

CONTROLE GENÉTICO DA TOLERÂNCIA À ALTA TEMPERATURA DE SECAGEM EM SEMENTES DE MILHO

SOLANGE CARVALHO BARRIOS ROVERI JOSÉ¹, ÉDILA VILELA DE RESENDE VON PINHO², RENZO GARCIA VON PINHO², MAGNO ANTÔNIO PATTO RAMALHO³, JOÃO LUIS DA SILVA FILHO⁴

¹Eng. Agrônoma, Dra., Depto. de Agricultura-Setor Sementes da Universidade Federal de Lavras – UFLA. Caixa Postal 37, CEP. 37200-000 Lavras, MG. E-mail: marsol@ufla.br (autor para correspondência)

²Eng. Agrônomos, Drs., Professores do Departamento de Agricultura da Universidade Federal de Lavras. E-mail: edila@ufla.br e renzo@ufla.br

⁴Dr. Prof. do Departamento de Biologia. E-mail: magnoapr@ufla.br

⁵pesquisador Embrapa/CNPA. Campina Grande. E-mail: joaoluis@cnpa.embrapa.br

Revista Brasileira de Milho e Sorgo, v.3, n.3, p.414-428, 2004

RESUMO - A tolerância das sementes à alta temperatura de secagem é uma característica importante a ser avaliada nos programas de melhoramento de milho. Nesta pesquisa, foi estudado o seu controle genético a partir da avaliação das características fisiológicas das sementes. Foram utilizadas 12 linhagens, previamente selecionadas, sendo seis tolerantes e seis intolerantes à alta temperatura de secagem, para compor um dialelo parcial 6 x 6. As sementes foram colhidas manualmente em espigas com teor de água em torno de 35% e secas a 45°C até atingirem o conteúdo final de água de, aproximadamente, 8%. A qualidade fisiológica das sementes foi avaliada por meio dos testes de germinação, frio sem solo, envelhecimento acelerado e condutividade elétrica. Os efeitos da capacidade geral (CGC) e específica (CEC) de combinação, bem como os efeitos recíprocos, foram significativos para a tolerância à alta temperatura de secagem. Dentro da variabilidade genotípica observada nos cruzamentos, o efeito recíproco contribuiu com 47% e 44,7% da variação para o teste de envelhecimento acelerado e condutividade elétrica respectivamente e com 49% tanto para o teste de germinação como no teste frio. No controle genético da tolerância à alta temperatura de secagem provavelmente ocorre efeito materno.

Palavras-chave: dessecação, dialelo, sementes, qualidade fisiológica

GENETIC CONTROL OF CORN SEEDS TOLERANCE TO HIGH DRYING TEMPERATURE

ABSTRACT – Seeds tolerance to high drying temperature is an important characteristic to be evaluated in the corn breeding programs. In this research the genetic control of this characteristic was studied by using the seed physiological characteristics. Twelve lines, previously selected were used, being six tolerant and six intolerant to high drying temperature, in a 6 x 6 partial diallel. The seeds were harvested by hand on corn ears with water content around 35% and dried at 45°C up to 8% water content. The physiological quality of the seeds was evaluated by germination test, cold test without soil, accelerated aging and electrical conductivity. The effects of the general (GCA) and specific (SCA) combining ability, and the reciprocal effects were significant for the high

drying temperature tolerance. Inside the genotypical variability observed, the reciprocal effects occurred for 47% and 44,7% for the accelerated aging and electrical conductivity test, respectively, and for 49% for germination and cold tests. In the genetic control for the high drying temperature tolerance maternal effect will probably occur.

Key words: desiccation, diallel, seeds, physiological quality

A demanda por sementes de alta qualidade tem crescido substancialmente nos últimos anos. Isto tem exigido das empresas produtoras de sementes padrões de qualidade mais rígidos, aliados a tecnologias que tornem mais eficientes o sistema de produção. Dentre as operações de pós-colheita destaca-se a secagem artificial que tem maior relevância quando se trata de colheita de sementes de milho em espigas com elevado teor de água. Apesar das vantagens que apresenta, a secagem artificial tem sido causa de danos nas sementes, com significativas reduções na sua qualidade fisiológica. A intensidade desses danos varia com as condições de secagem, com a qualidade e teores de água iniciais das sementes, aliados aos aspectos genéticos (Chen & Burris, 1990 e 1991).

A seleção de genótipos tolerantes à alta temperatura de secagem pode reduzir o tempo de secagem ao permitir a utilização de temperaturas mais altas, proporcionando maior eficiência nas diferentes etapas do processo. Sendo assim, a tolerância à alta temperatura de secagem é uma característica importante a ser avaliada nos programas de melhoramento de milho. Uma condição essencial para tornar eficiente qualquer programa de melhoramento genético é o estudo, com relação à população base ou aos genitores escolhidos, dos sistemas poligênicos que determinam as características quantitativas de interesse. Para a realização desses estudos é comum o uso do sistema de cruzamentos denominado dialelo (Wricke & Weber, 1986).

Embora a maioria dos caracteres dos organismos superiores seja controlada por genes

nucleares, existe outro grupo de caracteres que é herdado dos genes ou produtos gênicos presentes no citoplasma, sendo o gameta o que feminino contribui com o citoplasma para o descendente. Assim, para estudar este tipo de herança, deve-se verificar se existe diferença entre os resultados de um cruzamento e de seu recíproco. Se os resultados de um cruzamento e de seu recíproco forem idênticos, a herança do caráter em questão é controlada por genes nucleares. Caso contrário, a expressão do caráter pode ser devido a efeitos citoplasmáticos, e portanto persiste nas sucessivas gerações, e/ou ao efeito do fenótipo de origem materna e o produto do cruzamento só irá se manifestar na geração seguinte (Ramalho *et al.*, 1990).

Em sementes de milho, diferenças na expressão fenotípica entre híbridos e recíprocos têm sido observadas para várias características como peso seco do embrião e endosperma, taxa de crescimento do grão, proteína e óleo no embrião, síntese de zeína, germinação de sementes a baixa temperatura e tolerância a injúrias por secagem (Kollipara *et al.*, 2002).

A suscetibilidade das sementes à injúria por secagem varia com o genótipo, existindo diferenças entre os cruzamentos dependendo do genitor feminino utilizado (Navratil, 1981). Bdliya & Burris (1988) observaram diferenças nos valores de germinação das sementes de linhagens de milho quando as mesmas foram utilizadas como genitor feminino, sugerindo que a maior parte da variabilidade observada entre as sementes para a tolerância a injúria por secagem

estava associada com a herança materna e ou citoplasmática.

Trabalhos referentes ao estudo do controle genético para tolerância a altas temperaturas de secagem, envolvendo materiais de clima tropical, são praticamente inexistentes. O conhecimento desse controle é fundamental para reduzir o trabalho nos programas de melhoramento, permitindo o direcionamento durante o processo de seleção. Dessa forma, o objetivo desta pesquisa foi estudar o controle genético para tolerância à alta temperatura de secagem de sementes de milho, por meio de um cruzamento dialélico parcial, utilizando características fisiológicas das sementes.

Material e Métodos

As linhagens utilizadas nesse experimento foram cedidas pela empresa GeneSeeds – Recursos Genéticos em Milho Ltda. Trinta e uma linhagens, provenientes de diferentes populações, foram tomadas aleatoriamente de um banco de germoplasma contendo 1.000 linhagens. Suas sementes foram primeiramente multiplicadas e submetidas às avaliações fisiológicas. Sementes dessas linhagens foram selecionados em dois grupos de seis linhagens cada, sendo o grupo 1 (G1) constituído de sementes de linhagens tolerantes

à alta temperatura de secagem e o grupo 2 (G2), sementes de linhagens intolerantes. A partir desses dois grupos foram obtidos híbridos simples de milho, incluindo os recíprocos, utilizando-se o sistema de cruzamento dialélico parcial, mais as linhagens genitoras. A pesquisa foi conduzida na área experimental do Departamento de Agricultura da Universidade Federal de Lavras (UFLA), cujas coordenadas são latitude 21°14'S, longitude 40°17'W e altitude de 918,80m. O solo é classificado como latossolo vermelho escuro, com textura argilosa. Na adubação de semente utilizaram-se 400 kg ha⁻¹ de 8-28-16 e na primeira e segunda coberturas, 400 kg ha⁻¹ de 20-0-20 e 180 kg ha⁻¹ de uréia respectivamente. Os demais tratamentos culturais foram realizados conforme as recomendações para a cultura. A sementeira foi realizada em três épocas distintas para garantir a coincidência do florescimento entre os genitores. Antes da emissão dos estileto-estigmas, as espigas de cada planta foram protegidas com sacos plásticos para garantir os cruzamentos desejáveis. As condições climáticas durante a safra estudada são apresentadas na Tabela 1.

Durante o processo de maturação das sementes, as espigas foram amostradas para determinação do teor de água, utilizando-se o

TABELA 1. Caracterização das condições climáticas ocorridas durante a produção de sementes de milho, safra 2000/01. UFLA, Lavras – MG.

Meses	Tx (°C)	Tn (°C)	Tm (°C)	UR (%)	Pt (mm)	I (horas)
Novembro	26,9	17,0	21,1	76	239,2	5,5
Dezembro	28,2	18,0	22,2	78	233,8	5,7
Janeiro	29,4	18,5	23,0	72	147,5	7,5
Fevereiro	31,0	18,4	24,5	69	46,8	8,4
Março	28,1	17,9	22,6	75	146,4	6,6

Tx - Temperatura máxima, Tn – temperatura mínima, Tm – temperatura média, UR – umidade relativa, Pt - precipitação total e I – insolação.

Fonte: Setor de Agrometeorologia do Departamento de Engenharia - UFLA.

método da estufa a 130°C, por 4 horas, conforme prescrições das Regras para Análise de Sementes (Brasil, 1992). A colheita foi realizada quando as sementes atingiram aproximadamente 35% de teor de água. As espigas foram colhidas manualmente e, em seguida, submetidas à secagem artificial até atingirem o conteúdo de água de aproximadamente 8%. Para a secagem das espigas foram utilizados secadores experimentais de pequena escala, construídos de acordo com Navratil & Burris (1982). A temperatura e o fluxo do ar de secagem foram respectivamente de 45°C e 23,0 m³min⁻¹t⁻¹. Os valores diários de

umidade relativa e temperatura do ar ambiente, correspondentes ao período de secagem das sementes, são apresentados na Tabela 2.

As sementes, retidas na peneira 16 de crivo circular, foram tratadas com os fungicidas Tecto 600® (60g do produto comercial/100Kg de sementes) e Captan® (150g do produto comercial/100Kg de sementes) e permaneceram em câmara fria e seca regulada a ± 15°C e umidade relativa de 50% até a realização das avaliações da qualidade fisiológica das sementes, realizadas no laboratório de Análise de Sementes do Departamento de Agricultura da UFLA.

TABELA 2. Valores diários de umidade relativa e temperatura do ar ambiente, correspondentes ao período de secagem de sementes de milho, safra 2000/01. UFLA, Lavras – MG.

Dia	UR max.	UR min.	T max.	T min.
05/03	90	60	27	20
06/03	90	60	27	20
07/03	85	55	28	21
08/03	85	56	28	21
09/03	87	77	23	21
10/03	95	74	24	20
11/03	95	60	27	19
14/03	75	55	29	20
15/03	82	40	29	21
16/03	79	45	29	20
17/03	75	43	29	21
18/03	70	40	29	21
19/03	80	46	29	21
20/03	78	55	25	21
21/03	80	46	24	20
22/03	79	50	29	21
23/03	75	45	29	21
24/03	75	49	29	21
25/03	75	50	30	21
26/03	73	46	30	21
27/03	87	60	27	20
Médias	81,4	53,0	27,6	20,6

O teste de germinação foi conduzido com quatro repetições de 50 sementes, que foram semeadas entre papel toalha tipo Germitest umedecido em água destilada na proporção de 2,5 mL:1g de papel. Os rolos de papel contendo as sementes permaneceram no germinador regulado para 25°C e as avaliações foram efetuadas aos sete dias após a instalação do teste, segundo recomendações das Regras para Análise de Sementes (Brasil, 1992). Os resultados foram expressos em porcentagem média de plântulas normais.

Para o teste frio sem solo também foram utilizadas 50 sementes por repetição, que foram distribuídas em papel toalha umedecido com água destilada em uma proporção de três vezes o seu peso seco, perfazendo um total de 200 sementes por tratamento. Os rolos foram confeccionados como no teste de germinação e, após a semeadura, foram colocados no interior de sacos plásticos e mantidos em câmara regulada a 10°C durante sete dias. Decorrido este período, os rolos foram transferidos para o germinador regulado à 25°C e as plântulas normais que apresentavam parte aérea com pelo menos 2,5 cm, duas raízes seminais e a raiz principal foram computadas aos quatro e sete dias (Dias & Barros, 1995).

Quatro repetições de 25 sementes, sem danos aparentes, foram selecionadas e pesadas para a realização do teste de condutividade elétrica. As sementes foram imersas em 75 mL de água destilada por 24 horas à temperatura de 25°C e por meio de um condutímetro de massa da marca DIGIMED, modelo CD 21A, foi efetuada a leitura em μS . Os resultados foram expressos em $\mu\text{S}/\text{cm}/\text{g}$ de sementes (Marcos-Filho *et al.*, 1987).

Para o teste de envelhecimento acelerado utilizou-se do método de mini câmaras do tipo “gerbox”, onde as sementes foram distribuídas sobre uma tela suspensa no interior de cada caixa

contendo 40 mL de água. As sementes cobriram toda a superfície da tela, sem que houvesse sobreposição das mesmas. As sementes permaneceram incubadas durante 96 horas, numa temperatura de 41°C, e em seguida foi efetuado o teste de germinação (Marcos-Filho, 1994). Foram consideradas normais as plântulas que apresentavam 2,5 cm de parte aérea, pelo menos duas raízes seminais e a raiz principal.

Os testes realizados para avaliação da qualidade fisiológica das sementes seguiram o delineamento experimental em blocos casualizados, com quatro repetições. As análises estatísticas foram realizadas por meio do Sisvar (Sistema de Análise de Variâncias) para Windows (Ferreira, 2000) e a comparação entre as médias foi feita pelo teste de Scott e Knott, a 5% de probabilidade. Os dados de condutividade elétrica foram transformados em $\log x$.

Alguns híbridos e linhagens produziram quantidades de sementes insuficientes, o que gerou um desbalanceamento dos dados. Dessa forma, as análises de variâncias foram realizadas utilizando-se o PROC GLM, do pacote estatístico SAS – Statistical Analysis System - (SAS, 1995). As estimativas das capacidades geral e específica de combinação e efeito recíproco foram obtidas por meio do PROC IML do referido programa.

Utilizando os resultados médios, procedeu-se a análise do dialelo, segundo o modelo proposto por Griffing (1956), adaptado ao dialelo parcial (Cruz & Regazzi, 1994). A contribuição foi medida pelo coeficiente de determinação (R^2) aplicado às somas de quadrado.

Resultados e Discussão

Constatou-se diferença significativa para o contraste G1 vs G2 para todas as variáveis, exceto para a condutividade elétrica (Tabela 3), evidenciando que as linhagens, em média no

grupo, apresentaram comportamentos distintos com relação à tolerância das sementes à alta temperatura de secagem. Observou-se também diferença significativa entre as linhagens dentro de cada grupo para todos os caracteres.

Na análise dialélica, a capacidade geral de combinação (CGC) tanto do grupo 1 quanto do grupo 2 apresentou diferença significativa, realçando o comportamento diferenciado das linhagens em relação à secagem das sementes à alta temperatura. Também a capacidade específica de combinação (CEC), apresentou teste F

significativo em todos os testes efetuados. Verifica-se que a contribuição da CGC de ambos os grupos e da CEC para a variação total foi semelhante, exceto no caso da condutividade elétrica em que a CGC apresentou contribuição mais expressiva, de 42,5% e a CEC, 12,8%. Esses resultados, em princípio, evidenciam que no controle genético desses caracteres estão envolvidos genes cuja ação gênica é aditiva e também de dominância.

Um resultado expressivo foi a contribuição do efeito recíproco para a variação total

TABELA 3. Análise de variância dos dados obtidos no teste de germinação (TG), teste frio (TF), envelhecimento acelerado (EA) e teste de condutividade elétrica (CE) de um dialelo parcial, incluindo os genitores, os híbridos F_1 's e seus recíprocos.

F.V.	Q.M.							
	G.L.	TG	G.L.	TF	G.L.	EA	G.L.	CE ¹
BLOCOS	3	151,673 [*]	3	225,657 ^{**}	3	48,943	3	0,0125 ^{**}
TRATAMENTOS	70	2982,489 ^{**}	77	2853,644 ^{**}	83	3349,958 ^{**}	68	0,0612 ^{**}
Genitores (G)								
Grupo 1 (G1)	5	3425,400 ^{**}	5	1461,066 ^{**}	5	264,566 ^{**}	5	0,0760 ^{**}
Grupo 2 (G2)	4	4780,750 ^{**}	5	6223,800 ^{**}	5	8164,200 ^{**}	4	0,0753 ^{**}
G1 vs G2	1	736,510 ^{**}	1	1587,000 ^{**}	1	8268,750 ^{**}	1	0,0020
Cruzamentos (C)								
CGC1	5	2535,463 ^{**}	5	3414,336 ^{**}	5	5696,668 ^{**}	5	0,1112 ^{**}
CGC2	5	4935,688 ^{**}	5	6581,968 ^{**}	5	8077,904 ^{**}	5	0,1646 ^{**}
CEC	19	2155,878 ^{**}	22	1880,100 ^{**}	25	1975,351 ^{**}	18	0,0231 ^{**}
Recíprocos	30	2490,160 ^{**}	33	2625,941 ^{**}	36	2920,527 ^{**}	29	0,0501 ^{**}
G vs C	1	22687,86 ^{**}	1	6439,130 ^{**}	1	4238,340 ^{**}	1	0,0824 ^{**}
ERRO	210	44,292	231	49,740	249	23,679	204	0,00097
Média		58		34		29		1,56

¹ Dados transformados em LOG x

** e * Tese F significativo a 1% e 5% de probabilidade respectivamente; ^{NS} não significativo a 5% de probabilidade.

F.V.: fontes de variação; G.L.: graus de liberdade; Q.M.: quadrado médio; CGC: capacidade geral de combinação; CEC: capacidade específica de combinação.

(Tabela 3). Nos testes de envelhecimento acelerado e de condutividade elétrica, o efeito recíproco contribuiu com 47% e 44,7% dessa variação, respectivamente, e com 49% tanto no teste de germinação quanto no teste frio. Ibrahim & Quick (2001) verificaram que o efeito recíproco para a estabilidade térmica das membranas de células do tecido foliar de trigo num estudo do controle genético para a tolerância à alta temperatura de secagem concorreu com 38% da variabilidade genotípica total.

Para a composição dos dois grupos, as linhagens foram submetidas à seleção divergente, com relação à tolerância à alta temperatura de secagem no ano anterior (Roveri-José *et al.*, 2003). Esse fato foi detectado na análise de variância no que se refere ao comportamento dos híbridos. Contudo, observa-se que dentro dos grupos há grande variação no comportamento das linhagens (Tabelas 4 a 7). Linhagens 9 e 10

pertencentes ao grupo das intolerantes foram tão ou mais tolerantes quanto os melhores genótipos do grupo 1. A explicação para esse comportamento discrepante em diferentes safras pode ser atribuída à interação genótipos x ambientes e/ou à alteração no comportamento das linhagens quando em combinação híbrida. Esse resultado fica bem evidenciado a partir das estimativas da CGC apresentadas na Tabela 8.

Na avaliação da qualidade fisiológica das sementes submetidas à alta temperatura de secagem houve uma consistência dos resultados obtidos para as estimativas das CGC's nos cruzamentos em que as linhagens 5, 6, 8, 9 e 11 participaram (Tabela 8). As linhagens 5, 8 e 9 apresentaram estimativas da CGC elevadas e positivas e as linhagens 6 e 11 elevadas, porém negativas. Exceção feita para a linhagem 6 no teste de condutividade elétrica. Quanto maior o valor de condutividade, maior a desestruturação do sistema

TABELA 4. Valores médios em porcentagem do teste de germinação de sementes de milho, num esquema de dialelo parcial, envolvendo seis genitores no grupo 1 (G1) e no grupo 2 (G2), híbridos F₁'s e recíprocos.

G1 / G2	7	8	9	10	11	12	LA (G1)
1 F	92 a	64 c	- -	62 c	60 d	81 b	8 h
M	40 e	92 a	97 a	44 e	0 h	58 d	
2 F	86 b	100 a	- -	65 c	44 e	21 g	12 g
M	33 f	90 a	2 h	58 d	53 d	54 d	
3 F	88 a	90 a	94 a	69 c	56 d	71 c	63 c
M	59 d	1 h	78 b	42 e	30 f	66 c	
4 F	11 h	59 d	- -	45 e	69 c	31 f	49 d
M	- -	96 a	95 a	92 a	- -	60 d	
5 F	90 a	85 b	56 d	67 c	59 d	92 a	82 a
M	68 c	72 c	75 b	79 b	25 f	87 a	
6 F	23 f	13 g	40 e	64 c	19 g	49 d	30 f
M	15 g	82 b	95 a	74 c	- -	61 d	
LA (G2)	16 g	4 h	- -	78 b	60 d	3 h	

Médias seguidas de uma mesma letra não diferem entre si pelo teste Scott Knott a 5% de probabilidade.

F: corresponde à linhagem quando utilizada como parental feminino; M: como parental masculino.

LA: linhagem autofecundada

- : tratamento não avaliado

de membranas, permitindo maior lixiviação de exudatos. Sendo assim, as melhores estimativas de CGC no teste de condutividade elétrica são aquelas com alto valor absoluto, porém negativo. Os cruzamentos que envolveram as linhagens 11 e 6 como genitor feminino produziram descendentes com baixos valores de germinação nos testes de germinação, frio e envelhecimento acelerado (Tabelas 4, 5 e 6). No entanto, comparando-os com seus recíprocos, a maioria produziu sementes com maior tolerância à alta temperatura de secagem. Sementes das combinações híbridas originadas das linhagens 5, 8 e 9 como genitor feminino apresentaram médias dos valores de germinação superiores para os mesmos testes. O pólen parece não ter interferido na tolerância à injúria por secagem em suas progênes, concordando com os resultados obtidos por Bdliya & Burris (1988). Efeito significativo do genitor feminino é um indicativo de herança materna.

Segundo Ibrahim & Quick (2001), o controle genético para tolerância térmica em folhas de trigo, avaliado pela estabilidade térmica das membranas (MTS), parece ser condicionado por genes aditivos, constatando que progênes de cruzamentos que envolveram pais com capacidade geral de combinação positiva demonstraram ter alto nível de MTS, sendo o inverso também verdadeiro.

Pelas estimativas das CEC's (Tabela 8), observa-se que o comportamento dos híbridos quanto à tolerância das sementes à alta temperatura de secagem de maneira geral foi consistente em todos os testes utilizados para a avaliação da qualidade fisiológica das sementes, com ressalva para o teste de condutividade elétrica. O valor da estimativa da CEC indica o desvio em relação à média dos pais, mas não implica que a combinação em questão seja a melhor ou pior. Assim pode-se citar as combinações 3x8, 2x9, 4x7, com

TABELA 5. Valores médios em porcentagem do teste frio de sementes de milho, num esquema de dialelo parcial, envolvendo seis genitores no grupo 1 (G1) e no grupo 2 (G2), híbridos F_1 's e recíprocos.

G1 / G2	7	8	9	10	11	12	LA (G1)
1 F	78 b	46 e	- -	38 f	41 e	61 d	4 i
M	23 g	79 b	66 c	23 g	0 i	15 h	
2 F	68 e	75 e	18 h	32 f	10 h	11 h	2 i
M	11 h	66 e	1 i	30 f	20 g	20 g	
3 F	54 d	82 b	- -	33 f	23 g	48 e	17 h
M	33 f	1 i	29 f	15 h	16 h	45 e	
4 F	2 i	26 g	56 d	3 i	39 f	4 i	27 g
M	14 h	93 a	64 d	51 e	- -	30 f	
5 F	86 a	60 d	51 e	54 d	39 f	84 b	52 e
M	13 h	47 e	25 g	44 e	3 i	62 d	
6 F	8 i	8 i	22 g	18 h	11 h	17 h	6 i
M	3 i	72 e	57 d	41 e	- -	20 g	
LA (G2)	4 i	2 i	91 a	67 c	13 h	0 i	

Médias seguidas de uma mesma letra não diferem entre si pelo teste Scott Knott a 5% de probabilidade.

F: corresponde à linhagem quando utilizada como parental feminino; M: como parental masculino.

LA: linhagem autofecundada.

- : tratamento não avaliado

TABELA 6. Valores médios em porcentagem do teste de envelhecimento acelerado de sementes de milho, num esquema de dialelo parcial, envolvendo seis genitores no grupo 1 (G1) e no grupo 2 (G2), híbridos F₁'s e recíprocos.

G1 / G2	7	8	9	10	11	12	LA (G1)
1 F	50 e	36 g	7 j	32 h	50 e	49 e	0 k
M	5 k	79 b	90 a	2 k	0 k	7 j	
2 F	51 e	59 d	0 k	11 j	0 k	0 k	0 k
M	5 k	56 d	0 k	6 k	1 k	4 k	
3 F	72 c	76 b	80 b	19 i	37 g	35 g	17 i
M	15 i	1 k	49 e	9 j	17 i	62 d	
4 F	0 k	20 i	80 b	0 k	35 g	1 k	17 i
M	2 k	87 a	42 f	78 b	16 i	10 j	
5 F	87 a	65 d	39 g	33 g	27 h	61 d	8 j
M	31 h	59 d	26 h	14 j	24 i	51 e	
6 F	3 k	4 k	14 j	4 k	2 k	13 j	1 k
M	1 k	73 e	56 d	22 i	3 k	31 h	
LA (G2)	0 k	1 k	92 a	90 a	16 i	1 k	

Médias seguidas de uma mesma letra não diferem entre si pelo teste Scott Knott a 5% de probabilidade.

F: corresponde à linhagem quando utilizada como parental feminino; M: como parental masculino.

LA: linhagem autofecundada

- : tratamento não avaliado

TABELA 7. Valores médios do teste de condutividade elétrica, em mS/cm/g de sementes de milho, num esquema de dialelo parcial, envolvendo seis genitores no grupo 1 (G1) e no grupo 2 (G2), híbridos F₁'s e recíprocos.

G1 / G2	7	8	9	10	11	12	LA (G1)
1 F	55,19 i	54,63 i	- -	55,93 i	47,02 h	44,71 h	70,73 j
M	35,37 f	23,25 b	28,69 d	47,98 h	51,99 i	49,04 h	
2 F	32,45 e	53,82 i	- -	27,10 d	46,63 h	40,47 g	36,80 f
M	31,56 e	19,89 a	45,51 h	40,98 g	47,28 h	44,90 h	
3 F	33,42 e	26,29 d	30,55 e	37,46 f	28,26 d	36,26 f	45,25 h
M	35,79 f	26,34 d	27,96 d	45,29 h	48,56 h	45,22 h	
4 F	47,64 h	- -	- -	45,28 h	33,73 e	39,45 g	39,65 g
M	- -	21,80 b	24,89 c	28,44 d	- -	42,89 g	
5 F	26,42 d	22,71 b	35,20 f	28,13 d	29,83 e	24,97 e	30,98 e
M	26,47 d	25,81 d	30,82 e	44,11 h	45,04 h	43,44 h	
6 F	49,29 h	23,37 b	31,57 e	36,69 f	28,52 d	27,75 d	29,77 e
M	36,87 f	19,50 a	26,61 d	39,97 g	- -	46,03 h	
LA (G2)	36,48 f	27,27 d	- -	37,61 f	37,28 f	65,26 j	

Médias seguidas de uma mesma letra não diferem entre si pelo teste Scott Knott a 5% de probabilidade.

F: corresponde à linhagem quando utilizada como parental feminino; M: como parental masculino.

LA: linhagem autofecundada

- : tratamento não avaliado

estimativas elevadas e negativas da CEC, e as combinações 2x8, 5x12, elevadas e positivas (Tabela 8). No teste de condutividade elétrica, sementes das combinações 6x8, 2x8 e 2x10 apresentaram comportamento diferenciado quando comparado aos demais testes. Na interpretação do teste de condutividade, é difícil determinar qual perfil de perda de eletrólitos revela uma redução significativa na qualidade das sementes que possa comprometer seu desempenho nos demais testes. Outros tipos de danos podem afetar a viabilidade, sem aumentar os valores de condutividade elétrica. Ibrahim & Quick (2001) comentou que alta temperatura pode romper o movimento da água, íons e solutos orgânicos através das membranas, interferindo na fotossíntese e respiração.

Has - V (1999) verificou que a CEC foi mais importante que a CGC para a composição química das sementes de milho doce, indicando que o padrão de acúmulo de carboidrato nas sementes híbridas depende da interação das linhagens genitoras. Também foram detectadas diferenças nos híbridos recíprocos para todas as análises de composição química das sementes. Essas diferenças puderam ser atribuídas, segundo os autores, a uma interação citoplasma x genoma nuclear.

Pela Tabela 9, observa-se que a maioria das combinações híbridas apresenta diferenças significativas ($P \leq 0,01$) no efeito recíproco para todas as variáveis avaliadas, evidenciando a importância da escolha do genitor feminino, quando da obtenção de híbridos, para a tolerância à alta temperatura de secagem. Considerando que a constituição do embrião não depende da linhagem utilizada como genitor, pode-se inferir que a maior tolerância à alta temperatura de secagem depende de pericarpo da semente, um tecido de origem materna, ou do endosperma, cuja

contribuição dos genitores é diferente. O embrião também poderia sofrer a influência materna devido a constituição do citoplasma que independe do pólen. Essa influência pode advir da mitocôndria, uma vez que o descendente de um cruzamento recebe essencialmente o citoplasma do óvulo. Sendo a fonte primária de energia durante a germinação, a mitocôndria é um elemento chave na determinação da taxa de germinação e subsequente crescimento da plântula. O seu desenvolvimento e funcionabilidade durante estágios iniciais de hidratação do tecido embrionário são prejudicados pela alta temperatura de secagem (Madden & Burris, 1995).

As combinações 3x8, 6x8, 1x11, 6x9, 7x2, 7x1, 4x10 e 1x9, dentre outras, apresentaram efeito recíproco bastante significativo (Tabela 9) para os testes de germinação, frio e de envelhecimento acelerado. Pelas Tabelas 4, 5 e 6, pode-se observar grandes diferenças nas médias desses híbridos dependendo do genitor utilizado. As sementes da combinação 1x11, por exemplo, (Tabela 4) apresentaram 60% de germinação quando o genitor feminino foi a linhagem 1. Quando este foi o masculino, as sementes não apresentaram potencial para a germinação. Para o teste de condutividade elétrica, no entanto, o efeito recíproco foi significativo para a combinação 2x8 (Tabela 9). É importante mencionar que os princípios dos testes são diferentes e determinados aspectos de vigor das sementes podem ser detectados por alguns testes e não por outros, como comentado por Roveri-José (1999). Baixa relação entre o vigor híbrido e a condutividade elétrica foi constatada por Von Pinho (1995) e Gomes *et al.* (2000) em sementes de milho. Burris *et al.* (1997) observaram que apesar da secagem de sementes de milho em espigas a 45°C resultar em aumento na condutividade, esta injúria foi muito menor e não pode ser

TABELA 8. Estimativas dos efeitos das capacidades gerais (CGC) e específicas (CEC /valores internos da tabela) de combinação para os testes de germinação (TG), teste frio (TF), envelhecimento acelerado (EA) e condutividade elétrica¹ (CE), considerando todos os cruzamentos em que se obtiveram híbridos e recíprocos.

G1 / G2	7	8	9	10	11	12	CGC
1 TG	5,49	6,55	-	-11,41	-8,16	7,52	0,59
TF	11,10	1,16	-	-8,22	-0,54	-3,50	6,32
EA	-2,84	2,89	4,70	-5,57	3,66	-2,84	3,57
CE	0,0025	0,0137	-	0,0279	-0,0183	-0,0258	0,0985
2 TG	-1,96	22,60	-	-4,11	9,14	-25,68	1,79
TF	11,14	20,69	-27,18	4,32	5,25	-14,22	-5,22
EA	15,46	20,19	-25,82	3,48	-2,78	-10,53	-14,23
CE	-0,0520	0,0666	-	-0,0785	0,0448	0,0190	0,0126
3 TG	13,18	-26,26	11,05	-8,96	4,78	6,21	0,65
TF	7,39	-16,06	9,32	-10,68	1,50	8,53	2,78
EA	7,55	-21,73	15,26	-14,18	0,55	12,55	8,93
CE	0,0065	-0,0031	-0,0340	0,0402	-0,0328	0,0232	-0,0127
4 TG	-	8,25	-	6,29	-	-14,53	-1,36
TF	-19,81	9,74	23,37	-0,13	-	-13,17	-5,02
EA	-26,36	1,87	20,11	19,41	7,32	-22,35	0,59
CE	-	-	-	-0,0249	-	0,0249	-0,0071
5 TG	9,45	-2,30	-18,75	-1,01	-5,76	18,36	9,94
TF	4,74	-13,52	-15,89	4,86	-6,21	26,01	11,99
EA	19,59	-2,05	-20,57	-8,26	-5,27	16,56	12,76
CE	-0,0652	0,0053	0,0599	0,0155	0,0063	-0,0219	-0,0572
6 TG	-26,16	-8,85	7,70	19,19	-	8,12	-14,26
TF	-14,56	-2,01	10,37	9,87	-	-3,67	-12,77
EA	-13,40	-1,17	6,32	5,12	-3,48	6,61	-11,62
CE	0,1082	-0,0824	-0,0258	0,0196	-	-0,0195	-0,0242
CGC TG	-1,96	9,23	12,68	2,18	-23,81	-0,242	
TF	-3,35	18,60	5,47	-4,27	-21,46	-1,24	
EA	-3,42	20,85	9,86	-11,19	-12,68	-3,43	
CE	-0,0074	-0,1161	-0,0390	0,0357	0,0625	0,0450	

¹ Dados transformados em log x.

- : tratamento não avaliado.

TABELA 9. Desdobramento do efeito recíproco para os testes de germinação (TG), teste de frio (TF), envelhecimento acelerado (EA) e condutividade elétrica (CE), considerando todos os cruzamentos em que se obtiveram híbridos e recíprocos.

Cruzamento	G.L.	Q.M.							
		TG	Pr ≥ F	TF	Pr ≥ F	EA	Pr ≥ F	CE ¹	Pr ≥ F
1x7	1	5408,00	<0,0001	5940,00	<0,0001	4050,00	<0,0001	0,0753	<0,0001
1x8	1	1624,5	<0,0001	2112,50	<0,0001	3698,00	<0,0001	0,2623	<0,0001
1x9	1	-	-	-	-	13891,00	<0,0001	-	-
1x10	1	684,50	0,0001	450,00	0,0039	1800,00	<0,0001	0,0085	0,0034
1x11	1	7200,00	<0,0001	3362,00	<0,0001	4900,50	<0,0001	0,0037	0,0508
1x12	1	1104,50	<0,0001	4324,50	<0,0001	3528,00	<0,0001	0,0034	0,0610
2x7	1	5724,50	<0,0001	6384,50	<0,0001	4232,00	<0,0001	0,0003	0,5967
2x8	1	200,00	0,0340	180,50	0,0661	32,00	0,2537	0,3732	<0,0001
2x9	1	-	-	544,50	0,0015	4,27	1,00	-	-
2x10	1	112,50	0,1109	8,00	0,6976	60,50	0,1171	0,0668	<0,0001
2x11	1	162,00	0,0561	180,50	0,0661	2,00	0,7751	0,00007	0,7828
2x12	1	2112,50	<0,0001	162,00	0,0815	32,00	0,2537	0,0042	0,0374
3x7	1	1740,50	<0,0001	882,00	<0,0001	6384,50	<0,0001	0,0015	0,2113
3x8	1	15842,00	<0,0001	13122,00	<0,0001	11400,00	<0,0001	0,000005	0,9384
3x9	1	544,50	0,0005	4900,50	<0,0001	1860,50	<0,0001	0,0029	0,0834
3x10	1	1404,50	<0,0001	648,00	0,0006	220,50	0,0030	0,0136	0,0002
3x11	1	1250,00	<0,0001	98,00	0,1748	800,00	<0,0001	0,1106	<0,0001
3x12	1	50,00	0,2869	24,50	0,4967	1512,50	<0,0001	0,0186	<0,0001
4x7	1	-	-	288,00	0,0206	8,00	0,5678	-	-
4x8	1	2738,00	<0,0001	8978,00	<0,0001	8978,00	<0,0001	-	-
4x9	1	-	-	128,00	0,1212	2964,50	<0,0001	-	-
4x10	1	4418,00	<0,0001	4704,50	<0,0001	12168,00	<0,0001	0,0814	<0,0001
4x11	1	-	-	-1404,50	-	734,97	<0,0001	-	-
4x12	1	1624,50	<0,0001	10622,00	<0,0001	162,00	0,0107	0,0026	0,1020
5x7	1	913,78	<0,0001	312,50	<0,0001	6216,12	<0,0001	8,7874	0,9924
5x8	1	312,50	0,0083	1404,50	0,0159	84,50	0,0643	0,0062	0,0120
5x9	1	760,50	<0,0001	220,50	<0,0001	312,50	0,0004	0,0055	0,0175
5x10	1	288,00	0,0112	2592,00	0,0424	722,00	<0,0001	0,0785	<0,0001
5x11	1	2244,50	<0,0001	979,03	<0,0001	18,00	0,3917	0,0630	<0,0001
5x12	1	52,53	0,2750	50,00	<0,0001	193,06	0,0054	0,1160	<0,0001
6x7	1	128,00	0,0892	8192,00	0,3318	4,50	0,6682	0,0310	<0,0001
6x8	1	9522,00	<0,0001	2380,50	<0,0001	9384,50	<0,0001	0,0122	0,0005
6x9	1	6050,00	<0,0001	1058,00	<0,0001	3444,50	<0,0001	0,0109	0,0010
6x10	1	200,00	0,0340	18,00	<0,0001	648,00	<0,0001	0,0027	0,0948
6x11	1	-	-	-	-	6,69	0,6011	-	-
6x12	1	288,00	0,0112	-	0,5601	684,50	<0,0001	0,0963	<0,0001

¹ Dados transformados em log x.

G.L.: graus de liberdade; Q.M.: quadrado médio

- : tratamento não avaliado

associada com as mesmas fontes de eletrólitos dos materiais secos rapidamente, em que severos danos de membranas ocorrem. Outros fatores, como a integridade do pericarpo, podem afetar a condutividade elétrica dos exudatos liberados pela sementes de milho, como comentado por Herter & Burris (1989).

Pela presente pesquisa, foi possível inferir sobre os tipos e as importâncias relativas dos efeitos gênicos que atuam na determinação da tolerância à alta temperatura de secagem, o que orienta na seleção de genitores para a produção de sementes híbridas de milho.

A significância das capacidades geral e específica de combinação indica a presença de genes de efeitos aditivos e não aditivos no controle genético para a tolerância a alta temperatura de secagem.

Com base nos resultados da capacidade combinatória, é possível escolher os parentais envolvidos nos cruzamentos, sobretudo quando se deseja desenvolver linhagens superiores e identificar híbridos superiores com sementes tolerantes à alta temperatura de secagem.

Quanto à sensibilidade à alta temperatura de secagem das sementes dos híbridos recíprocos, parece haver efeito materno ou herança extracromossômica para essa característica. Outros mecanismos, como a herança citoplasmática, a pressão osmótica do endosperma e as características físicas do pericarpo, um tecido de origem materna, podem estar envolvidos neste tipo de sensibilidade.

Conclusões

No controle genético da tolerância à alta temperatura de secagem estão envolvidos genes com ação gênica aditiva e de dominância.

Há predominância do efeito recíproco para a tolerância à alta temperatura de secagem, evidenciando a presença de efeito materno.

Na produção de sementes híbridas, o genitor feminino deve ser escolhido *a priori*, visando a tolerância das sementes à alta temperatura de secagem.

Literatura Citada

BDLIYA, P. M.; BURRIS, J. S. Diallel analysis of tolerance of drying injury in seed corn. **Crop Science**, Madison, v. 28, n. 6, p. 935-938, Nov./Dec. 1988.

BRASIL. Ministério da Agricultura e Reforma Agrária. **Regras para análise de sementes**. Brasília, 1992. 365 p.

BURRIS, J. S.; PETERSON, J. M.; PERDOMO. Morphological and physiological changes associated with desiccation in maize embryos. In: INTERNATIONAL WORKSHOP ON SEEDS: basic and applied aspects of seed biology, 5, 1975 Reading. **Proceedings... Reading**: University of Reading, 1997. p. 103-111.

CHEN, Y.; BURRIS, J. S. Desiccation tolerance in maturing maize seed: membrane phospholipid composition and thermal properties. **Crop Science**, Madison, v. 30, n. 3, p. 766-770, May/June 1991.

CHEN, Y.; BURRIS, J. S. Role of carbohydrates in desiccation tolerance and membrane behavior in maturing maize seed. **Crop Science**, Madison, v. 30, n. 5, p. 971-975, Sept./Oct. 1990.

CRUZ, C. D.; REGAZZI, A. D. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. Viçosa: UFV, 1994. 390 p.

DIAS, M. C. L. de; BARROS, A. S. do R. **Avaliação da qualidade de sementes de milho**. Londrina: IAPAR, 1995. 41 p. (IAPAR. Circular, 88).

FERREIRA, D. F. Análises estatísticas por meio do Sisvar para Windows versão 4. 0. In:

- REUNIÃO ANUAL DA REGIÃO BRASILEIRA DA SOCIEDADE INTERNACIONAL DE BIOMETRIA, 45., 2000, São Carlos. **Programas e resumos....** São Carlos: UFSCar, 2000. p. 255-258.
- GOMES, M. de S.; VON PINHO, E. V. de R.; VON PINHO, R. G.; VIEIRA, M. das G. G. C. Efeito da heterose na qualidade fisiológica de sementes de milho. **Revista Brasileira de Sementes**, Brasília, v. 22, n. 1, p. 7-17, 2000.
- GRIFFING, B. Concept of general and specific combining ability in relation to diallel crossing systems. **Australian Journal of Biological Sciences**. Melbourne, v. 9, p. 462-493, 1956.
- HAS-V. Genetic analysis of some yield components and kernel quality in sweet corn. **Romanian Agricultural Research**, Bucaresti, n. 11-12, p. 9-15, 1999.
- HERTER, U.; BURRIS, J. S. Changes in moisture, temperature, and quality of corn seed during high-temperature drying. **Canadian Journal of Plant Science**, Ottawa, v. 69, n. 3, p. 749-761, July 1989.
- IBRAHIM, A. M. H.; QUICK, J. S. Genetic control of high temperature tolerance in wheat as measured by membrane thermal stability. **Crop Science**, Madison, v. 41, n. 5, p. 1405-1407, Sept./Oct. 2001.
- KOLLIPARA, K. P.; SAAB, I. N.; WYCH, R. D.; LAUER, M. J.; SINGLETARY, G. W. Expression profiling of reciprocal maize hybrids divergent for cold germination and desiccation tolerance. **Plant Physiology**, Rockville, v. 129, n. 3, p. 974-992, July 2002.
- MADDEN, R. F.; BURRIS, J. S. Respiration and mitochondrial characteristics of imbibing maize embryos damaged by high temperatures during desiccation. **Crop Science**, Madison, v. 35, n. 6, p. 1661-1667, Nov./Dec. 1995.
- MARCOS-FILHO, J. Teste de envelhecimento acelerado. In: VIEIRA, R. D.; CARVALHO, N. M. de. **Testes de vigor em sementes**. Jaboticabal: FUNEP, 1994. p. 103-132
- MARCOS-FILHO, J.; CÍCERO, S. M.; SILVA, S. M.; SILVA, W. R. da. **Avaliação da qualidade das sementes**. Piracicaba: ESALQ, 1987. 230 p.
- NAVRATIL, R. J. **The effect of drying temperature on corn seed quality**. 1981. Dissertation (PhD.) - Iowa State University, Ames, Iowa.
- NAVRATIL, R. J.; BURRIS, J. S. Small-scale dryer designer. **Agronomy Journal**, Madison, v. 74, n. 2, p. 159-161, Mar./Apr. 1982.
- RAMALHO, M. A. P.; SANTOS, J. B.; PINTO, C. B. **Genética na agropecuária**. São Paulo: Globo ; Lavras: FAEPE, 1990. 359 p.
- ROVERI-JOSÉ, S. C. B. **Condicionamento osmótico de sementes de pimentão: efeito na germinação, vigor e atividade enzimática**. 1999. 107 p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.
- ROVERI-JOSÉ, S. C. B.; VON PINHO, E. V. R.; VON PINHO, R. G.; SILVEIRA, C. M. Tolerância de sementes de Inhagens de milho a alta temperatura de secagem. In: Congresso Brasileiro de sementes, 13., 2003, Gramado. **Anais...** Londrina: ABRATES, 2003, v. 13, n. 3, p.99.
- SAS Institute. **SAS language and procedures: Usage**. Version 6. Cary NC: SAS Institute, 1995. 373 p.

VON PINHO, É. V. R. **Conseqüências da autofecundação indesejável na produção de sementes híbridas de milho.** 1995. 130 p. Tese (Doutorado) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, SP.

WRICKE, G.; WEBER, W. E. **Quantitative genetics and selection in plant breeding.** Berlin: Walter de Gruyter, 1986. 406 p.