

Avaliação de genótipos de milho: adaptabilidade, estabilidade e estratificação ambiental⁽¹⁾

Flávio Sérgio Afférrí⁽²⁾,
Michel Antônio Dotto⁽³⁾,
Edmar Vinicius de Carvalho⁽⁴⁾,
Joênes Muci Peluzio⁽⁵⁾ e
Lucas Alves de Faria⁽⁶⁾

Data de submissão: 26/11/2019. Data de aprovação: 10/2/2020.

Resumo – Este trabalho teve como objetivo avaliar a adaptabilidade e estabilidade para a produtividade de grãos de genótipos de milho de ampla base genética, bem como realizar sua estratificação ambiental. Os dados foram obtidos de 24 ambientes distintos, adquiridos por meio da combinação de data de semeadura vs. dose de nitrogênio em cobertura vs. cobertura morta, com a avaliação de 12 genótipos de milho de ampla base genética. Os estudos foram conduzidos nas safras 2012/13 (12) e 2013/14 (12) no município de Gurupi – TO. O comportamento (adaptabilidade e estabilidade) dos genótipos foi avaliado através da média geral, coeficientes de determinação (R^2) e de regressão linear (β) e desvios da regressão (σ). O estudo de estratificação ambiental foi feito pelo método tradicional, pela avaliação da interação significativa entre os ambientes, e a dissimilaridade ambiental pela decomposição da interação em fração simples e complexa. O genótipo AL BANDEIRANTE apresentou comportamento imprevisível ($\sigma \neq 0$). Os genótipos UFT2 e BRS GORUTUBA apresentaram adaptação específica a ambientes favoráveis ($\beta > 1$), com produtividade acima da média ($> 74 \text{ g planta}^{-1}$). Os genótipos UFT5, UFT6 e BR 205 apresentaram ampla adaptabilidade ($\beta = 1$) e comportamento previsível ($\sigma = 0$). A estratificação ambiental revelou a formação de 31 grupos distintos, indicando variações nos ambientes estudados. Por fim, os ambientes de estudo poderiam ser resumidos a condições de semeadura de safrinha com baixa disponibilidade de nitrogênio e diferentes tipos de cobertura morta, na avaliação de genótipos de ampla base genética.

Palavras-chave: Adaptação. Intereração. Populações. Variedades. *Zea mays* L.

Evaluation of maize genotypes: adaptability, stability and environmental stratification

Abstract – This study aimed to evaluate the adaptability and stability for the grain yield of the maize genotypes of large genetic base, as well as its environmental stratification. Data were obtained from 24 different environments, acquired through the combination of sowing date vs. nitrogen dose in coverage vs. mulch, with the evaluation of 12 genotypes of maize with a wide genetic base with the studies were conducted in the 2012/13 (12) and 2013/14 (12) seasons in the Gurupi - TO. The behavior of genotypes (adaptability and stability) was evaluated by using the overall average, coefficient of determination (R^2), linear regression coefficient (β) and the of regression deviations (σ). The environmental stratification study was done by the traditional method with the evaluation of the significance the interaction between environments and by the

¹ Extraído da tese de doutorado do segundo autor.

² Professor doutor da Universidade Federal de São Carlos – UFSCar. *flavioafferri@gmail.com

³ Doutor em Produção Vegetal, Supervisor de Desenvolvimento, GDM Seeds.* mdotto@gdmseeds.com

⁴ Professor doutor do Campus Avançado Lagoa da Confusão, do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Tocantins – IFTO. *edmar.carvalho@iftoc.edu.br

⁵ Professor doutor do Campus Palmas, da Universidade Federal do Tocantins – UFT. *joenesp@uft.edu.br

⁶ Doutorando do Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal do Campus Gurupi, da Universidade Federal do Tocantins – UFT. *lucasfaria_16@hotmail.com

environmental dissimilarity by the dissimilarity by the decomposition of the interaction in the simple and complex fraction. The AL BANDEIRANTE genotype showed more unstable behavior ($\sigma \neq 0$). The UFT2 and BRS GORUTUBA genotypes were adapted to specific favorable environments ($\beta > 1$) with the yield more than the average ($> 74 \text{ g plant}^{-1}$). The UFT5, UFT6 and BR 205 genotypes showed broad adaptability ($\beta = 1$) and predictable behavior ($\sigma = 0$). The environmental stratification provided for the formation of 31 distinct groups, indicating variations in environments studied. The study environments could be reduced for the off-season conditions with low nitrogen available and different type of coverage, in the assessment of the genotypes of large genetic bases.

Keywords: Adaptability. Interaction. Population. Varieties. *Zea mays* L.

Introdução

O cultivo de milho no Brasil possui maior percentual de área plantada e de produção oriundos da safrinha (COSTA *et al.*, 2019), fato que não é diferente no Tocantins. Entretanto, independentemente da época do cultivo (safra verão ou safrinha), a ocorrência de estresses bióticos e abióticos acontece frequentemente no Estado, tal como veranicos, altas temperaturas noturnas e deficiências nutricionais, por exemplo.

A capacidade adaptativa e produtiva dos genótipos é influenciada por estímulos de várias naturezas (VASCONCELOS *et al.*, 2015), tais como: clima e solo, locais, safras e épocas de plantio, manejo de adubação e a tecnologia aplicada. Em complementação, a indicação de cultivo de um genótipo deve ser precisa e garantir que as condições edafoclimáticas e o manejo empregado sejam suficientes à expressão do potencial produtivo (GARBUGLIO *et al.*, 2007; MASTRODOMENICO *et al.*, 2018).

Assim, a avaliação de genótipos em vários ambientes é necessária para avaliar a interação dos genótipos com os ambientes, que consiste na diferença de *performance* dos materiais promovida pelas mudanças ambientais (OLIVEIRA *et al.*, 2017; FERRARI *et al.*, 2018; MIJONE *et al.*, 2019; OLIVEIRA *et al.*, 2019). Para tanto, os ambientes podem ser simulados utilizando níveis de adubação e épocas de plantio que podem reduzir a quantidade de locais e, consequentemente, os custos. Com a presença da interação entre genótipos e ambientes, há dificuldade no posicionamento seguro dos materiais (PACHECO *et al.*, 2017). Assim, tais estudos também permitem obter a recomendação de cultivares para determinada região e condição de cultivo, conforme destacam os trabalhos de Van Eeuwijk *et al.* (2016), Cotrim *et al.* (2019) e Uate *et al.* (2019).

A recomendação é possível pelo uso de metodologias que permitem avaliar o efeito da interação e possibilitam identificar genótipos adaptados e estáveis (FERRARI *et al.*, 2018; OLIVEIRA *et al.*, 2019). Entre os parâmetros avaliados, a adaptabilidade está relacionada à capacidade dos genótipos em aproveitarem vantajosamente o estímulo do ambiente, alcançando produtividade satisfatória (MASTRODOMENICO *et al.*, 2018). Em outro ponto, a estabilidade indica a capacidade dos genótipos apresentarem comportamento previsível, em função do estímulo do ambiente (CARGNELUTTI FILHO; GUADAGNIN, 2018). De acordo com Eberhart e Russel (1966), o genótipo ideal é aquele que apresenta adaptabilidade geral, previsibilidade alta, sendo capaz de responder ao estímulo do ambiente e ser estável, mantendo bom desempenho, mesmo em condições desfavoráveis.

Nesse sentido, vários estudos de adaptabilidade e estabilidade foram realizados na cultura do milho, como o de Carvalho *et al.* (2014) no Tocantins e o de Santos *et al.* (2019) em Goiás e Minas Gerais, e em outras culturas. Cabe destacar que independentemente da metodologia aplicada, tais estudos têm como objetivo identificar cultivares adaptadas para determinada condição ambiental e/ou região (GARBUGLIO *et al.*, 2015). Entre os métodos de adaptabilidade e estabilidade utilizados, o de Eberhart e Russel (1966), que se baseia na análise de regressão linear, é amplamente utilizado em diversas culturas (CARGNELUTTI FILHO;

GUADAGNIN, 2018), em virtude de apresentar resultados de forma simples e de fácil interpretação (FARIA *et al.*, 2017).

Ainda com relação à interação genótipos x ambientes, ela pode ser decomposta em fração simples e complexa: na primeira, os genótipos não alteram suas posições nos ambientes; e na segunda, a correlação entre o desempenho dos genótipos nos ambientes estudados é baixa, com alteração das posições devido à resposta de cada uma das variações ambientais (GARBUGLIO *et al.*, 2015). Nesse sentido, as análises de estratificação ambiental permitem identificar se as informações geradas em diferentes locais são complementares ou divergentes e auxiliam na escolha de ambientes representativos, reduzindo custos e aumentando a eficiência na recomendação de genótipos (PACHECO *et al.*, 2017; COTRIM *et al.*, 2019). Uma das formas de realizar essas análises é pelo método tradicional de Lin (1982), que busca formar subgrupos de ambientes homogêneos em grandes faixas de avaliação, onde a interação entre genótipos e ambientes resultantes se apresenta de maneira não significativa.

Por fim, trabalhos recentes destacam o uso de genótipos de ampla base genética, como as variedades, por terem sementes de baixo custo, potencial produtivo, adaptabilidade e estabilidade quando comparadas a híbridos comerciais (UATE *et al.*, 2019). Assim, diante do exposto, o objetivo deste trabalho foi de avaliar a adaptabilidade e a estabilidade de 12 genótipos de milho de ampla base genética, em 24 ambientes distintos, para a característica de produtividade de grãos na região Sul do Estado do Tocantins, e realizar a análise de estratificação ambiental.

Materiais e Métodos

Foram utilizados dados de produtividade de grãos de 12 genótipos de milho avaliados em duas safras (2012/13 e 2013/14), sendo instalados 4 ensaios na primeira safra e 3 na segunda safra, respectivamente, semeados em datas distintas.

Os ensaios foram conduzidos na Área Experimental de Pesquisa da Universidade Federal do Tocantins, *Campus Universitário de Gurupi*, com as seguintes características: altitude de 287 m; latitude de 11°43' S e longitude de 49°15' O; em solo do tipo Latossolo Vermelho-Amarelo, com as características físico-químicas na camada de 0 a 20 cm de profundidade, coletados antes da semeadura na safra 2012/13, apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1 – Composição físico-química dos solos dos ensaios na safra 2012/13

Áreas	Ensaio*	Ca	Mg	Al	H+Al	K	P (Melich)
		mg dm ⁻³ (ppm)					g/dm ³
Área 1	1	2,4	0,9	0,0	1,7	0,11	6,4
Área 2	2,5	0,7	0,4	0,2	2,4	0,04	1,8
Área 3	3,6	1,5	0,7	0,0	2,3	0,12	3,7
Área 4	4,7	2,1	0,9	0,0	2,7	0,22	4,7

continuação

Áreas	Ensaio	CTC	S. Bases	M.O.	pH	Argila	Silte	Areia
			%	%	CaCl ₂	%		
Área 1	1	5,1	66	23	5,4	34	9	57
Área 2	2,5	3,5	32	16	4,7	30	8	62
Área 3	3,6	4,6	50	15	5,1	30	8	62
Área 4	4,7	5,9	54	16	5,3	30	8	62

*Ensaios conduzidos na safra 2012/13 (1, 2, 3 e 4) e 2013/14 (5, 6, e 7).

Fonte: Elaborado pelos autores.

Em cada ensaio foram utilizados seis genótipos de polinização livre, provenientes do programa de melhoramento em milho da Universidade Federal do Tocantins – UFT, e seis genótipos comerciais (Tabela 2). O germoplasma de milho da UFT foi selecionado para características de indicação às condições tropicais de baixa latitude.

Tabela 2 – Descrição dos genótipos utilizados na avaliação da adaptabilidade e estabilidade na safra 2012/13 e 2013/14

Nº	Genótipo	Tipo	Classificação
1	UFT1	População	PPA experimental
2	UFT2	População	PPA experimental
3	UFT3	População	PPA experimental
4	UFT4	População	PPA experimental
5	UFT5	População	PPA experimental
6	UFT6	População	PPA experimental
7	AL BANDEIRANTES	Variedade	Variedade comercial
8	BRS GORUTUBA	Variedade	Variedade comercial
9	AL PIRATININGA	Variedade	Variedade comercial
10	BR 205	Híbrido	Híbrido duplo
11	ÓRION	Híbrido	Híbrido duplo
12	BRAS 3010	Híbrido	Híbrido duplo

PPA = população de polinização aberta.

Fonte: Elaborado pelos autores.

As diferentes datas de semeadura, cobertura morta e níveis de adubação nitrogenada resultaram em 24 ambientes distintos. Na safra 2012/13, o primeiro ensaio (1) foi semeado no dia 11 de dezembro de 2012, sob cultivo convencional composto de uma aração e duas gradagens. O segundo (2) foi semeado no dia 28 de janeiro de 2013, em consórcio com feijão-guandu (*Cajanus cajan*), sob plantio direto, sendo esta espécie utilizada como palhada (cobertura morta). O terceiro (3), no dia 6 de fevereiro de 2013, sob plantio direto, sendo a espécie utilizada como palhada (cobertura morta) a *Brachiaria* spp. O quarto (4), no dia 13 de março de 2013, sob plantio direto, sendo a espécie utilizada como palhada (cobertura morta) o feijão-guandu (*Cajanus cajan*).

Já na safra 2013/14, o primeiro ensaio (5) foi instalado no dia 3 de dezembro de 2013, em sistema de cultivo de plantio direto sob palhada de milho e feijão-guandu (*Cajanus cajan*). O segundo ensaio (6) foi instalado no dia 11 de janeiro, e o terceiro (7) no dia 5 de março de 2014, ambos em sistema de plantio direto sob palhada de brachiaria (*Brachiaria* spp).

A adubação de plantio utilizada foi 500 kg ha⁻¹ de N-P-K na formulação 5-25-15 + 0,5% de zinco no sulco de plantio na ocasião da semeadura de cada ensaio. A adubação de cobertura, na safra 2012/13, foi realizada em 3 níveis de nitrogênio nos 4 ensaios: 20 kg ha⁻¹, 80 kg ha⁻¹ e 140 kg ha⁻¹, formando 3 subambientes em cada ensaio, totalizando 12 ambientes distintos (4 ensaios x 3 níveis de nitrogênio). Na safra 2013/14, foram utilizados 4 níveis de nitrogênio nos 3 ensaios: 20 kg ha⁻¹, 80 kg ha⁻¹, 140 kg ha⁻¹ e 200 kg ha⁻¹, formando 4 subambientes em cada ensaio, totalizando 12 ambientes distintos (3 ensaios x 4 níveis de nitrogênio), que estão resumidos na Tabela 3. A adubação nitrogenada foi aplicada quando as plantas apresentaram 6 folhas completamente expandidas, seguindo recomendações técnicas para a cultura do milho. Com relação ao controle de pragas, doenças, plantas daninhas e irrigação suplementar, estes foram realizados conforme se fizeram necessários, assim como descrito por Fancelli e Dourado Neto (2000).

Tabela 3 – Descrição dos 24 ambientes na avaliação de 12 genótipos de milho no Estado do Tocantins nas safras 2012/13 e 2013/14

Ambiente	Ensaio	Cobertura morta	Adubação de cobertura (N; kg ha ⁻¹)
1	1		20
2	1	Sem cobertura	80
3	1		140
4	2	Feijão-Guandu	20

Ambiente	Ensaio	Cobertura morta	Adubação de cobertura (N; kg ha ⁻¹)
5	2	(<i>Cajanus cajan</i>)	80
6	2		140
7	3	Brachiaria	20
8	3	(<i>Brachiaria spp</i>)	80
9	3		140
10	4	Feijão-Guandu	20
11	4	(<i>Cajanus cajan</i>)	80
12	4		140
13	5	Feijão-Guandu	20
14	5	(<i>Cajanus cajan</i>)	80
15	5		140
16	5		200
17	6	Brachiaria	20
18	6	(<i>Brachiaria spp</i>)	80
19	6		140
20	6		200
21	7	Brachiaria	20
22	7	(<i>Brachiaria spp</i>)	80
23	7		140
24	7		200

Fonte: Elaborado pelos autores.

O delineamento experimental, considerado em cada ensaio/ambiente, foi de blocos completos ao acaso com 12 tratamentos em 3 repetições. A parcela experimental foi constituída por 4 fileiras de 5 metros, espaçadas por 0,75 m, com distribuição uniforme de plantas na linha (em torno de 5 a 6 sementes por metro linear). Na colheita foram utilizadas no mínimo 10 plantas ao acaso e representativas nas parcelas oriundas das 2 fileiras centrais, no intuito de estimar a produtividade de cada genótipo avaliado.

A colheita foi realizada assim que as plantas apresentaram maturação fisiológica completa e ponto de colheita ideal em todos os genótipos presentes no ensaio. Foram coletadas as espigas de dez plantas. Após a colheita, as espigas foram pesadas e trilhadas para determinação da produtividade de grãos que, posteriormente, foi corrigida para 13% de umidade e para gramas por planta.

Foi realizada análise de variância por ambiente e a análise conjunta com o intuito de detectar a interação genótipos x ambientes. Os dados apresentaram variâncias residuais homogêneas, que foram utilizadas na obtenção dos parâmetros de adaptabilidade e estabilidade de acordo com a metodologia de Eberhart e Russel (1966). Tal análise respeitou a quantidade mínima de experimentos para a sua realização na cultura do milho, que é de sete, com base no trabalho de Cargnelutti Filho e Guadagnin (2018).

Para cada genótipo foi feita análise de regressão, utilizando-se o índice ambiental como variável independente, e a produtividade dos genótipos como variável dependente. Assim, de acordo com o método proposto por Eberhart e Russel (1966), o efeito do ambiente pode ser desmembrado em dois componentes, sendo um linear e o outro não linear. O coeficiente de regressão (β) está associado ao componente linear, indicando a adaptabilidade do genótipo, ou seja, sua capacidade de responder à melhoria do ambiente. Os desvios da regressão (σ) estão associados ao componente não linear e indicam a estabilidade de comportamento. Um genótipo com $\sigma = 0$ apresenta comportamento previsível, de acordo com a grandeza do índice ambiental. Ainda, uma cultivar é considerada de adaptabilidade ampla se $\beta = 1$; adaptada a ambientes favoráveis, se $\beta > 1$; e adaptada a ambientes desfavoráveis, se $\beta < 1$.

Os dados foram submetidos à análise de estratificação ambiental pelo método de Lin (1982), à análise de dissimilaridade ambiental para obtenção da fração simples e complexa pelo método de Cruz e Castoldi (1991), e à análise do coeficiente de correlação linear entre os ambientes, que foi testado a 5% de significância.

Resultados e Discussões

A interação genótipos x ambientes foi significativa ($p<0,01$; Tabela 4), evidenciando que os genótipos apresentaram comportamento distinto, conforme descrito por Faria *et al.* (2017) e Oliveira *et al.* (2019). Segundo Cotrim *et al.* (2019) e Matta *et al.* (2020), tais resultados também justificam a realização da estratificação ambiental.

Tabela 4 – Análise de variância da produtividade média de grãos (g planta^{-1}) de 12 genótipos de milho em 24 ambientes, segundo o método de Eberhart e Russel (1966)

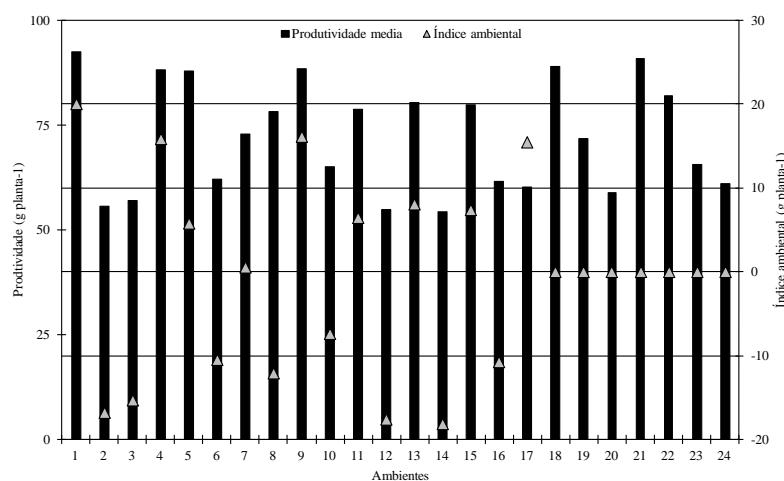
Fonte de Variação	Graus de liberdade	Quadrado médio
Genótipos (G)	11	6.665,98**
Ambientes (A)	23	6.239,20**
GxA	253	233,88**
Ambiente linear	1	14.3501,77**
GA Linear	11	631,27**
A/G: Desvio Combinado	264	197,83*
Resíduo	528	165,54

*, ** significativo a 5% e 1%, respectivamente, pelo teste F.

Fonte: Elaborado pelos autores.

Os índices ambientais estimados estão representados na Figura 1, em que a oscilação de produtividade dos genótipos verificada em cada ambiente ($54,3 \text{ g planta}^{-1}$ a $92,45 \text{ g planta}^{-1}$) evidencia as diferenças das condições de cultivo em função da época de semeadura e dos níveis de nitrogênio em cobertura. Foram classificados como favoráveis 12 ambientes, sendo que ambientes com níveis de nitrogênio aplicados em cobertura na dose de 20 e 80 kg ha^{-1} estavam presentes nesta classificação (vide Tabela 3), enquanto ambientes com 140 ou 200 kg ha^{-1} de N apresentaram menor participação nos ambientes favoráveis.

Figura 1 – Índices ambientais e produtividades médias dos genótipos de milho nos ambientes estudados (descritos na Tabela 3), em duas safras agrícolas (2012/2013; 2013/2014), em Gurupi-TO.



Fonte: Elaborado pelos autores.

O resultado supracitado demonstra que nem sempre uma grande entrada de nutrientes (*inputs*) representa disponibilidade para a planta e que resultará num melhor ambiente para seu desenvolvimento. Nesse ponto, Faria *et al.* (2017) e Mijone *et al.* (2019) relatam que ambientes

com índices ambientais negativos revelam condições de clima e solo adversas ou locais com baixa tecnologia ou entrada de recursos. Com relação aos estudos realizados, a adubação de cobertura foi realizada em uma única parcela/dose, e a ocorrência ou falta de precipitações após a prática são fatores que resultam numa baixa eficiência da aplicação do adubo nitrogenado em cobertura.

Os rendimentos médios (g planta⁻¹), coeficientes de regressão (β), desvios da regressão (σ) e coeficientes de determinação (R^2) dos 12 genótipos de milho, avaliados em 24 ambientes (Tabela 3) nas safras 2012/13 e 2013/14, estão apresentados na Tabela 5. Com os resultados obtidos é possível verificar que houve comportamento diferenciado em face das alterações ambientais.

Tabela 5 – Média da produtividade de grãos de genótipos de milho (g planta⁻¹), coeficientes de regressão (β), coeficiente de determinação (R^2) e desvios da regressão (σ)

Genótipo	Média	β	σ	R^2
UFT1	66,73	0,92	6,80	71,58
UFT2	74,38	1,25*	-12,89	87,16
UFT3	67,11	1,14	62,18	66,89
UFT4	63,83	0,88	30,41	65,32
UFT5	86,95	0,94	-21,60	82,71
UFT6	72,53	0,97	-6,69	78,17
AL BANDEIRANTE	54,95	0,94	26,24*	32,91
BRS GORUTUBA	84,50	1,32*	-0,20	85,36
AL PIRATININGA	69,81	0,83	14,46	64,70
BR 205	86,68	1,22	22,40	77,71
ÓRION	70,08	1,05	1,21	78,18
BRAS 3010	70,74	0,46*	6,84	69,77
Média geral	72,37	--	--	--

*, ** significativamente diferente de um (β) pelo teste t e de zero (σ) pelo teste F, a 5% e 1%, respectivamente.

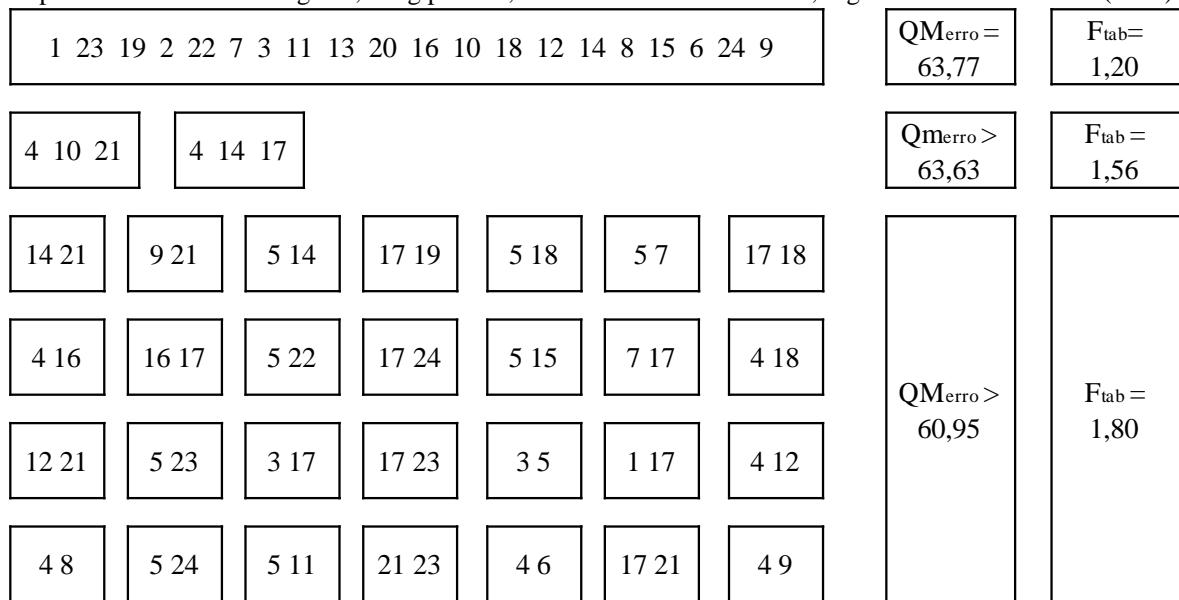
Fonte: Elaborado pelos autores.

Os genótipos UFT2 e BRS GORUTUBA apresentaram produtividade superior à média geral (Tabela 5), com ambos tendo estimativa do coeficiente de regressão significativamente superior à unidade, desvios da regressão não significativos e coeficientes de determinação superiores a 85%. Em outras palavras, os resultados indicam adaptação específica a ambientes favoráveis com alta produtividade e responsivos a melhoria das condições de cultivo. Com relação aos genótipos com ampla adaptação associados com produtividade superior à média e estabilidade, destacam-se UFT5, UFT6 e BR205 (Tabela 5). Segundo Carvalho *et al.* (2014), esses genótipos de ampla adaptação podem ser uma opção de escolha quando não se dispõem de materiais que sejam adaptados a condições específicas. Ainda, segundo Chandel *et al.* (2019), o desenvolvimento de genótipos com ampla adaptação tem sido um dos objetivos de diversos programas de melhoramento.

Na análise de estratificação ambiental pelo método Lin (1982), foi observada a formação de 31 grupos distintos (Figura 2), que indica variação das respostas de produtividade de grãos dos genótipos em relação aos ambientes. De acordo com Cotrim *et al.* (2019), a influência do ambiente na produtividade de grãos das culturas também é revelada por esses resultados, que demonstram a importância dos estudos de estratificação ambiental e auxiliam na definição de ambientes consideráveis para avaliação, além da redução de locais para avaliação de genótipos pelos programas de melhoramento.

Com relação ao método de Lin (1982), cabe descrever que ele se baseia na formação de grupos em que a interação GxA é não significativa pelo teste F ($p>0,05$) com os ambientes comparados primeiramente aos pares com posterior inclusão de novo ambiente, formando assim os grupos (GARBUGLIO *et al.*, 2007).

Figura 2 – Agrupamento de 24 ambientes (indicados pelas caixas) na avaliação de 12 genótipos de milho com base na produtividade média de grãos, em g planta⁻¹, na safra 2012/13 e 2013/14, segundo o método de Lin (1982)



Fonte: Elaborado pelos autores.

No grupo I, ocorreu a inclusão do maior número de ambientes indicando que, para estes, a porcentagem de interação GxA é predominantemente atribuída à fração simples e com interação GxA não significativas ($p>0,05$). Neste grupo, foram reunidos 20 ambientes, sendo que os pares de ambientes 2 e 24, 8 e 9, 9 e 22, 9 e 23 e 15 e 22 apresentaram porcentagem das interações GxA na fração simples elevadas ($> 71\%$) e correlação de Person significativa ($r > 0,77$).

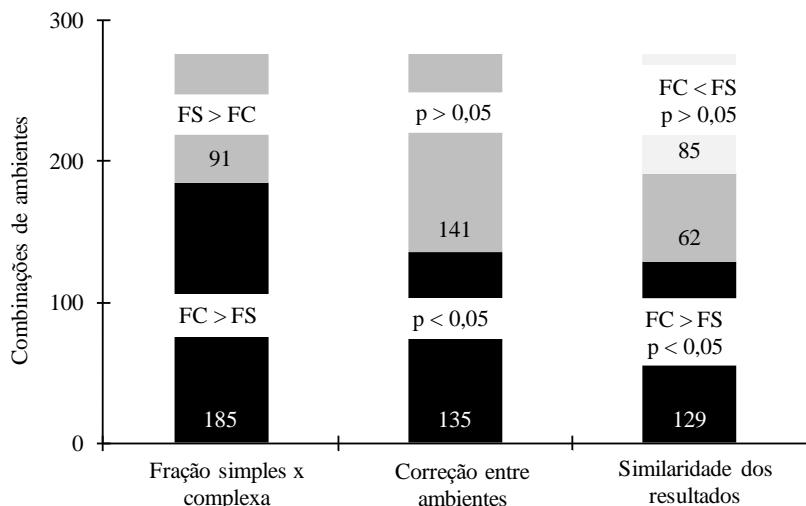
Cotrim *et al.* (2019) relatam que correlações positivas e acima de 0,70 indicam que, para a característica avaliada, os resultados obtidos nos ambientes podem ser considerados redundantes. No entanto, os resultados observados, alta correlação entre ambientes diferentes em relação a épocas de plantio e condições nutricionais, segundo Ribeiro e Almeida (2011), têm relação com a reduzida capacidade do método em mensurar possíveis divergências, bem como o baixo rigor nos critérios de separação dos ambientes.

Os ambientes 4, 5, 17 e 21 não foram incluídos no grupo I e estão presentes em sua maioria de forma isolada na maior parte dos 30 grupos restantes formados. Ainda, apresentaram em grande parte interação GxA do tipo complexa e coeficiente de correlação baixo. Esse fato ocorreu devido à mudança de posicionamento dos genótipos nos diferentes ambientes, dificultando a recomendação deles em ampla faixa de adaptação nos ambientes estudados (PACHECO *et al.*, 2008).

Nos pares de ambientes formados, 68% apresentaram interação GxA do tipo complexa (Figura 3) e que confirma a formação de 31 grupos pelo método tradicional de Lin (1982). Mijone *et al.* (2019) também observaram a predominância de interação do tipo complexa em estudos de avaliação de genótipos de milho em condições de safrinha, em Goiás e Minas Gerais.

A predominância da fração complexa em trabalhos de estratificação ambiental indica a grande variação da posição dos genótipos nos ambientes, indicando a necessidade de se realizar avaliações em maior número de ambientes. Tal fato é resultante da dificuldade em agrupar os ambientes, conforme relato de Matta *et al.* (2020).

Figura 3 – Síntese da análise de estimativa da fração simples (FS) e complexa (FC), em porcentagem, da interação genótipos x ambientes, segundo Cruz e Castoldi (1991), e da correlação entre ambientes, de 24 ambientes de avaliação de 12 genótipos de milho com base na produtividade média de grãos, em gramas planta⁻¹, na safra 2012/13 e 2013/14



Fonte: Elaborado pelos autores.

Entretanto, mesmo com a formação de muitos grupos (Figura 2), a inclusão de maior parte dos ambientes no grupo I e a exclusão de quatro ambientes (4, 5, 17 e 21) de tal grupo nos demais formados, sugere que pode ocorrer redução dos ambientes de estudo. Tal afirmação, com base nos resultados desta pesquisa, também é relatada por Cotrim *et al.* (2019) em estudos com algodão, e por Matta *et al.* (2020) em estudos com girassol. Segundo Cruz e Regazzi (2007), ambientes similares podem ser reduzidos e, nos critérios de avaliação, deve-se considerar os mais convenientes ao programa pela logística e/ou disponibilidade de infraestrutura, bem como ampliar a rede de avaliações em ambientes de interesse, ou ainda intensificar o rigor de avaliações nos locais remanescentes.

Desse modo, nesta pesquisa, os ambientes de estudo da interação genótipos e ambientes poderiam ser resumidos a condições de semeadura de safrinha com baixa disponibilidade de nitrogênio e diferentes tipos de cobertura morta.

Considerações finais

Com base nos resultados obtidos, os genótipos UFT5, UFT6 e BR205 apresentaram ampla adaptação nos ambientes de estudo; e os genótipos UFT2 e BRS GORUTUBA apresentaram adaptação a ambientes favoráveis.

A utilização de diferentes doses de adubação nitrogenada em cobertura combinada com as épocas de plantio, em duas safras, promoveu a formação de ambientes distintos para os genótipos estudados. Os métodos utilizados na estratificação e dissimilaridade ambiental apresentaram informações complementares.

Por fim, os ambientes de estudo da interação genótipos e ambientes poderiam ser resumidos a condições de semeadura de safrinha com baixa disponibilidade de nitrogênio e diferentes tipos de cobertura morta, na avaliação de genótipos de ampla base genética. Dessa forma, ao verificar a tendência recente de cultivo do milho safrinha no país e no Tocantins associado ao baixo uso de insumos nesses plantios e os resultados obtidos nesta pesquisa, torna-se interessante o uso desses ambientes pelos programas de melhoramento.

Referências

CARGNELUTTI FILHO, A.; GUADAGNIN, J. P. Sufficient number of experiments for the adaptability and stability analyses of maize using the Eberhart and Russell method. **Pesquisa**

Agropecuária Brasileira, v. 53, n. 6, p. 673-683, 2018. Disponível em:
<http://dx.doi.org/10.1590/S0100-204X2018000600003>. Acesso em: 18 nov. 2019.

CARVALHO, E. V.; AFFERRI, F. S.; PELUZIO, J. M.; SANTOS, W. F.; BICUDO, S. J. Adaptabilidade na produção de massa verde e grãos de genótipos de milho no Tocantins.

Revista Ciência Agronômica, v. 45, n. 4, p. 856-862, 2014. Disponível em:
<http://dx.doi.org/10.1590/S1806-66902014000400025>. Acesso em: 18 nov. 2019

CHANDEL, U.; GULERIA, S. K.; SUDAN, R. S.; KUMAR, D. Genotype By Environment Interaction and Stability Analysis for Maize Hybrids in North Western Himalayas Ecology. **Maydica**, v. 64, n. 1, p. 7, 2019.

COSTA, R. V.; SIMON, J.; COTA, L. V.; SILVA, D. D.; ALMEIDA, R. E. M.; LANZA, F. E.; LAGO, B. C.; PEREIRA, A. A.; CAMPOS, L. J. M.; FIGUEIREDO, J. E. F. Yield losses in off-season corn crop due to stalk rot disease. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 54, e00283, 2019. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/S1678-3921.pab2019.v54.00283>. Acesso em: 18 nov. 2019.

COTRIM, M. F.; FARIAS, F. J. C.; CARVALHO, L. P.; TEODORO, L. P. R.; BHERING, L. L.; TEODORO, P. E. Environmental stratification in the brazilian cerrado on the yield and fiber quality of cotton genotypes. **Bioscience journal**, v. 35, n. 5, p. 1349-1355, 2019. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.14393/BJ-v35n5a2019-42259>. Acesso em: 18 nov. 2019.

CRUZ, C. D.; CASTOLDI, F. Decomposição da interação genótipo x ambiente em partes simples e complexa. **Revista Ceres**, v. 38, n. 219, p. 422-430, 1991.

CRUZ, C. D.; REGAZZI, A. J. **Modelos biométricos plicados ao melhoramento genético**. Viçosa-MG: Imprensa universitária, 2007. 480p.

EBERHART, S. A.; RUSSEL, W. A. Stability parameters for comparing varieties. **Crop science**, v. 6, n. 1, p. 36-40, 1966. Disponível em:
<http://dx.doi.org/10.2135/cropsci1966.0011183X000600010011x>. Acesso em: 18 nov. 2019.

FANCELLI, A. L.; DOURADO NETO, D. **Produção de milho**. Guaíba: Agropecuária, 2000. 360p.

FARIA, S. V.; LUZ, L. S.; RODRIGUES, M. C.; CARNEIRO, J. E. S.; CARNEIRO, P. C. S.; LIMA, R. O. de. Adaptability and stability in commercial maize hybrids in the southeast of the State of Minas Gerais, Brazil. **Revista Ciência Agronômica**, v. 48, n. 2, p. 347-357, 2017. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.5935/1806-6690.20170040>. Acesso em: 18 nov. 2019.

FERRARI, M.; CARVALHO, I. R.; PELEGRI, A. J.; NARDINO, M.; SZARESKI, V. J.; OLIVOTO, T.; ROSA, T. C.; FOLLMANN, D. N.; PEGORARO, C.; MAIA, L. C.; SOUZA, V. Q. Path analysis and phenotypic correlation among yield components of soybean using environmental stratification methods. **Australian Journal of Crop Science**, v. 12, n. 2, p. 192-202, 2018. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.21475/ajcs.18.12.02.pne488>. Acesso em: 18 nov. 2019.

GARBUGLIO, D. D.; GERAGE, A. C.; ARAUJO, P. M.; FONSECA JÚNIOR, N. S.; SHIOGA, P. S. Análise de fatores e regressão bissegmentada em estudos de estratificação ambiental e adaptabilidade em milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 42, n. 2, p. 183-191, 2007. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-204X2007000200006>. Acesso em: 18 nov. 2019.

GARBUGLIO, D. D.; FERRIRA, D. F.; ARAÚJO, P. M.; GERAGE, A. C.; SHIOGA, P. S. Comparison of multivariate methods for studying the G×E interaction. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 36, n. 6, p. 3499-3516, 2015. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.5433/1679-0359.2015v36n6p3499>. Acesso em: 18 nov. 2019.

LIN, C.S. Grouping genotypes by a cluster method directly related to genotype-environment interaction mean-square. **Theoretical and Applied Genetics**, v. 62, n. 3, p. 277-280, 1982. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1007/BF00276251>. Acesso em: 18 nov. 2019.

MASTRODOMENICO, A. T.; HAEGELE, J. W.; SEEBAUER, J. R.; BELOW, F. E. Yield Stability Differs in Commercial Maize Hybrids in Response to Changes in Plant Density, Nitrogen Fertility, and Environment. **Crop Science**, v. 58, p. 230-241, 2018. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.2135/cropsci2017.06.0340>. Acesso em: 18 nov. 2019.

MATTA, L. B.; CRUZ, C. D.; SANTOS, I. A.; CARVALHO, C. G. P.; BORBA FILHO, A. B.; ALVES, A. D.; Optimum environment number for the national sunflower trials network. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 42, e42792, 2020. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.4025/actasciagron.v42i1.42792>. Acesso em: 18 nov. 2019.

MIJONE, A. P.; NOGUEIRA, A. P. O.; HAMAWAKI, O. T.; MAES, M. L.; PINSETTA JUNIOR, J. S. Adaptability and stability of corn hybrids in the off season across various agricultural regions in Brazil. **Genetics and Molecular Research**, v. 18, n. 3, gmr18193, 2019. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.4238/gmr18193>. Acesso em: 18 nov. 2019.

OLIVEIRA, T. R. A.; CARVALHO, H. W. L.; COSTA, E. F. N.; CARVALHO FILHO, J. L. S. Correlation among adaptability and stability assessment models in maize cultivars. **Australian Journal of Crop Science**, v. 11, n. 5, p. 516-521, 2017. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.21475/ajcs.17.11.05.p304>. Acesso em: 18 nov. 2019.

OLIVEIRA, T. R. A.; CARVALHO, H. W. L.; OLIVEIRA, G. H. F.; COSTA, E. F. N.; GRANIVA, G. A.; SANTOS, R. D.; CARVALHO FILHO, J. L. S. Hybrid maize selection through GGE biplot analysis. **Bragantia**, v. 78, n. 2, p. 166-174, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1678-4499.20170438>. Acesso em: 18 nov. 2019.

PACHECO, C. A. P.; SILVA, H. D.; SANTOS, M. X.; GUIMARÃES, P. E. O.; PARENTONI, S. N.; GAMA, E. E. G.; ESCAPIM, C. A.; MEIRELLES, W. F.; CARVALHO, H. W. L.; VIEIRA JÚNIOR, P. A. V. Environmental stratification based on a 28 X 28 diallel of open-pollinated maize varieties. **Crop Breeding and applied biotechnology**, v. 8, n. 3, p. 259-264, 2008. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.12702/1984-7033.v08n04a01>. Acesso em: 18 nov. 2019.

PACHECO, R. M.; DUARTE, J. B.; BRANQUINHO, R. G.; SOUZA, P. I. D. M. Environmental stratifications for soybean cultivar recommendation and its consistency over

time. **Genetics and Molecular Research**, v. 16, n. 3, gmr16039693, 2017. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.4238/gmr16039693>. Acesso em: 18 nov. 2019.

RIBEIRO, J. Z.; ALMEIDA, M. I. M. Estratificação ambiental pela análise da interação genótipo x ambiente em milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 46, n. 8, p. 875-883, 2011. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-204X2011000800013>. Acesso em: 18 nov. 2019.

SANTOS, D. C.; PEREIRA, C. H.; NUNES, J. A. R.; LEPRE, A. L. Adaptability and stability of maize hybrids in unreplicated multienvironment trials. **Revista Ciência Agronômica**, v. 50, n. 1, p. 83-89, 2019. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.5935/1806-6690.20190010>. Acesso em: 18 nov. 2019.

UATE, J. V.; NUVUNGA, J. J.; SILVA, C. P.; GUIMARÃES, L. J. M.; VON PINHO, R. G.; BALESTRE, M. Genetic progress, adaptability and stability of maize cultivars for value of cultivation and use trials. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 41, e42624, 2019. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.4025/actasciagron.v41i1.42624>. Acesso em: 18 nov. 2019.

VAN EEUWIJK, F. A.; BUSTOS-KORTS, D. V.; MALOSETTI, M. What Should Students in Plant Breeding Know About the Statistical Aspects of Genotype x Environment Interactions? **Crop Science**, v. 56, n. 5, p. 2119-2140, 2016. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.2135/cropsci2015.06.0375>. Acesso em: 18 nov. 2019.

VASCONCELOS, E. S.; REIS, M. S.; SEDIYAMA, T.; CRUZ, C. D. Produtividade de grãos, adaptabilidade e estabilidade de genótipos de soja de ciclos precoce e médio. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 36, n. 3, p. 1203-1214, 2015. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.5433/1679-0359.2015v36n3p1203>. Acesso em: 18 nov. 2019.