características: altura do fuste e circunferência a altura do peito (CAP), a partir dos mesmos foi obtido: diâmetro a altura do peito ($DAP = \frac{CAP}{\pi}$), volume ($Vol = \frac{m^3}{\text{árvore}}$, obtido de acordo com departamento de inventário florestal da empresa) e incremento volumétrico médio anual ($IMA = Vol \times \text{espaçamento} \times ha^{-1} \text{ ano}^{-1}$). Em posse dos dados efetuou-se as análises de variância, considerando clones e competição com efeitos fixos para os caracteres: altura de fuste, DAP e IMA, essas análises iniciais foram realizadas utilizando o software SAS (1999), seguindo com o delineamento de blocos casualizados em parcelas subdivididas e em cada tratamento recebia a mensuração de 0 e 1 quando em autocompetição geral e as respectivas denominações numéricas para as combinações entre os materiais genéticos. Com os

resultados preliminares, obteve-se as médias, os erros e os respectivos coeficientes de variações.

Posteriormente, procedeu com as análises dialélicas parciais de F1's e parentais, conforme estabelecido por Geraldi e Miranda Filho (1988). O modelo estatístico utilizado foi dado por

$$Y_{ij} = \mu + \frac{1}{2}(d1 + d2) + g_i + g_j + s_{ij} + \bar{\epsilon}_{ij}$$

em que:

- Y_{ij} = Média do i-ésimo clone tolerando a competição do j-ésimo clone.
- μ = Representa a média geral do experimento;
- $d1$ e $d2$ correspondem aos contrastes envolvendo as médias dos grupos em relação à média geral;
- g_i = Efeito da Capacidade Geral de Tolerar a Competição (CGC) do i-ésimo clone;
- g_j = Efeito da Capacidade Geral de Exercer a Competição (CGC) do j-ésimo clone;
- s_{ij} = Efeito da Capacidade Específica de competição do i-ésimo clone tolerando a competição do j-ésimo clone (CEC);
- $\bar{\epsilon}_{ij}$ = Erro experimental médio associado ao par competitivo.

Como as previsões das habilidades de competição geral e específica foram baseadas, determinamos a produtividade de compostos multiclonais sob diferentes combinações e proporções de genótipos (Pavan et al, 2026). A partir desses resultados, foi avaliado o desempenho produtivo dos compostos multigenotípicos, considerando combinações com diferentes proporções de genótipos: C50 (50% de dois clones), C67 (predominância de um clone com 67%), C50x25x25 (um clone principal com 50% e dois secundários com 25% cada), C33 (três clones com proporções iguais de 33%) e C25 (quatro clones com 25% cada). Para cada composição, foram estimados o IMA médio e a diferença em relação à autocompetição.

A diferença percentual, expressa como Dif. $\bar{x}$ Auto (%), foi calculada pela comparação entre o IMA do composto e a média dos genótipos em cultivo isolado, conforme a expressão:

$$Dif. \bar{x} Auto (\%) = \frac{IMA da combinação GX,Y - Média auto(X;Y)}{Média auto(X;Y)} * 100$$

Em seguida, com os resultados em mãos, estes foram utilizados como critério de ordenamento dos compostos. O ranking foi estabelecido com base nesses valores médios, de modo que valores superiores indicam combinações com desempenho produtivo acima daquele observado em autocompetição.

Essa abordagem permitiu uma avaliação integrada do desempenho dos compostos, considerando o acúmulo de volume em autocompetição e o ganho relativo no composto.

Como etapa complementar à elaboração do trabalho, utilizou-se a ferramenta de inteligência artificial generativa Gemini (Google) exclusivamente para revisão ortográfica, gramatical e de estilo do texto. As sugestões fornecidas foram avaliadas e incorporadas apenas quando consideradas pertinentes, permanecendo o autor integralmente responsável pelo conteúdo científico e pela versão final do trabalho.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Foi verificada a significância para tratamento em todos caracteres estudados (Tabela 2), evidenciando que existe variabilidade genética entre clones de eucalipto tanto para crescimento quanto para os efeitos competicionais. Resultados semelhantes foram encontrados em Santos et al. (2015), que encontraram alta variabilidade genética em clones de *Eucalyptus* para características dendrométricas e volumétricas, sugerindo que a genética é uma grande influência para determinar o desenvolvimento e a produtividade dos clones de *Eucalyptus*.

Os coeficientes de variação observados em altura (13,22%) e DAP (9,77%) indicam adequado controle experimental e alta precisão nas estimativas obtidas (Tabela 2). De acordo com os critérios de classificação propostos por Garcia (1989) para ensaios de *Eucalyptus spp.*, valores dessa magnitude para caracteres biométricos de crescimento são enquadrados nas faixas de baixo a médio, indicando o rigor silvicultural e a uniformidade da área experimental no campo.

Com 60 meses de idade, os materiais genéticos obtiveram médias de 14,20 m para altura, 21,41 cm para DAP e 45,82 m³ ha⁻¹ ano⁻¹ para incremento médio anual (IMA), demonstrando a elevada capacidade produtiva sob as condições edafoclimáticas do local de experimentação. O IMA obtido por estes genótipos foi superior à produtividade média dos plantios de eucalipto do Brasil, estimada em 34,4 m³ ha⁻¹ ano⁻¹ pela Indústria Brasileira de Árvores (IBÁ), evidenciando o desempenho aceitável e a alta adaptação dos materiais genéticos à realidade local (IBA, 2025).

Tabela 2 – Resumo de análise de variância segundo modelo competitivo de Perecin et al. (1997), para os caracteres altura de fuste, diâmetro a altura do peito (DAP) e incremento volumétrico médio anual (IMA), em um teste competitivo com clones de eucalipto aos 60 meses de idade, em Selvíria-MS

FV	GL	Altura	DAP	IMA
Tratamento (T)	287	11,87**	14,38**	678,97**
Grupo (GR)	1	3,73 ^{ns}	9,48 ^{ns}	35,11 ^{ns}
CGC I	15	24,94*	10,14**	761,33**
CGC II	15	139,10**	117,31**	7506,67**
CEC	256	6,49*	5,80**	276,60**
CV%		13,22	9,77	26,71
Média		14,20	21,41	45,82
d1		-0,20	-0,31	-0,60
d2		0,20	0,31	0,60
DP		0,19	0,21	0,21

Fonte: Elaborado pelo próprio autor.

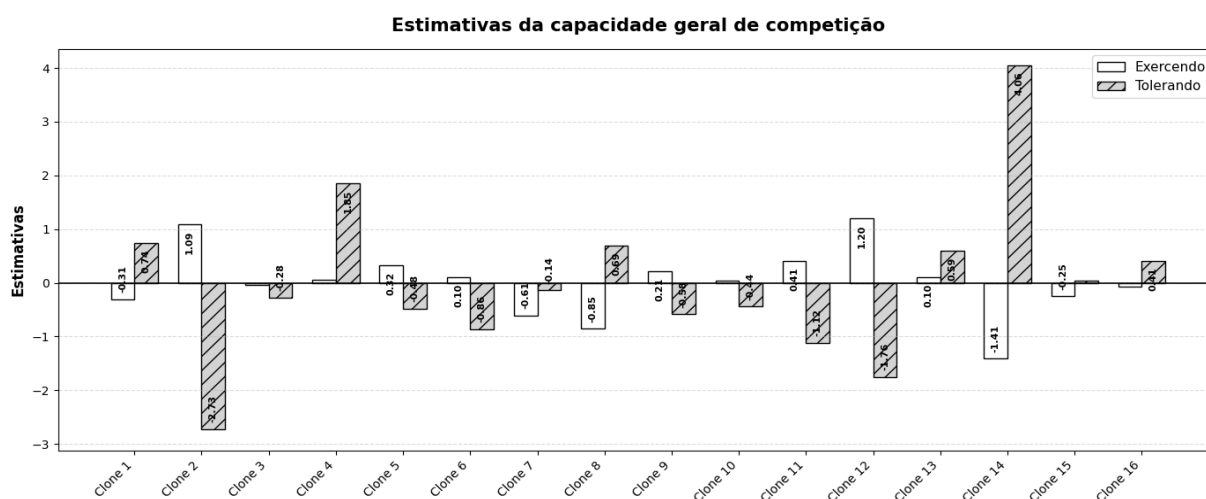
Nota: ^{ns}, **, ***, não significativo, significativo a 5, 1 e a 0,1 % respectivamente pelo teste F; d1 e d2 correspondem aos contrastes envolvendo as médias dos grupos em relação à média geral;

A Capacidade Geral de Competição I (CGC I), que mede a capacidade de um determinado genótipo alterar o microambiente e competir com seus vizinhos, mostrou efeitos significativos para todas as características dendrométricas, ou seja, os clones alteram de forma significativa o crescimento de seus vizinhos. Dentre os clones analisados, o Clone 12 (Figura 5) destacou-se por apresentar a maior estimativa positiva para essa vertente competitiva (1,2046), evidenciando sua alta agressividade na supressão de plantas vizinhas para a captura de recursos no local. Isso demonstra que o impacto nas plantas vizinhas tem uma base genética e que os clones testados têm diferentes potenciais para competir entre si e compartilhar os recursos do local. Forrester et al. (2010) descobriram que as diferenças genéticas entre indivíduos podem alterar o padrão de competição e complementaridade no uso de recursos e, em última análise, afetar a produtividade dos povoamentos florestais.

A Capacidade Geral de Competição II (CGC II) do genótipo está associada à capacidade de sustentar a estabilidade produtiva sob supressão e os maiores valores de F são relatados para o IMA, neste o clone que mais se destacou foi o 14 (Figura 5). Isso se deve à CGC II e é evidência de que o estresse competitivo e a interação genótipo são os fatores mais importantes que levam à variação fenotípica. Estudos realizados por Nunes et al.(2002)

mostraram que clones geneticamente superiores são mais produtivos mesmo sob alta pressão competitiva e interação genótipo-ambiente. A importância da Capacidade de Competição Específica (CEC) para altura, DAP e IMA indica que existem efeitos não aditivos para clones vizinhos. O fato de algumas combinações apresentarem desempenho diferente da média esperada mostra complementaridade de nicho ou antagonismos específicos e destaca a necessidade de seleção cuidadosa de relações multiclonais. Pretzsch e Schütze (2016) sugerem que sistemas com diferentes genótipos podem ser muito valiosos, pois a estrutura funcional e a competição são menos diretas entre os indivíduos.

Figura 5 – Estimativas da capacidade geral de competição (CGC I e CGC II) para o incremento médio anual (IMA $\text{m}^3 \text{ha}^{-1} \text{ano}^{-1}$) de 16 clones de *Eucalyptus* spp., aos 60 meses de idade, em Selvíria – MS.



Fonte: Elaborado pelo próprio autor..

Nota: As barras brancas indicam a capacidade de exercer competição (CGC I) e as barras hachuradas indicam a capacidade de tolerar ou sofrer a competição (CGC II).

Na comparação de plantios monoclonais e multiclonais, a diversidade genética espacial favoreceu o potencial produtivo aos 60 meses (Tabela 3). Observamos uma vantagem significativa dos compostos sobre a média individual de seus componentes, a saber, o composto 50% (4×14) com IMA estimado que foi melhor do que o clone 4 em autocompetição. Achados semelhantes foram relatados por Forrester et al. (2010), que descobriram que sistemas florestais mistos são mais produtivos, pois a complementaridade funcional entre indivíduos geneticamente distintos é alta.

Este aumento no IMA implica que existem interações sinérgicas não aditivas, refletidas pela Capacidade de Competição Específica (CCE) positiva (Tabela 3). Isso indica

que certas combinações clonais podem ter melhor desempenho em termos de utilização de recursos do local e minimizar a competição direta entre indivíduos geneticamente semelhantes. De acordo com Sapijanskas et al. (2014), a complementaridade ecológica entre indivíduos com características geneticamente diferentes pode proporcionar ganhos produtivos ainda maiores do que em monoculturas homogêneas. Nos compostos com 67% do clone 14 e 33% de um clone secundário, o melhor clone teve melhor desempenho em monocultura, mostrando o benefício do chamado "vizinhança genética" (Tabela 3). Sugerindo que a introdução de um segundo genótipo pode afetar positivamente as relações competitivas e minimizar os efeitos negativos da intensa autocompetição. Hughes e Stachowicz (2004) mostram que populações com múltiplos genótipos são mais estáveis e resistentes a distúrbios ambientais do que grupos geneticamente homogêneos. Compostos de três ou quatro clones (nem sempre com os maiores valores absolutos de IMA) mostraram mais estabilidade contra distúrbios ambientais, pois a diversidade genética é maior (Tabela 3). Como Isbell et al. (2015) mostram, sistemas biologicamente mais diversos também são mais estáveis em termos de produtividade, porque diferentes genótipos são geneticamente sensíveis a mudanças ambientais.

Tabela 3 - Classificação (Class.) dos clones em autocompetição (Auto) e das 16 melhores misturas clonais, em diferentes compostos para o incremento volumétrico médio anual (IMA - $m^3 ha^{-1} ano^{-1}$), em um teste competitivo de eucalipto, em Selvíria-MS.

Class	Híbridos	Auto	C50	IMA	C67	IMA	C50x25x25	IMA	C33	IMA	C25	IMA
1	14	61,05	4x14	60,60	14x7	62,18	14x4X8	61,32	4x8X14	60,06	1x4x8X14	57,47
2	4	55,45	8x14	60,03	14x4	62,08	14x4X7	61,25	4x7X14	59,47	4x7x14X16	57,22
3	8	50,37	7x14	59,18	14x8	62,08	4x8X14	59,52	4x12X14	57,29	4x8x13X14	57,03
4	7	41,72	3x14	58,04	14x3	60,66	14x3X4	59,44	3x4X14	57,25	4x7x8X14	56,94
5	1	51,07	4x8	57,40	14x5	59,94	4x7X14	59,06	4x13X14	56,95	4x8x9X14	56,70
6	5	46,29	5x14	56,84	14x13	59,35	14x4X12	59,03	4x14X16	56,90	4x7x13X14	56,50
7	6	43,29	13x14	56,29	4x14	59,04	14x4X13	58,97	4x9X14	56,69	4x7x12X14	56,24
8	12	40,24	4x7	54,99	14x10	58,81	8x4X14	58,81	1x8X14	56,40	1x4x7X14	56,09
9	10	37,16	11x14	54,86	14x11	58,52	14x4X16	58,65	1x4X8	56,36	4x8x14X16	55,96
10	11	44,90	1x4	54,74	14x12	58,32	14x7X8	58,55	1x4X14	56,34	4x8x12X14	55,91
11	13	44,78	10x14	54,62	14x16	58,08	14x4X9	58,52	8x13X14	55,80	1x4x14X16	55,64
12	3	51,15	4x6	54,54	4x8	57,71	14x8X13	58,47	7x14X16	55,65	4x12x14X16	55,41
13	9	33,81	12x14	54,49	8x14	57,52	14x4X5	58,40	4x5X14	55,60	4x6x8X14	55,36
14	16	48,31	1x14	54,48	14x9	57,13	14x7X16	58,36	4x6X14	55,42	1x4x12X14	55,34
15	2	29,80	1x8	54,32	14x1	57,07	14x7X13	58,32	7x13X14	55,07	3x4x8X14	55,27
16	15	43,50	4x12	54,08	4x7	56,43	14x5X7	58,10	1x4X6	54,71	4x5x7X14	55,19

Fonte: Elaborado pelo próprio autor.

Nota: C50 - composto com 50% de ambos clones; C67 - composto com 67% do clone principal, C50x25x25 um clone principal com 50% e dois secundários, C33 com três clones com 33% cada e C25 com quatro clones com 25% cada

Os resultados apresentados na Tabela 4 evidenciam que todos os clones avaliados apresentaram pelo menos uma combinação multiclonal com incremento médio anual (IMA)

superior ao observado em autocompetição. A predominância de células em tons de verde na comparação entre autocompetição e alocompetição demonstra que diferentes combinações genótípicas podem proporcionar ganhos de produtividade em relação aos plantios monoclonais. Esses resultados corroboram as observações de Pretzsch e Schütze (2016), que relataram maior produtividade em povoamentos geneticamente diversificados, atribuída à redução da competição intraespecífica e ao uso mais eficiente dos recursos disponíveis.

Dessa forma, observa-se que, em parte das combinações avaliadas, a alocompetição foi menos severa do que a autocompetição (Tabela 4). Esse comportamento sugere a ocorrência de complementaridade de nicho entre alguns clones, na qual diferentes genótipos podem explorar os recursos ambientais de maneira diferenciada, reduzindo a competição direta entre os indivíduos. De acordo com Forrester *et al.* (2010), povoamentos compostos por indivíduos funcionalmente distintos tendem a utilizar os recursos ambientais de forma mais eficiente, o que pode resultar em ganhos de produtividade. No entanto, a presença de combinações com desempenho inferior à autocompetição mostra que a produtividade dos compostos depende fortemente da compatibilidade específica entre os clones envolvidos (Tabela 4). Isso demonstra a importância da Capacidade de Competição Específica (CEC) e reforça a necessidade de testes competitivos rigorosos para a recomendação de misturas clonais eficientes, conforme discutido por Pavan *et al.* (2021).

Tabela 4 - Médias entre clones em auto competição (acima) e dos compostos de 50% de cada clone (abaixo) de incremento médio volumétrico anual (IMA, $\text{m}^3 \text{ha}^{-1} \text{ano}^{-1}$) de pares de clones e suas médias de todas suas combinações, em um teste competitivo de eucalipto, em Selvíria – MS.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	Méd.
Clones																	
1		40,44	51,11	53,26	48,68	47,18	46,39	50,72	42,44	44,11	47,99	45,66	47,92	56,06	47,28	49,69	47,93
2	40,09		40,48	42,63	38,05	36,54	35,76	40,09	31,81	33,48	37,35	35,02	37,29	45,42	36,65	39,06	38,29
3	47,79	39,05		53,30	48,72	47,22	46,43	50,76	42,48	44,15	48,03	45,70	47,96	56,10	47,33	49,73	47,97
4	54,74	43,88	52,28		50,87	49,37	48,58	52,91	44,63	46,30	50,18	47,85	50,11	58,25	49,47	51,88	50,03
5	47,52	32,81	45,57	48,99		44,79	44,00	48,33	40,05	41,72	45,60	43,27	45,53	53,67	44,89	47,30	45,70
6	50,82	36,81	45,92	54,54	48,58		42,50	46,83	38,55	40,22	44,09	41,76	44,03	52,17	43,39	45,80	44,46
7	48,21	37,90	41,47	54,99	44,53	39,69		46,04	37,76	39,44	43,31	40,98	43,25	51,38	42,61	45,01	43,72
8	54,32	43,28	42,48	57,40	41,50	45,11	43,05		42,09	43,76	47,64	45,31	47,57	55,71	46,94	49,34	47,60
9	47,29	37,23	43,72	53,40	41,57	40,00	38,79	46,32		35,48	39,36	37,03	39,29	47,43	38,66	41,06	39,88
10	46,92	34,15	44,99	44,42	41,55	39,20	39,51	43,28	38,28		41,03	38,70	40,97	49,10	40,33	42,73	41,44
11	50,18	33,90	44,97	44,27	48,20	38,56	44,58	46,56	33,44	34,32		42,57	44,84	52,97	44,20	46,61	45,05
12	49,45	35,67	38,98	54,08	43,03	37,78	43,90	43,18	37,97	39,05	41,72		42,51	50,64	41,87	44,28	42,88
13	46,59	39,13	45,63	52,79	44,05	42,35	46,92	49,64	38,65	42,61	47,38	45,08		52,91	44,14	46,54	45,18
14	54,48	49,78	58,04	60,60	56,84	49,80	59,18	60,03	52,49	54,62	54,86	54,49	56,29		52,27	54,68	52,80
15	46,37	38,41	43,96	51,15	45,26	39,92	39,95	46,80	41,29	40,65	46,99	40,48	38,05	49,64		45,91	44,58
16	52,20	39,37	46,83	53,82	44,70	46,99	49,37	44,93	39,48	39,80	45,93	46,39	45,81	54,58	45,07		46,64
Méd.	49,13	38,78	45,44	52,09	44,98	43,48	44,80	47,64	41,97	41,56	43,72	43,42	45,40	55,12	43,60	46,35	

Fonte: Elaborado pelo próprio autor.

Nota: A metade superior da matriz apresenta os valores de IMA obtidos em autocompetição e a metade inferior os valores dos compostos clonais contendo 50% de cada clone. Para cada par de clones, a comparação foi realizada entre os valores correspondentes de autocompetição e alocompetição, sendo destacados em tons de verde os maiores valores e em tons de vermelho os menores. A intensidade da coloração é proporcional à magnitude da diferença observada entre os dois valores.

5 CONCLUSÃO

- A avaliação das capacidades gerais de competição confirmou que as interações competitivas possuem uma base genética expressiva sobre o crescimento de *Eucalyptus spp.* aos 60 meses, destacando-se a capacidade de tolerar a competição (CCG II) como o fator determinante para o incremento volumétrico (IMA)
- A Capacidade de Competição Específica (CCE) para altura, DAP e IMA confirma resultados que a ocorrência de efeitos não aditivos e complementaridade funcional entre os clones, evidenciando a necessidade de selecionar combinações genóticas específicas para o sucesso dos talhões;
- Todos os genótipos mostraram pelo menos uma combinação multiclonal que foi mais produtiva do que o plantio monoclonal, mostrando que compostos multigenotípicos podem maximizar os recursos do local e minimizar os efeitos negativos da autocompetição;
- O composto C67 (67% Clone 14 + 33% Clone 7) foi a combinação de maior produtividade, evidenciando o potencial da complementaridade entre genótipos.
- O Clone 14 revelou-se o material de melhor desempenho em compostos clonais. No entanto, diferentes arranjos multiclonais (diferentes proporções de clones) mostraram melhores resultados do que a monocultura e podemos ver as vantagens do "vizinhança genética" e da complementaridade funcional entre genótipos;
- Compostos multiclonais são uma opção promissora para aumentar a produtividade, estabilidade e resiliência dos povoamentos de *Eucalyptus* e estão alinhados com a sustentabilidade e segurança produtiva da silvicultura moderna.

6 REFERÊNCIAS

- ANDRADE, E. N. O eucalipto. Jundiaí: Companhia Paulista de Estradas de Ferro, 1961.
- ARAUJO, M. J.; PAULA, R. C.; MORAES, C. B.; PIERONI, G.; SILVA, P. H. M. Thinning strategies for *Eucalyptus dunnii* population: balance between breeding and conservation using spatial variation and competition model. *Tree Genetics & Genomes*, v. 17, art. 42, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11295-021-01523-w>.
- ASSIS, T. F. Inovações no melhoramento genético de eucalipto. *Revista Opiniões*, Ribeirão Preto, 2021. Disponível em: <http://www.revistaopinioes.com.br>. Acesso em: 17 maio 2026.
- ASSIS, T. F.; ABAD, J. I. M.; AGUIAR, A. M. Melhoramento genético do eucalipto. In: SCHUMACHER, M. V.; VIERA, M. (org.). *Silvicultura do eucalipto no Brasil*. Santa Maria: UFSM, 2015. p. 217-244.
- ASSIS, T. F. et al. Hibridação e clonagem. In: BORÉM, A. (org.). *Biotechnology florestal*. Viçosa: Suprema, 2007. p. 93-121.
- BACHA, C. J. C. A expansão da silvicultura no Brasil. *Revista Brasileira de Economia*, Rio de Janeiro, v. 45, n. 1, p. 145-168, 1991.
- BARBOSA, L. R.; QUEIROZ, D. L.; REIS FILHO, W. Pragas de importância econômica. In: SANTOS, P. E. R. C. (ed.). *Cultivo do eucalipto*. 4. ed. Brasília, DF: Embrapa, 2014. Disponível em: <https://www.embrapa.br>. Acesso em: 18 fev. 2026.
- BIANCHIN, I. Famílias clonais em *Eucalyptus*. *IPEF Série Técnica*, Piracicaba, v. 27, n. 48, p. 121-127, 2023.
- BRUNS, H. A. Southern corn leaf blight: a story worth retelling. *Agronomy Journal*, Madison, v. 109, n. 4, p. 1218-1224, 2017. DOI: <https://doi.org/10.2134/agronj2017.01.0006>.
- CASTRO, P. R. C.; GARCIA, R. Competição entre plantas com ênfase no recurso luz. *Ciência da Cultura*, Campinas, v. 48, n. 4, p. 271-283, 1996.
- CHAVES, S. F. S.; DAMACENA, M. B.; DIAS, K. O. G.; OLIVEIRA, C. V. A.; BHERING, L. L. Factor analytic selection tools and environmental feature-integration enable holistic decision-making in *Eucalyptus* breeding. *Scientific Reports*, London, v. 14, art. 18429, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-024-69299-2>.
- DE OLIVEIRA, E. B. (org.). *O eucalipto e a Embrapa: quatro décadas de pesquisa e desenvolvimento*. Colombo: Embrapa Florestas, 2021.
- FERREIRA, M. A aventura dos eucaliptos. In: SCHUMACHER, M. V.; VIERA, M. (org.). *Silvicultura do eucalipto no Brasil*. Santa Maria: UFSM, 2016. p. 11-46.

FORRESTER, D. I. et al. The effect of mixed-species stands on productivity of forests. *Forest Ecology and Management*, Amsterdam, v. 260, n. 10, p. 1834-1843, 2010.

FORRESTER, D. I.; BAUHUS, J. Productivity of mixed-species plantations of *Eucalyptus globulus* and *Acacia mearnsii* is explained by nitrogen fixation, light interception and water use. *Forest Ecology and Management*, Amsterdam, v. 366, p. 156-165, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2016.01.036>.

GAMFELDT, L. et al. Higher levels of multiple ecosystem services are found in forests with more tree species. *Nature Communications*, London, v. 4, art. 1340, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1038/ncomms2328>.

GARCIA, C. H. Tabelas para classificação do coeficiente de variação. Piracicaba: IPEF, 1989. (Circular Técnica, 171).

GOOGLE. Google Earth Pro. Versão 7.3. Imagem de satélite da região de Selvíria-MS. [S. l.]: Google, 2024.

GOOGLE. Gemini. Versão de junho de 2026. Inteligência artificial generativa baseada em grandes modelos de linguagem. Disponível em: <https://gemini.google.com>. Acesso em: 30 jun. 2026.

HUGHES, A. R.; STACHOWICZ, J. J. Genetic diversity enhances the resistance of a seagrass ecosystem to disturbance. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, Washington, v. 101, n. 24, p. 8998-9002, 2004.

IBÁ – INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES. Relatório anual 2025. Brasília, DF: IBÁ, 2025. Disponível em: <https://iba.org>. Acesso em: 28 jun. 2026.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Malha municipal digital: Mato Grosso do Sul. Rio de Janeiro: IBGE, 2022. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br>. Acesso em: 19 abr. 2026.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Produção da Extração Vegetal e da Silvicultura (PEVS). Rio de Janeiro: IBGE, 2025. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br>. Acesso em: 17 maio 2026.

ISBELL, F. et al. Biodiversity increases the resistance of ecosystem productivity to climate extremes. *Nature*, London, v. 526, p. 574-577, 2015.

ISIKGOR, F. H.; BECER, C. R. Lignocellulosic biomass: a sustainable platform for the production of bio-based chemicals and polymers. *Polymer Chemistry*, Cambridge, v. 6, n. 25, p. 4497-4559, 2015.

JORDAN, R.; PROBER, S. M.; HOFFMANN, A. A.; DILLON, S. K. Combined analyses of phenotype, genotype and climate implicate local adaptation as a driver of diversity in *Eucalyptus microcarpa*. *Forests*, v. 11, n. 5, p. 495, 2020. DOI: <https://doi.org/10.3390/f11050495>.

KUVA, M. A. et al. Períodos de interferência das plantas daninhas na cultura da cana-de-açúcar. I – Tiririca (*Cyperus rotundus*). Planta Daninha, Viçosa, v. 21, n. 3, p. 387-396, 2003.

LEFÈVRE, F. et al. Considering evolutionary processes in adaptive forestry. Annals of Forest Science, v. 71, p. 723-739, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1007/s13595-013-0272-1>.

LIBBY, W. J.; AHUJA, M. R. Managing risk in clonal forestry. In: AHUJA, M. R.; LIBBY, W. J. (ed.). Clonal Forestry I: Genetics and Biotechnology. Berlin: Springer, 1993. p. 65-88.

MARTINI, A. J. O plantador de eucaliptos: a questão florestal e o eucalipto na obra de Edmundo Navarro de Andrade. 2004. Dissertação (Mestrado em História Social) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2004.

MARTINS, G. S.; MOURA, G. P. L.; RAMALHO, M. A. P.; GONÇALVES, F. A. M. Performance of *Eucalyptus* clones in auto and allocompetition. Silvae Genetica, Frankfurt, v. 63, n. 1-2, p. 9-15, 2014.

MARTINS, I. S. et al. Comparação entre os processos de seleção entre e dentro e o de seleção combinada, em progênies de *Eucalyptus grandis*. Cerne, Lavras, v. 11, n. 1, p. 16-24, 2005.

MEIRA, R. B.; CARELLI, M. N. Notas sobre florestas no Brasil da Primeira República: silvicultura, preservação da natureza e agricultura. Fronteiras: Journal of Social, Technological and Environmental Science, Anápolis, v. 4, n. 1, p. 301-312, 2015.

MIRANDA FILHO, J. B.; GERALDI, I. O. An adapted model for the analysis of diallel crosses. Revista Brasileira de Genética, Ribeirão Preto, v. 7, n. 1, p. 667-688, 1984.

NUNES, A. et al. Estabelecimento de zonas de melhoramento para clones de eucalipto no Rio Grande do Sul. Scientia Forestalis, Piracicaba, v. 44, n. 111, p. 563-574, 2016.

NUNES, G. H. S. et al. Implicações da interação genótipos × ambientes na seleção de clones de eucalipto. Cerne, Lavras, v. 8, n. 1, p. 49-58, 2002.

PALUDZYSZYN FILHO, E. et al. Base genética de melhoramento de eucaliptos e corimbias no norte do Estado de Goiás. Colombo: Embrapa Florestas, 2013. (Documentos, 248).

PAVAN, B. E. et al. Competitive ability among *Eucalyptus spp.* commercial clones in Mato Grosso do Sul state. Forest Ecology and Management, Amsterdam, v. 494, art. 119297, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2021.119297>.

PAVAN, B. E.; AMARAL, R. G.; PAULA, R. C.; LIMA, B. M.; SCARPINATI, E. A. Intra- and intergenotypic competition among commercial *Eucalyptus* clones. Crop Breeding and Applied Biotechnology, v. 19, n. 3, p. 285-292, 2019.

PAVAN, B. E. et al. Método para predição e seleção de compostos multigenotípicos para culturas agrícolas e florestais. Brasil. Patente de invenção. Depositante: Universidade Estadual Paulista. Instituto Nacional da Propriedade Industrial, 2026.

PENA, R. F. et al. Growth and production of *Eucalyptus* clones in silvopastoral system. Revista Árvore, Viçosa, v. 49, 2025. DOI: <https://doi.org/10.53661/1806-9088202549263875>.

PERECIN, D.; MALHEIROS, E. B.; FERREIRA, J. M.; MÔRO, J. B. Um delineamento para avaliações de auto e alocompetição em plantas. Revista de Matemática e Estatística, São Paulo, v. 15, p. 195-205, 1997.

PIZZI, M. B. Perdas de produtividade de 12 clones de eucalipto submetidos ao estresse biótico. 2016. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2016.

PRETZSCH, H.; SCHÜTZE, G. Effect of tree species mixing on the size structure, density, and yield of forest stands. European Journal of Forest Research, Berlin, v. 135, p. 1-22, 2016.

QGIS DEVELOPMENT TEAM. QGIS Geographic Information System. Versão 3.28 "Firenze". [S. l.]: Open Source Geospatial Foundation, 2024. Disponível em: <https://qgis.org>. Acesso em: 19 abr. 2026.

REZENDE, G. D. S. P.; LIMA, J. L.; DIAS, D. C.; LIMA, B. M.; AGUIAR, A. M.; BERTOLUCCI, F. L. G.; RAMALHO, M. A. P. Clonal composites: an alternative to improve the sustainability of production in *Eucalyptus* forests. Forest Ecology and Management, Amsterdam, v. 449, art. 117445, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2019.06.042>.

SANQUETTA, C. R.; DALLA CORTE, A. P.; PELISSARI, A. L. *et al.* Dynamics of carbon and CO₂ removals by Brazilian forest plantations during 1990-2016. Carbon Balance and Management, v. 13, n. 20, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1186/s13021-018-0106-4>.

SANTOS, G. A. *et al.* Interação genótipos × ambientes para clones de eucalipto no Rio Grande do Sul. Revista Árvore, Viçosa, v. 39, n. 1, p. 81-91, 2015.

SANTOS, H. G. *et al.* Sistema brasileiro de classificação de solos. 3. ed. rev. e ampl. Brasília, DF: Embrapa, 2013.

SANTOS, S. S. O. Uso da covariável número de vizinhos na análise genética de teste clonal e de progênies de *Eucalyptus dunnii*. 2021. Dissertação (Mestrado em Genética e Melhoramento) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2021. DOI: <https://doi.org/10.47328/ufvbbt.2021.163>.

SAPIJANSKAS, J. *et al.* Beyond shading: litter production by neighbors contributes to overyielding in tropical trees. Ecology, Washington, v. 95, n. 4, p. 941-952, 2014.

SAS INSTITUTE INC. SAS procedures guide. Version 8 (TSMO). Cary: SAS Institute Inc., 1999.

SIDRA – SISTEMA IBGE DE RECUPERAÇÃO AUTOMÁTICA. Levantamento Sistemático da Produção Agrícola. Rio de Janeiro: IBGE, 2026. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br>. Acesso em: 3 maio 2026.

SNIF – SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES FLORESTAIS. Florestas plantadas. Brasília, DF: Serviço Florestal Brasileiro, 2024. Disponível em: <https://snif.florestal.gov.br>. Acesso em: 28 jun. 2026.

ULLSTRUP, A. J. The impacts of the southern corn leaf blight epidemics of 1970-1971. Annual Review of Phytopathology, Palo Alto, v. 10, p. 37-50, 1972.

WERNBERG, T. *et al.* Genetic diversity and kelp forest vulnerability to climatic stress. Scientific Reports, London, v. 8, art. 1851, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-018-20009-9>.

YOSHIDA, K. *et al.* The rise and fall of the *Phytophthora infestans* lineage that triggered the Irish potato famine. eLife, Cambridge, v. 2, e00731, 2013. DOI: <https://doi.org/10.7554/eLife.00731>.

ZHANG, Y.; CHEN, H. Y. H.; REICH, P. B. Forest productivity increases with evenness, species richness and trait variation: a global meta-analysis. Forest Ecology and Management, Amsterdam, v. 313, p. 1-9, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2013.10.038>.