

Estudo do controle genético para resistência a *Fusarium verticillioides* em milho.

Ewerton Lélys Resende⁽¹⁾; Luiz Antonio Yanes Bernardo Júnior⁽²⁾; Gabriella Santos Pereira⁽³⁾; Luiz Paulo Miranda Pires⁽⁴⁾; Rafaela Beiral Campos Borges⁽⁵⁾; Renzo Garcia Von Pinho⁽⁶⁾.

⁽¹⁾ Graduando em Agronomia; Universidade Federal de Lavras – UFLA; Lavras, Minas Gerais; elresendeagro@outlook.com; ⁽²⁾ Doutorando em Genética e Melhoramento de Plantas; Universidade Federal de Lavras – UFLA; ⁽³⁾ Doutora em Genética e Melhoramento de Plantas; Universidade Federal de Lavras – UFLA; ⁽⁴⁾ Doutorando em Fitotecnia; Universidade Federal de Lavras – UFLA; ⁽⁵⁾ Graduanda em Agronomia; Universidade Federal de Lavras – UFLA; ⁽⁶⁾ Professor Titular do Departamento de Agricultura; Universidade Federal de Lavras – UFLA.

RESUMO: Nos últimos anos tem-se observado uma grande incidência de fungos causadores de “grãos ardidos” na cultura do milho em todo Brasil. Diante disto, os objetivos neste trabalho foram avaliar a reação de linhagens de milho, quando inoculadas com *F. Verticillioides*, verificar se há efeito materno para resistência a grãos ardidos e estudar o controle genético. Primeiramente, foram avaliadas 30 linhagens para a seleção das quatro mais resistentes e suscetíveis à doença. Estas linhagens selecionadas foram cruzadas em esquema de dialelo parcial para o estudo do controle genético da característica. Os experimentos foram conduzidos em delineamento de blocos completos casualizados, com três repetições. Os experimentos foram avaliados em dois locais, Lavras e Inconfidentes, MG. A inoculação das plantas foi realizada quinze dias após 100% das plantas das parcelas terem emitido os estilo-estigmas. Foram avaliadas porcentagem de espigas doentes, porcentagem de grãos ardidos e incidência de grãos ardidos. As porcentagens médias de grãos ardidos variaram de 4,38 a 34,54. Considerando a análise dialélica conjunta, verificou-se que o quadrado médio da CGC não foi significativo para a característica em estudo. Já a CEC foi significativa, o que indica a predominância de efeitos não aditivos envolvidos no controle da característica. Contudo, pode-se concluir que há variabilidade genética entre as linhagens de milho para a resistência a grãos ardidos causados por *Fusarium verticillioides*. As

linhagens 37, 22, 58 e 91 destacaram-se com alto nível de resistência.

Termos de indexação: *Zea mays*, grãos ardidos, podridão rosada da espiga.

INTRODUÇÃO

Nos últimos anos tem-se observado nas principais regiões onde se cultiva milho no Brasil uma grande incidência de fungos causadores de podridões de espiga, como o *Fusarium verticillioides*. Este fungo deprecia a qualidade dos produtos e causa perda no rendimento dos grãos (Silva et al., 2007). Os grãos infectados por *F. verticillioides* também apresentam valor nutricional reduzido e baixa palatabilidade para animais.

As micotoxinas produzidas por este patógeno podem causar a síndrome do edema pulmonar em equinos, diminuição do consumo de alimentos e diarreia em suínos, inibição do crescimento e mortalidade em aves (Gil & Lima, 1996).

Devido aos grandes prejuízos da doença, o método de controle desta doença mais eficiente e competitivo consiste em lançar mão de híbridos de milho resistente ao *F. verticillioides*. O que se sabe até o momento a respeito da resistência a grãos ardidos causados por *Fusarium spp.* é que se trata de herança poligênica com complexo controle genético (Mesterhazy et al., 2012). Alguns estudos indicaram também presença de efeito materno na resistência aos grãos ardidos (Kovács et al., 1994; Mukanga et al., 2010).

Até o momento, são escassos na literatura trabalhos que foram realizados com intuito de estudar o controle genético da resistência a doença utilizando genótipos desenvolvidos no Brasil.

Sendo assim, os objetivos neste trabalho foram avaliar a reação de linhagens de milho, provenientes do banco de germoplasma do Departamento de Agricultura da Universidade Federal de Lavras (UFLA), quando inoculadas com *F. verticillioides*, verificar se há efeito materno para resistência a grãos ardidos e estudar o controle genético desta característica.

MATERIAL E MÉTODOS

O presente trabalho foi realizado em duas etapas. Na primeira etapa foi realizado o screening das linhagens. Nesta etapa foram avaliadas em relação a infecção do *F. verticillioides* 30 linhagens elites do banco ativo de germoplasma de milho da UFLA.

O inóculo do fungo foi proveniente da micoteca da Embrapa Milho e Sorgo, e sua replicação foi realizada no Laboratório de Micologia do Departamento de Fitopatologia da UFLA. Os isolados foram crescidos em meio completo, durante sete dias antes da inoculação. A suspensão de conídios do fungo foi ajustada por meio da contagem em câmara de Neubauer para 10^6 conídios mL^{-1} no dia da inoculação.

As inoculações do patógeno foram realizadas 15 dias após 100% das plantas da parcela terem emitido os estilo-estigmas em campo. Foi utilizada uma pipeta para inoculação de 1 mL da suspensão obtida na região central de cada espiga.

A incidência de grãos ardidos foi determinada conforme procedimento proposto por portaria nº11, de 12/04/96, Brasil (1996). A partir de uma amostra de 300 g de grãos por parcela, foi feita a separação visual e determinação da porcentagem de grãos com sintomas de descoloração em mais de um quarto da sua superfície total. Os dados obtidos foram submetidos a análises de variância pelo software R. As médias foram agrupadas pelo teste de Scott Knott a 5% de probabilidade, utilizando-se o programa Genes.

Após o screening das linhagens, foram selecionadas as quatro linhagens mais suscetíveis e as quatro mais resistentes. Foram obtidos os híbridos e recíprocos em esquema de dialelo parcial entre os dois grupos de linhagens, sendo um grupo composto pelas linhagens resistentes 22, 37, 58 e 91, e o outro composto pelas linhagens suscetíveis 40, 64, 81, 83.

Foram conduzidos dois experimentos, sendo um na área experimental do Centro de

Desenvolvimento Tecnológico em Agropecuária da UFLA, no município de Lavras-MG, e o outro no Instituto Federal do Sul de Minas em Inconfidentes-MG. Os experimentos foram semeados no final de novembro de 2013.

Os experimentos foram conduzidos em delineamento de blocos ao acaso com três repetições. Cada parcela foi constituída por duas linhas de quatro metros de comprimento espaçadas de 0,6 m. As características avaliadas foram porcentagem de espigas doentes, porcentagem de grãos ardidos e produtividade de grãos. Para determinar a porcentagem de espigas doentes, foram contadas todas as espigas e o número de espigas doentes de cada parcela. A porcentagem de grãos ardidos foi determinada da mesma maneira que a incidência de grãos ardidos.

Foram avaliados 40 genótipos de milho, sendo 16 híbridos simples e seus recíprocos e oito linhagens que originaram estes híbridos por meio do esquema de dialelo parcial. Por esta metodologia, foram determinados os valores dos efeitos das capacidades geral e específica de combinação. Posteriormente, foi realizada a análise dialélica conjunta, envolvendo os dois locais, considerando todos os efeitos como fixos, exceto o efeito de genótipos e o erro experimental.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

As porcentagens médias de grãos ardidos das 30 linhagens variaram de 4,38 a 34,54. Para a fonte de variação genótipos, as diferenças foram significativas ($P \leq 0,05$) para todas as características em Lavras, MG (**Tabela 1**).

É necessário enfatizar que o sucesso na avaliação de cultivares é diretamente dependente da precisão experimental. No presente caso, a precisão foi avaliada pela acurácia seletiva (r_{gg}). A acurácia é um parâmetro que se refere à correlação existente entre o valor genotípico verdadeiro do tratamento genético e os valores estimados ou preditos a partir dos dados obtidos no experimento (Resende & Duarte, 2007). Os resultados evidenciaram que houve alta precisão experimental, uma vez que os valores de r_{gg} foram na maioria superiores a 0,70 nos dois ambientes (Resende & Duarte, 2007).

Apenas em Lavras foi possível detectar diferenças significativas entre os genótipos para porcentagem de grãos ardidos. A acurácia seletiva neste ambiente foi de alta magnitude (0,96429), indicando alta precisão experimental.

Comparando esta característica com a porcentagem de espigas com sintomas de grãos ardidos em Lavras, pode-se inferir que a avaliação

da porcentagem de grãos ardidos foi mais eficiente para avaliação da resistência devido a alta acurácia seletiva comparada com a acurácia da segunda característica mencionada, que foi de 0,7030.

Em Inconfidentes, não houve diferenças significativas para porcentagem de grãos ardidos, mas apenas para porcentagem de espigas com sintomas da doença. A acurácia seletiva para esta característica foi de baixa magnitude (0,2557), indicando baixa precisão experimental.

Neste local, as condições climáticas durante a safra foram atípicas, com uma seca prolongada durante todo o ciclo da cultura, o que dificultou o desenvolvimento da doença e, conseqüentemente, o screening dos genótipos quanto a resistência. Este fato fica evidente ao comparar a porcentagem média de grãos ardidos entre as localidades. Em Inconfidentes esta média foi de 1,29%, enquanto que em Lavras a média foi de 2,05%, ou seja, 37% superior.

Para as características de produtividade de grãos e porcentagem de espigas com sintomas de grãos ardidos, os genótipos em Lavras obtiveram resultados superiores em torno de 11,95% e 4,9% respectivamente, em relação aos obtidos em Inconfidentes.

A análise dialélica realizada com os dados obtidos em Lavras mostrou que o efeito da CEC foi altamente significativo e que não houve diferenças entre as CGC das linhagens e os recíprocos, tanto para a característica porcentagem de grãos ardidos quanto para porcentagem de espigas com o sintoma da doença.

Já os resultados obtidos em Inconfidentes mostraram que os efeitos de CGC, CEC e recíprocos não foram significativos para a porcentagem de grãos ardidos, como era de se esperar, tendo em vista que o efeito dos genótipos para esta característica não foi significativo nesta localidade. No entanto, os resultados para a outra característica corroboraram com os obtidos em Lavras.

Tabela 1 - Resumo das análises dialélicas para as características porcentagem de grãos ardidos (GA) e a porcentagem de espigas com sintomas de grãos ardidos (ED), obtidas nos experimentos conduzidos em Lavras e Inconfidentes, MG, Lavras, MG, 2014.

FV	Lavras		
	GL	QM	
		GA	ED
Genótipos(G)	63	16,9105**	654,97**
C.G.C	7	21,0134 ^{n.s}	341,97 ^{n.s}
C.E.C	28	32,3894**	1136,16**

Recíproco	28	0,4582 ^{n.s}	252,01 ^{n.s}
Resíduo	78	1,5632	322,12
Inconfidentes			
FV	GL	QM	
		GA	ED
Genótipos(G)	63	3,731319 ^{n.s}	890,06**
C.G.C	7	5,325418 ^{n.s}	1623,87 ^{n.s}
C.E.C	28	6,690857 ^{n.s}	1451,88**
Recíproco	28	0,373259 ^{n.s}	144,78 ^{n.s}
Resíduo	78	5,1528	238,05

Os resultados da análise dialélica por local indicaram que os efeitos não aditivos, ou seja, os efeitos de dominância, foram mais relevantes para explicar o controle da resistência. Com isso, fica evidente que esta característica pode ser introduzida por meio do vigor híbrido.

Em nenhum dos locais foi constatado efeito significativo do recíproco para as duas características ligadas a resistência à doença, indicando predomínio da ação de genes nucleares e ausência de efeito materno ou de herança extracromossômica.

Considerando a análise dialélica conjunta para a característica porcentagem de grãos ardidos, verifica-se que o quadrado médio da CGC não foi significativo, assim como nas análises por local apresentadas (**Tabela 2**). Isso reforça que os genótipos não diferem entre si na CGC.

Tabela 2 - Desdobramento do efeito de genótipos em capacidade geral de combinação (CGC), capacidade específica de combinação (CEC) e interações CGC x locais e CEC x locais para a porcentagem de grãos ardidos causados por *F. verticillioides*, considerando a análise dialélica conjunta envolvendo os dois locais. UFLA, Lavras, MG, 2015.

FV	GL	QM	Fc (aleatório)
Genótipos (G)	63	14,241628	2,23 ^{n.s}
C.G.C.	7	15,039359	1,33 ^{n.s}
C.E.C.	28	27,979843	2,51 [*]
Recíproco (R)	28	0,33398	0,75 ^{n.s}
Ambiente (A)	1	16,1376	
G x A	63	6,40001	1,91 [*]
C.G.C. x A	7	11,2994	3,36 [*]

C.E.C x A	28	11,1304	3,31*
R x A	28	0,445098	0,13 ^{n.s}
Resíduo	156	3,358	

** e * significativos a 1 e 5% de probabilidade, respectivamente, pelo teste F; ^{ns} não-significativo, pelo teste F.

Já a CEC foi significativa também na análise conjunta, o que indica que há híbridos formados a partir do cruzamento de linhagens que apresentam melhor performance que outros, devido aos efeitos não aditivos envolvidos no controle da característica, o que indica heterose para a característica. Este resultado corroborou com o obtido por Hung & Holland (2012), que observaram 27% menos sintomas da doença nos híbridos, evidenciando a importância do vigor híbrido na resistência a grãos ardidos.

Não foi verificado efeito significativo do efeito recíproco para a porcentagem de grãos ardidos assim como nas análises por local (**Tabela 2**). Dorrace et al. (1998) também não verificaram efeito dos recíprocos em cruzamentos de linhagens de milho visando a resistência a *Stenocarpella maydis*, indicando que a resistência pode ser controlada por genes nucleares e que não há efeito materno.

CONCLUSÕES

A característica estudada relacionada com a resistência a grãos ardidos é controlada por genes cujos efeitos são predominantemente não aditivos.

Não há efeito recíproco para as características estudadas relacionadas com a resistência a grãos ardidos causados por *F. verticillioides*.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos à CAPES, FAPEMIG e CNPq.

REFERÊNCIAS

BRASIL. Portaria n. 11 de 12 de abril de 1996. Estabelece critérios complementares para classificação do milho. **Diário oficial da União**, Brasília, n. 72, 1996.

DORRACE, A. E.; HINKELMANN, K. H.; WARREN, H. L. Diallel analysis of diplodia ear rot resistance in maize. **Plant Disease**, v. 82, n. 6, p.699-703,1998.

GIL, L.H.V.G.; LIMA, G.J.M.M. Micotoxinas: o perigo oculto das rações. **Agropecuária Catarinense, Florianópolis**, v.9, n. 3, p.51-55, 1996.

HUNG, H. Y.; HOLLAND, J. B. Diallel analysis of resistance to fusarium ear rot and fumonisin contamination

in maize. **Crop Science**, v. 52, n. 5, p. 2173-2181, 2012.

KOVÁCS, K.; KOVÁCS, G. Jr.; MESTERHÁZY, Á. Expression of resistance to fusarial ear blight in corn inbreds and their hybrids. **Maydica** 39, 187-190, 1994.

MESTERHÁZY, Á.; LEMMENS, M.; REID, L. M. Breeding for resistance to ear rots caused by *Fusarium* spp. in maize – a review. **Plant Breeding**, v. 131, n. 1, p. 1-19, 2012.

MUKANGA, M.; DERERA, J.; TOONGONA, P.; LAING, M. D. A survey of pre-harvest ear rot diseases of maize and associated mycotoxins in south and central Zambia. **International Journal of Food Microbiology**, v. 141, n. 3, p. 213–221, 2010.

RESENDE, M. D. V.; DUARTE, J. B. Precisão e controle de qualidade em experimentos de avaliação de cultivares. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v.37, n.3, p.182-194, 2007.

SILVA, E.; MORA, E. A.; MEDINA, A.; VASQUEZ, J.; VALDEZ, D.; DANIAL, D. L.; PARLEVLIT, J. E. Fusarium ear rot and how to screen for resistance in open pollinated maize in the Andean regions. **Euphytica**, v. 153, n. 3, p. 329-337,2007.



XXXI CONGRESSO NACIONAL DE MILHO E SORGO

**"Milho e Sorgo: inovações,
mercados e segurança alimentar"**
