



## **Interação genótipos x ambientes em clones de *Eucalyptus* spp. na transição entre os biomas Cerrado e Amazônia**

Gabriela Brigatti Chaves<sup>1</sup>  
Aline Cristina Miranda Fernandes<sup>2</sup>  
Aurélio Mendes Aguiar<sup>3</sup>  
Evandro Novaes<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Suzano (gchaves@suzano.com.br), <sup>2</sup>Suzano (alinef@suzano.com.br), <sup>3</sup>Suzano (aurelio.aguiar@suzano.com.br), <sup>4</sup>UFLA (evandro.novaes@ufla.br)

**RESUMO:** *A interação de genótipos com ambientes (GxA) é um grande desafio, pois torna imprevisível o comportamento dos genótipos em diferentes ambientes, dificultando a seleção e recomendação de materiais genéticos superiores. O objetivo desse trabalho foi estudar a interação GxA de 50 clones de Eucalyptus spp. avaliados em uma rede de oito testes clonais na região de fronteira dos estados do Maranhão, Pará e Tocantins. Foram utilizados dados de incremento médio anual ( $m^3 ha^{-1} ano^{-1}$ ) aos três anos de idade e por meio da metodologia de modelos mistos via procedimento REML/BLUP foi realizada análise conjunta para estimar os efeitos genotípicos, ambientais e de interação GxA. A partir dessas estimativas, foram realizadas análises de adaptabilidade, estabilidade e estratificação ambiental por meio do método GGE biplot. O efeito genotípico contribuiu com 37,5% da variância observada e o efeito da interação GxA com 33,0%. Foi observado grande potencial de ganho com seleção em todos os ambientes. Os genótipos G34 e G05 se mostraram superiores, mas também foi possível identificar clones específicos para alguns ambientes, como o G24 no sítio K (cerrado).*

*Palavras-chave: Eucalipto, GGE Biplot, Interação GxA, Estabilidade, Adaptabilidade*

### **Introdução**

O setor florestal brasileiro destaca-se por sua importância econômica, social e ambiental, tendo o eucalipto como a cultura florestal mais importante, responsável por 77% dos 9 milhões de hectares de florestas plantadas no Brasil (IBÁ, 2020). O sucesso do eucalipto ocorre devido sobretudo à sua ampla adaptação nos climas e solos brasileiros, e seu rápido crescimento. Entretanto, nos últimos anos, a produtividade dos plantios manteve-se estável, apesar dos investimentos em melhoramento, pesquisas e desenvolvimento não terem parado. Isso se deve ao aumento da ocorrência de problemas fitossanitários, surgimento de novas pragas, expansão das áreas de plantio para novas regiões com condições de clima e solo menos favoráveis e irregularidade do regime de chuvas. Tendo em vista esses desafios, é imprescindível a seleção de materiais genéticos rústicos, estáveis e adaptados a essa nova realidade imposta pela expansão das fronteiras florestais no país.

O efeito da interação genótipos x ambientes (GxA) é o principal desafio dos melhoristas, pois torna imprevisível o comportamento dos genótipos em diferentes ambientes, dificultando a seleção e recomendação de materiais genéticos superiores. No entanto, a interação GxA pode ser aproveitada



e trazer ganhos ao programa de melhoramento por meio do plantio dos clones mais produtivos em cada local. A condução de um programa de melhoramento genético de espécies florestais exige muitos recursos e os ciclos de melhoramento são muito longos, podendo chegar a 15 anos. Desta forma, o estudo da interação GxA e a estratificação dos ambientes de melhoramento é fundamental para melhorar a eficiência, aumentar os ganhos genéticos ao longo das gerações e selecionar clones com alta produtividade e adaptação aos locais em que serão recomendados. O presente trabalho tem como objetivo estimar os efeitos da interação GxA, a estabilidade e adaptabilidade em clones de eucalipto avaliados na região de fronteira dos estados do Maranhão, Pará e Tocantins. Desta forma, espera-se identificar os genótipos mais estáveis e os mais adaptados a cada sítio avaliado. Como esses locais incluem regiões de Cerrado com grande sazonalidade na pluviosidade, essa seleção deve identificar clones rústicos e bem adaptados a essa fronteira do setor florestal brasileiro.

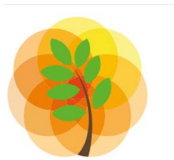
## Material e métodos

Os testes clonais avaliados foram instalados em 2016 e 2017 em 8 ambientes distintos, em municípios do Maranhão, Pará e Tocantins (Tabela 1).

**Tabela 6** - Descrição geográfica e edáfica dos sítios experimentais.

Sítio	Município	Latitude	Longitude	Altitude	Solo / Textura	Bioma
G	NOVA ESPERANÇA DO PIRIÁ, PA	2°38'26" S	47°13'53"O	122 m	Cambissolo / argilosa	Amazônia
H	ULIANÓPOLIS, PA	3°42'01" S	47°18'42"O	102 m	Argissolo / média	Amazônia
I	S. PEDRO DA ÁGUA BRANCA, MA	5°08'52" S	48°17'50"O	126 m	Argissolo / média	Amazônia
J	AÇAILÂNDIA, MA	5°03'00" S	47°33'43"O	395 m	Latossolo / argilosa	Amazônia
K	ESTREITO, MA	6°44'16" S	47°28'07"O	201 m	Neossolo / arenosa	Cerrado
L	PALMEIRAS DO TOCANTINS, TO	6°33'27" S	47°50'29"O	463 m	Neossolo / arenosa	Cerrado
M	DOM ELISEU, PA	4°24'19" S	47°47'16"O	313 m	Latossolo / argilosa	Amazônia
Q	BOM JESUS DAS SELVAS, MA	4°31'10" S	46°31'28"O	187 m	Argissolo / média	Amazônia

Os testes clonais possuem delineamento de blocos completos casualizados com seis repetições, parcelas lineares de cinco plantas e 50 clones em comum. O espaçamento e tratos silviculturais foram realizados de acordo com as recomendações técnicas da empresa para cada sítio, respeitando as características edafoclimáticas de cada área.

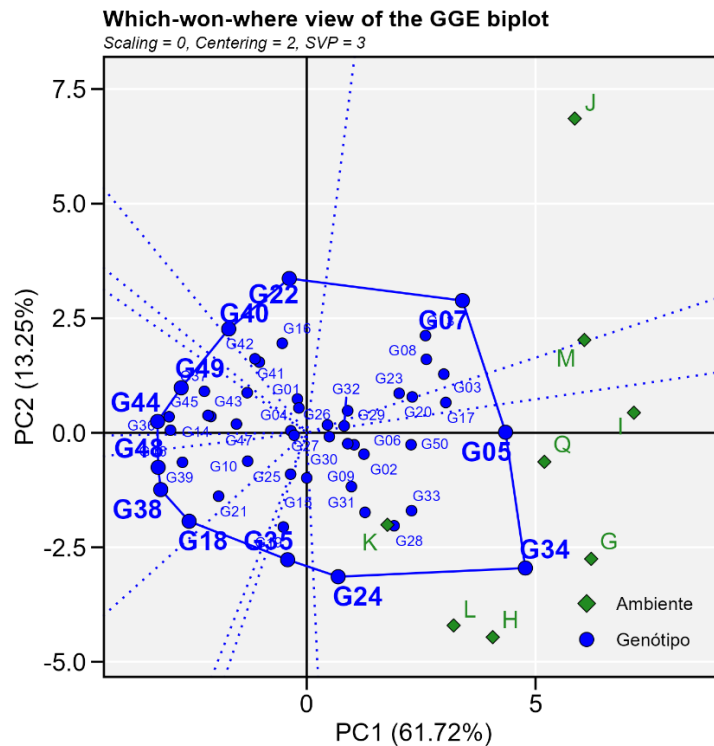


A altura e o diâmetro das árvores dos experimentos foram avaliados para estimativa do incremento médio de madeira anual (IMA em  $\text{m}^3 \text{ha}^{-1} \text{ano}^{-1}$ ) aos três anos de idade. A análise conjunta foi realizada através da metodologia de modelos mistos via procedimento REML/BLUP para estimar os efeitos genotípicos, ambientais e de interação GxA. A partir dessas estimativas, foram realizadas análises de adaptabilidade, estabilidade e estratificação ambiental por meio do método GGE biplot. Todas as análises e gráficos foram realizadas no software R com o pacote metan (Olivoto & Lúcio, 2020).

### **Resultados e discussão**

Foi realizada análise de variância conjunta dos dados de produtividade (IMA) dos 50 genótipos de eucalipto avaliados aos 3 anos de idade em 8 ambientes, e foram detectados efeitos significativos ao nível de 1% de probabilidade para genótipos, ambientes e interação genótipos x ambientes. Desta forma é possível proceder com análises de adaptabilidade e estabilidade para explorar melhor os efeitos dessa interação. A análise foi feita através do GGE biplot, que exhibe de maneira gráfica o efeito principal do genótipo e da interação GxA simultaneamente (Yan & Tinker, 2005).

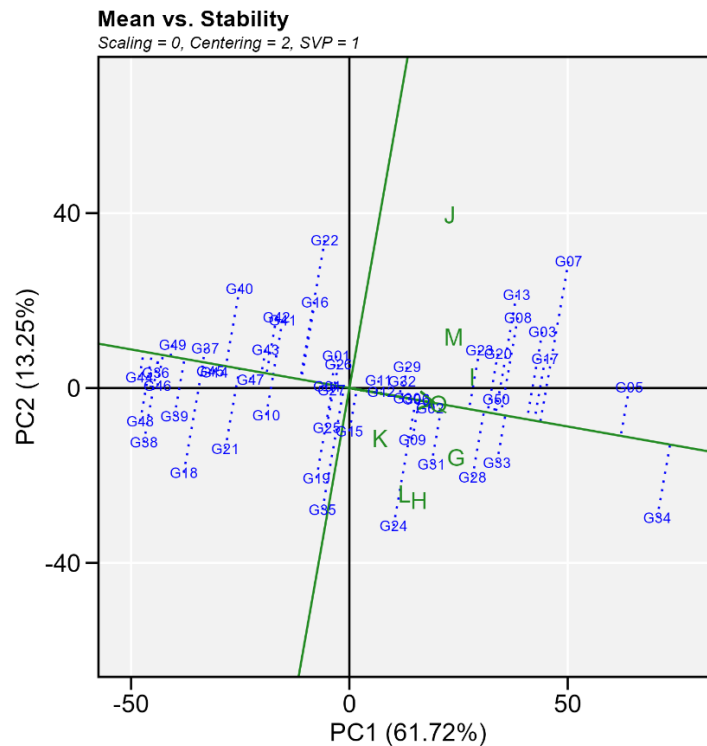
A Figura 1 apresenta o GGE biplot tipo ‘quem vence-onde’, que pode ser usado para indicar os melhores genótipos e para estratificar os ambientes (Costa-Neto, 2017). O polígono une os genótipos que estão mais distantes da origem (G34, G05, G07, G22, G40, G49, G44, G48, G38, G18, G35 e G24), indicando que são os clones mais responsivos aos ambientes. Desta forma, os genótipos que não estão nos vértices são menos responsivos; e os que estão localizados próximos da origem não respondem à variação ambiental, como G27, G04 e G26.



**Figura 9** - GGE biplot tipo ‘quem-vence-onde’ baseado em dados de IMA aos 3 anos de idade.

Quanto mais próximo da região de algum ambiente, melhor o desempenho do genótipo naquele site, então os genótipos G34 e G05 podem ser destacados como os melhores na maioria dos locais; o G24 como vencedor no ambiente K, e o G07 nos ambientes J e M. Já os genótipos G44, G48, G38 e G49, que possuem vértice longo e estão mais à esquerda do eixo vertical são os de pior desempenho. Ainda na Figura 1 é possível avaliar o agrupamento dos ambientes, pois as linhas pontilhadas dividem os experimentos em mega-ambientes. Por meio desta metodologia, a estratificação seria feita em apenas dois grupos para se explicar aproximadamente a mesma magnitude da interação GxA: um com os sítios J e M e outro grupo com todos os outros sítios. Os ambientes J e M estão no bioma amazônico e estão acima de 300 m de altitude. Esse resultado é muito importante, pois atualmente esses dois experimentos já estão agrupados num mesmo macroambiente, comprovando que a altitude é um fator decisivo no agrupamento no bioma amazônico.

O GGE biplot presente na Figura 2 é do tipo ‘média x estabilidade’, e através dele é possível identificar genótipos produtivos e de ampla adaptação.



**Figura 10** - GGE biplot tipo ‘média × estabilidade’ baseado em dados de IMA aos 3 anos de idade.

A linha horizontal verde representa o eixo do ambiente médio, ou seja, os ambientes que estão acima da linha verde (J, M, I e Q) são mais produtivos que aqueles que estão abaixo desse eixo (K, L, H e G). Por meio desse gráfico é possível identificar os genótipos G34 e G05 se destacando como os mais produtivos, pois estão mais à direita do eixo vertical verde que representa a média geral. No entanto, o G05 é mais estável que o G34 pois possui um vetor pontilhado menor, e quanto menor o vetor, mais próximo do eixo do ambiente médio, indicando estabilidade. O clone G07 apesar de apresentar produtividade alta, é um dos genótipos mais instáveis, enquanto o G50 possui média alta, e é muito mais estável que o G07. Os clones G02, G06 e G30 podem ser destacados pela alta estabilidade, e por estarem próximos ao eixo horizontal verde não capitalizam os efeitos da interação GxA, mas também não são penalizados por ela (Costa-Neto, 2017).

## Conclusões

Na análise conjunta, o efeito da interação GxA contribuiu com 33% da variância observada, demonstrando a necessidade de avaliações genótípicas em ensaios multi-ambientais que contemplem ampla gama de locais com condições edafoclimáticas representativas das regiões de cultivo.



Há possibilidade de selecionar genótipos com ampla adaptação capazes de aproveitar a interação GxA, e também genótipos com adaptação específica, sobretudo para os ambientes da região presente no bioma do Cerrado, como é o caso do G24 no sítio K. Desconsiderando os efeitos da interação GxA, o genótipo G34 é o melhor para todos os locais. Isso justifica o fato de ser atualmente o clone mais plantado da unidade, com áreas distribuídas por diversos ambientes, tanto no bioma Amazônia, quanto no Cerrado. Outro destaque é o clone G05 que possui média alta e se apresentou mais estável que o G34.

### **Referências bibliográficas**

CAIRES, A. M. Interação “genótipo x ambiente” em sorgo sob a perspectiva da estratificação ambiental. 2019. 121 p. Tese (Doutorado em Genética e Melhoramento de plantas) – Escola de Agronomia, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2019.

COSTA NETO, G. M. F. Integrando covariáveis ambientais e mapas temáticos na análise da interação “genótipo x ambiente” em arroz de terras altas. 2017. 125 f. Dissertação (Mestrado em Genética e Melhoramento de Plantas) – Escola de Agronomia, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2017.

INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES. Relatório 2020: ano base 2019. 2020. Disponível em: <<https://www.iba.org/datafiles/publicacoes/relatorios/iba-relatorioanual2019.pdf>>.

OLIVOTO, T; LÚCIO, A. D. Metan: An R package for multi-environment trial analysis. *Methods in Ecology and Evolution*, v. 11: p. 783–789, 2020.

YAN, W.; TINKER, N. A. An Integrated Biplot Analysis System for Displaying, Interpreting, and Exploring Genotype x Environment Interaction. *Crop Science*, v. 45, p. 1004-1016, 2005.

