



**CAMILA BASTOS RIBEIRO**

**CARACTERES QUE EXPLICAM A HETEROSE  
NA PRODUTIVIDADE DE GRÃOS DE MILHO**

**LAVRAS - MG**

**2012**

**CAMILA BASTOS RIBEIRO**

**CARACTERES QUE EXPLICAM A HETEROSE NA PRODUTIVIDADE  
DE GRÃOS DE MILHO**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação Genética e Melhoramento de Plantas, área de concentração em Genética e Melhoramento de Plantas, para a obtenção do título de Mestre.

Orientador

Dr. Magno Antônio Patto Ramalho

**LAVRAS - MG**

**2012**

**Ficha Catalográfica Elaborada pela Divisão de Processos Técnicos da  
Biblioteca da UFLA**

Ribeiro, Camila Bastos.

Caracteres que explicam a heterose na produtividade de grãos de milho / Camila Bastos Ribeiro. – Lavras: UFLA, 2012.

64 p. : il.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Lavras, 2012.

Orientador: Magno Antônio Patto Ramalho.

Bibliografia.

1. *Zea mays*. 2. Componentes da produção. 3. Melhoramento genético de plantas. 4. Milho híbrido. 5. Cruzamento dialélico. I. Universidade Federal de Lavras. II. Título.

CDD – 631.523

**CAMILA BASTOS RIBEIRO**

**CARACTERES QUE EXPLICAM A HETEROSE NA PRODUTIVIDADE  
DE GRÃOS DE MILHO**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação Genética e Melhoramento de Plantas, área de concentração em Genética e Melhoramento de Plantas, para a obtenção do título de Mestre.

APROVADA em 06 de setembro de 2012.

PhD. João Cândido de Souza

UFLA

Dr. José Carlos Cruz

EMBRAPA

Dr. Magno Antônio Patto Ramalho

Orientador

**LAVRAS - MG**

**2012**

A Deus, por me dar força para alcançar os meus objetivos.

## **OFEREÇO**

Aos meus pais, Roberto e Elisa, pelo amor e apoio incondicional, por serem pessoas maravilhosas em que eu me espelho e me proporcionarem tantos momentos de alegria. Também pelos valiosos ensinamentos.

Ao meu irmão, Robertinho, pelo amor, apoio e por ser meu grande amigo.

Aos meus avós, Jaime (*in memoriam*) e Geny, e Candinho e Raquel, pelo amor, carinho e exemplo de vida.

## **DEDICO**

## AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal de Lavras e ao Programa de Pós-Graduação em Genética e Melhoramento de Plantas, pela oportunidade de cursar o mestrado.

À Capes, pela concessão da bolsa de estudos.

Aos meus padrinhos, Josiane e Zeniel, Priscyla e Fernando, pelo amor, carinho e exemplo de vida. E aos meus tios, Marcelo, Cândido e Nicéia, por todo amor e apoio.

A Sinira, pelo grande afeto e carinho proporcionado ao longo de minha vida.

Ao Breno, meu namorado, pelo amor, companheirismo, felicidade e apoio em todos os momentos, e aos seus pais, Procópio e Maísa, por todo o apoio, atenção e momentos de alegria.

Ao meu orientador, Magno Antônio Patto Ramalho, pelos inúmeros ensinamentos, exemplos e pela grande atenção em todas as etapas da minha dissertação.

Ao Paulo Edu, por todo o apoio, amizade e ensinamentos proporcionados desde o início do mestrado.

A Carlão, Renato e Fernando Guedes, pelo grande companheirismo, dedicação e amizade.

As minhas amigas, Samira, Bruna, Dayane (Kegin), Scheila, Fernanda (Keiko), Priscila e Gabi, pelos momentos de estudo, descontração e alegria, pela grande amizade e conselhos dados. Aos meus amigos, Paulo Baiano, Kaio, Luiz Paulo, Zé Maria, Rafael, Samuel e Gustavo Sementes pelos momentos de alegria, de estudo e amizade.

Ao grupo do milho, Paulo Edu, Carlão, Renato, Fernando Guedes, Rafael, Josiel, Juninho, Vavá, Lucas, Lord Grampola, Carlos Henrique, Ana

Izabella e Natália, por todo o apoio na realização do meu trabalho e pela amizade e ótimo convívio.

Ao grupo do feijão e do café, especialmente ao Vinícius, Kaio, Bráulio, David, Chico Moita, Mariana, Alice e Lidiane, pela grande ajuda e amizade na condução dos experimentos.

Aos colegas e amigos do mestrado, Matheus, Jerônimo e Fernando Toledo, pela amizade e pelos ensinamentos.

Aos compadres Ariana e Guilherme, por toda amizade e carinho.

Ao professor João Cândido, pela amizade e ensinamentos.

Aos professores Daniel Furtado e José Airton, pela disponibilidade e atenção na realização das análises estatísticas.

Às funcionárias do Departamento de Biologia, Heloísa, Irondina e Sebastiana (Dú), por estarem sempre dispostas a ajudar.

Ao professor Gabardo, pelo exemplo, apoio e indicação para o mestrado.

Aos melhoristas da empresa Pioneer Sementes, de Passo Fundo, Sandra Milach, Ana Locatelli, Anderson, e Jacso, e de Palmas, Carlos Raupp, Lourenço, Andrea, Marcelo e Leandro, pela oportunidade de estágio e posterior apoio para a realização do mestrado e também por me mostrarem o caminho certo a seguir.

## RESUMO

Este trabalho foi realizado com o objetivo de identificar os caracteres da planta que mais contribuem para a heterose na produtividade de grãos de milho. Para isso, foi utilizado um cruzamento dialélico completo envolvendo cinco linhagens do programa de melhoramento da Universidade Federal de Lavras (UFLA). Os híbridos e as linhagens foram avaliados, em experimentos distintos, na safra 2011/2012, em delineamento de blocos ao acaso, com quatro repetições, em dois locais do estado de Minas Gerais. Os seguintes caracteres foram avaliados: altura de planta (AP), altura de espiga (AE), diâmetro do colmo (DC), matéria seca do pendão (MS), peso de 100 grãos (P100), número de grãos por planta (NGP) e produção de grãos por planta (PROD). Foram obtidas as estimativas da heterose (%), realizou-se a análise dialélica pelo método IV de Griffing (1956) e obtiveram-se as estimativas das correlações simples e parciais entre todos os caracteres e a produção de grãos. Constatou-se que, para a maioria dos caracteres, inclusive a produtividade, a soma de quadrados da capacidade geral de combinação explicou a maior parte da variação. As correlações parciais envolvendo o número de grãos por planta e o peso de 100 grãos com a produtividade foram praticamente iguais à unidade. Os demais caracteres não apresentaram correlação parcial significativa com a produtividade. A maior estimativa da heterose foi para a produtividade de grãos e ela variou, entre os híbridos, de 42% a 149,5%, em relação à média dos genitores. A heterose média foi de 102,6% e o número de grãos por planta apresentou heterose média de 61,9% e o peso de 100 grãos de apenas 23,2%.

Palavras-chave: Melhoramento Genético de Plantas. *Zea mays*. Componentes da produção.

## ABSTRACT

The objective of this study was to identify which characters of the plant most contribute to the heterosis in the productivity of grains in corn. For this propose, a complet diallel cross was utilized involving five inbred lines from the Federal University of Lavras (UFLA) breeding program. The hybrids and the inbred lines were evaluated, in distint experiments, on the crop 2011/2012, in a randomized block design, with four replications, at two locations in the Minas Gerais state. The following characters were evaluated: plant heigh (AP), ear heigh (AE), stem diameter (DC), dry matter tassel (MS), 100 kernels weight (P100), number of kernels per plant (NGP) and grain production per plant (PROD). Estimates of heterosis were obtained (%), the dialell analysis was made by the model IV of Griffing (1956) and the estimates of the simple and parcial correlations were obtained between all the characters and the production of grains. It was observed for almost all the characters, including the productivity, that the sum of squares of the general combining ability explained most of the variation. The parcial correlacions involving the number of kernels per plant and the 100 kernels weight with the productivity were virtually equals to unity. Other characters did not present a significant parcial correlation with the productivity. The major heterosis estimate was observed for productivity of grains and varied between the hybrids from 42% to 149,5% compared with the mid parent values. The average heterosis was 102,6% and the number of kernels per plant showed a value of 61,9% and the 100 kernels weight only 23,2%.

Keywords: Genetic Breeding of Plants. *Zea Mays*. Production components.

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	<b>10</b>
<b>2</b>	<b>REFERENCIAL TEÓRICO</b> .....	<b>12</b>
<b>2.1</b>	<b>Heterose na cultura do milho</b> .....	<b>12</b>
<b>2.2</b>	<b>Caracteres relacionados à produção de grãos</b> .....	<b>17</b>
<b>2.3</b>	<b>Correlação entre caracteres envolvidos com a produtividade de grãos de milho</b> .....	<b>19</b>
<b>2.4</b>	<b>Cruzamentos dialélicos</b> .....	<b>20</b>
<b>3</b>	<b>MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	<b>23</b>
<b>4</b>	<b>RESULTADOS</b> .....	<b>29</b>
<b>5</b>	<b>DISCUSSÃO</b> .....	<b>47</b>
<b>6</b>	<b>CONCLUSÕES</b> .....	<b>53</b>
	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>54</b>
	<b>ANEXOS</b> .....	<b>59</b>

## 1 INTRODUÇÃO

A heterose (h) na produtividade de grãos de milho é conhecida desde o início do século XX. Ela foi responsável pelo grande avanço que ocorreu no melhoramento genético e, sobretudo, na implementação da indústria sementeira (TROYER, 2006). Contudo, ainda não são bem conhecidas as bases genéticas da heterose. Ainda há dúvidas se ela se deve, predominantemente, à dominância, à sobredominância ou a outras causas. Sabe-se que para que ocorra heterose é necessário que os genitores sejam divergentes e que ocorra dominância na expressão do caráter (FALCONER; MACKAY, 1996).

A produtividade de grãos de milho, provavelmente, é afetada por praticamente todos os demais caracteres da planta, ou seja, em tese, a maioria dos genes da planta contribui para a expressão da produtividade. Entretanto, existe uma hierarquia na influência dos caracteres na produtividade. Assim, o número de grãos por planta (NGP) e o peso de 100 grãos (P100) são os que estão mais diretamente associados à produtividade de grãos. Esses caracteres são denominados componentes primários da produção.

Sob ótica da genética quantitativa, a média do híbrido simples ( $\overline{HS}$ ) é fornecida por:  $\overline{HS}$  = média das linhagens genitoras + heterose entre elas. O que se questiona é se a participação dos componentes primários da produtividade de grãos, NGP e P100, é semelhante em termos da contribuição para a heterose. Em condições temperadas, nas quais a informação já está disponível, há evidências de que o número de grãos por planta explica a maior variação da heterose para a produtividade de grãos (ANDREA; OTEGUI; CIRILO, 2008; ECHARTE; TOLLERNAAR, 2006). Para os híbridos tropicais, essa informação não foi encontrada. Seria interessante obtê-la para se direcionar os programas de melhoramento na seleção desses dois caracteres.

A associação entre os caracteres secundários, tais como altura da planta, altura da espiga, diâmetro do colmo e matéria seca do pendão, e a produtividade, é freqüente, na literatura (ANDRADE; MIRANDA FILHO, 2008; FARIAS NETO; MIRANDA FILHO, 2001). Contudo, não foram encontrados relatos desses caracteres na heterose da produtividade de grãos. Diante do exposto, realizou-se o presente trabalho com o objetivo de identificar, entre os caracteres da planta, os que mais contribuem para a heterose na produtividade de grãos de milho.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1 Heterose na cultura do milho

A obtenção de híbridos foi proposta independentemente por Shull e East, em 1908, ao observarem que quando plantas de milho são autofecundadas e posteriormente cruzadas, produzem uma combinação híbrida com média superior à média da população original (TROYER, 2006). Shull (1914) definiu, há quase um século, o fenômeno da heterose ( $h$ ) como a superioridade da geração  $F_1$  (híbrido) em relação à média dos seus genitores ( $MP$ ). Assim, a seguinte expressão pode ser utilizada para estimá-la:

$$h = \overline{F_1} - \overline{MP}$$

em que

$h$  é a estimativa da heterose;

$\overline{F_1}$  é a média da geração  $F_1$ ;

$\overline{MP}$  é a média das linhagens parentais.

A heterose continua sendo umas das maiores contribuições da genética para a agricultura e para o desenvolvimento da indústria sementeira do milho. No entanto, a base genética da heterose ainda não é bem compreendida e tem sido alvo de muitos estudos (HALLAUER; CARENA; MIRANDA FILHO, 2010; TANG et al., 2010; THIEMANN et al., 2010).

Hoje, a produtividade média de grãos de milho, nos Estados Unidos, é, aproximadamente, cinco vezes maior que a do período no qual se utilizavam apenas variedades. Esse grande avanço ocorreu em função da adoção de sementes híbridas e também devido à incorporação de outras tecnologias ao

longo do tempo, como a colheita mecânica, o maior uso de adubos pelos produtores, enfim, devido à adoção de novas práticas culturais que contribuíram para aumentar a eficiência da produção de grãos das lavouras de milho. No entanto, estima-se que em torno de 50% destes incrementos tenham ocorrido devido ao melhoramento genético e à adoção da tecnologia do milho híbrido (CARDWELL, 1982; DUVICK, 2005).

Para melhor explorar a heterose nos cruzamentos, Falconer e Mackay (1996) observaram que ela é função da diferença das frequências alélicas ( $y$ ) entre os genitores e da contribuição dos locos em heterozigose em relação à média dos homozigotos ( $d$ ), ou seja,  $h=dy^2$ . Assim, fica claro que, para que ocorra heterose, é necessária a presença de dominância na expressão dos caracteres envolvidos e que os genitores sejam divergentes. A produtividade média de um híbrido simples depende da heterose e também dos locos que estão fixados nas duas linhagens genitoras. Dizendo de outro modo,  $\overline{HS} = m+a+h$ , corresponde à média do híbrido simples, em que  $m+a$  é o somatório dos locos que estão fixados nas linhagens e corresponde à média das duas linhagens (VENCOVSKY, 1987) mais a estimativa da heterose. Assim, o desempenho do híbrido depende não só da heterose, como também da média das linhagens. Na Tabela 1 estão apresentadas algumas estimativas de  $m+a$  e  $d$ , obtidas por alguns autores na cultura do milho (RAMALHO et al., 2012).

Tabela 1 Estimativas mínimas (LI), médias e máximas (LS) de  $m+a'$ , em porcentagem da média, obtidas por diversos autores na cultura do milho

Autor	Ano	País	n° de populações	$m+a'$ (%)			d(%)		
				LI	média	LS	LI	média	LS
Híbridos de milho									
Lankey e Smith	1987	EUA	6	24,6	29,6	34,2	65,8	70,4	75,4
Cardoso	1999	Brasil	12	6,0	24,2	41,7	58,3	75,8	94,0
Lima	1999	Brasil	3	32,5	37,8	47,7	52,3	62,2	67,5
Souza Sobrinho	2001	Brasil	7	20,7	29,4	43,5	57,4	70,5	78,7
Média					30,3			69,7	

Fonte: Adaptado de Ramalho et al. (2012)

Como os melhoristas estão selecionando linhagens melhores, o maior sucesso no aumento da produtividade de grãos dos híbridos tem sido atribuído à melhoria das linhagens. Como consequência, a contribuição da heterose, em porcentagem, tem permanecido praticamente a mesma (TROYER; WELLIN, 2009).

Um dos maiores desafios da ciência é explicar qual a “origem” da heterose, ou seja, qual o fundamento da genética que explica a ocorrência desse fenômeno. Existem algumas hipóteses, das quais duas há longo tempo são colocadas. A primeira é a hipótese da dominância e a segunda, a da sobredominância. O fundamento dessa última é que o loco em heterozigose é indispensável para o melhor desempenho do híbrido. Já para a hipótese da dominância, é necessário que ocorra apenas alguma dominância para ocorrer heterose. Esse assunto foi tema de dois simpósios realizados, em 1950, em Iowa e outro, praticamente 50 anos depois, no México, em 1999 (CROW, 1999).

Embora a biologia molecular tenha se desenvolvido muito, a dúvida da base molecular da heterose persiste. A hipótese da sobredominância não é a mais provável de acontecer, pois, no heterozigoto, os dois alelos devem produzir cadeias polipeptídicas diferentes, as quais devem interagir e formar uma enzima com atividade superior ao dos dois homozigotos. Casos como esse ainda não foram identificados.

Um dos argumentos bastante favoráveis para a hipótese da dominância é que já foram observadas estimativas de variância genética aditiva e de dominância, as quais apresentam, em média, dominância parcial no controle genético da produção de grãos (HALLAUER; CARENA; MIRANDA FILHO, 2010).

Utilizando alguns componentes, Schnell e Cockerham (1992) derivaram a expressão da heterose devido o efeito multiplicativo entre subcaracteres. Essa expressão da heterose é consequência, possivelmente, de vários caracteres que

são produtos da multiplicação de dois ou mais subcaracteres. Desse modo, a heterose multiplicativa é bastante frequente, uma vez que a maioria dos caracteres da geração  $F_1$  apresenta superioridade em relação aos genitores.

A heterose para a produção de grãos já foi avaliada em vários estudos. Quando ela é obtida com a avaliação de populações de milho, observa-se que os valores são bem inferiores. Já quando são feitos cruzamentos entre linhagens e é avaliada a geração  $F_1$ , observa-se que ocorrem grandes variações para esse caráter, sendo relatados valores entre 61,4% (SOLOMON; ZEPPA; MULUGETA, 2012) e 314,4% (HALLAUER; CARENA; MIRANDA FILHO, 2010; MARTIN; HALLAUER, 1976). Normalmente, maiores valores para heterose da produção são observados quando o cruzamento é realizado com linhagens de grupos heteróticos distintos, ou seja, quando as linhagens são divergentes.

A heterose também já foi avaliada para outros caracteres em milho e apresentou grande variabilidade para os mesmos. Flint-Garcia et al. (2009) obtiveram estimativas da heterose em relação ao melhor pai para 17 caracteres em milho e encontraram valores entre 5%, para o diâmetro do sabugo e 185%, para a produção de grãos.

Na literatura encontram-se várias estimativas para heterose da altura de planta e da espiga. Observa-se que, para altura de planta, os valores variam, em média, de 11% a 22%. Para altura de espiga, as estimativas são, em média, superiores às relatadas para altura de planta, observando-se valores de 16% a 30% (ASSUNÇÃO et al., 2010; SOLOMON; ZEPPA; MULUGETA, 2012). No caso do diâmetro do colmo e da matéria seca do pendão, não são encontradas, na literatura, estimativas a respeito da heterose para esses caracteres. Também percebe-se que, em condições tropicais, não há informações a respeito da influência da heterose dos componentes da produção ou de outros caracteres da planta na heterose da produção de grãos.

## **2.2 Caracteres relacionados à produção de grãos**

Na cultura do milho, a produtividade de grãos é afetada por praticamente todos os caracteres da planta. Sendo assim, praticamente todos os genes da planta contribuem para a produtividade de grãos. Assim, uma série de caracteres pode ser denominada de componentes da produção de grãos, como é o caso do peso de grãos, número de grãos por planta, altura de planta e de espiga, diâmetro do colmo e peso do pendão, entre outros. No entanto, existe uma hierarquia da influência desses caracteres na produtividade de grãos de milho.

Os componentes de produção podem ser classificados como primários e secundários. Os componentes primários são aqueles diretamente relacionados à produção de grãos, ou seja, são aqueles que não são compostos por outros componentes, como, por exemplo, o peso médio dos grãos (LENG, 1954). Já os secundários podem ser considerados componentes que são indiretamente relacionados à produção de grãos e que são formados por alguma combinação dos primários. Por exemplo, a altura de planta é o produto do comprimento do internódio pelo número de internódios do colmo (SCHNELL; COCKERHAM, 1992). Assim, o produto da heterose dos componentes primários peso de 100 grãos e número de grãos por planta resulta na heterose da produtividade de grãos. No entanto, além disso, os componentes secundários, como altura de planta, altura de espiga, diâmetro do colmo e matéria seca do pendão, também podem estar diretamente relacionados à produção de grãos.

Na literatura são observados alguns estudos sobre a influência de alguns caracteres na produtividade. Coimbra et al. (2001) e Farias Neto e Miranda Filho (2001) estudaram a correlação da altura de planta e de espiga e de caracteres do pendão. Em ambos os estudos foram encontradas as maiores estimativas da correlação fenotípica entre altura de espiga e produção e entre altura de planta e de espiga.

Para o diâmetro do colmo, observa-se que, em média, os híbridos mais produtivos apresentam maiores diâmetros do colmo. Isso é explicado porque ocorre uma maior remobilização das reservas acumuladas no colmo para a espiga e, conseqüentemente, maior rendimento de grãos é observado (BELEZE et al., 2003; SANGOI et al., 2001). Rajcan e Tollenaar (1999) explicam que isso ocorre porque os colmos são estruturas moduladoras de grande importância para a definição da produção de grãos e isso é mais expressivo, principalmente em situações em que as folhas sofrem algum tipo de prejuízo na fase reprodutiva da cultura.

Em relação ao pendão e à produtividade, Duvick, Smith e Cooper (2004) realizaram um estudo sobre os híbridos de milho mais vendidos comercialmente, da empresa Pioneer Sementes, do Grupo DuPont, entre os anos 1920 e 2000, plantados sob condições de alta densidade de plantas (75 mil plantas por hectare). Estes autores observaram que, ao longo do tempo, os híbridos apresentaram algumas mudanças, com pendões menores, dossel com folhas verticais e plantas com menos perfilhos, com o objetivo de aumentar a eficiência na produção de grãos.

O tamanho e o peso do pendão foram avaliados por Geraldí (1977), o qual observou que os caracteres peso e número de ramificações do pendão são negativamente correlacionados à produção de grãos. Pendões maiores provocam maior sombreamento nas folhas bandeiras da planta, diminuindo, assim, a taxa fotossintética dessas folhas e, conseqüentemente, reduzindo o acúmulo de fotoassimilados pela planta. No entanto, o fator primário, ou seja, aquele diretamente responsável pela influência negativa do pendão, seria o peso do pendão, devido à competição por nutrientes, uma vez que o pendão atua como dreno e pendões maiores conduzem a um menor direcionamento de nutrientes para a espiga e para a formação dos grãos. Hallauer, Carena e Miranda Filho (2010) também comentam esse fato.

### 2.3 Correlação entre caracteres envolvidos com a produtividade de grãos de milho

Os coeficientes de correlação correspondem ao grau de associação entre dois ou mais caracteres. As causas da correlação podem ser genéticas ou ambientais. No entanto, no melhoramento de plantas, as correlações genéticas e fenotípicas são as mais importantes (HALLAUER; CARENA; MIRANDA FILHO, 2010). A correlação entre caracteres também permite ao melhorista prever a possibilidade de que ocorram variações em um determinado caráter, devido à seleção praticada em um outro caráter (CHURATA; AYALA-OSUNA, 1996). A estimativa do coeficiente de correlação pode ser obtida pelo seguinte estimador (RAMALHO; FERREIRA; OLIVEIRA, 2012):

$$r_{XY} = \frac{COV_{XY}}{\sigma_X \sigma_Y},$$

em que

$COV_{XY}$  é a covariância dos caracteres X e Y e

$\sigma_X$  e  $\sigma_Y$  são os desvios padrões dos caracteres X e Y, respectivamente.

A correlação fenotípica é aquela diretamente determinada pela medida de dois caracteres, os quais são obtidos a partir da avaliação de uma determinada quantidade de indivíduos de uma população. Neste estudo, busca-se obter a correlação fenotípica. A correlação fenotípica parcial entre os caracteres também pode ser estimada. Ela é uma medida mais informativa sobre a relação entre os caracteres, pois é obtida removendo-se os efeitos de outras variáveis sobre a associação entre os caracteres envolvidos. Dessa maneira, é obtida uma estimativa mais precisa sobre a correlação entre os caracteres em estudo (CRUZ; REGAZZI; CARNEIRO, 2004).

O uso das estimativas dos coeficientes de correlação tem bastante utilidade nos programas de melhoramento, principalmente para que seja realizada a seleção indireta dos caracteres. Este tipo de seleção tem sido muito utilizado pelos melhoristas de plantas quando a seleção envolve caracteres difíceis de serem medidos ou mensurados e é efetuada em um determinado caractere para se obter ganhos em outro. No entanto, só é eficiente quando os dois caracteres em que se deseja selecionar apresentam correlações altas e significativas.

A correlação fenotípica da altura de planta e da espiga com a produção de grãos já foi relatada em alguns estudos. Farias Neto e Miranda Filho (2001) observaram as maiores estimativas das correlações fenotípicas entre a altura de planta e da espiga. Também foram obtidos valores positivos e elevados entre a correlação da altura de planta e de espiga com a produção de grãos.

Em milhos tropicais, Lopes et al. (2007) obtiveram estimativas de coeficientes de correlação entre alguns caracteres da espiga de milho e a produção de grãos e observaram elevadas magnitudes para o peso de 100 grãos e a produção, e também para o número de grãos por planta e a produção. Toledo (2010) também observou essa mesma associação por meio de um estudo sobre as relações de causa e efeito dos coeficientes de correlação e que o número de grãos por planta explicou a maior variação na produção de grãos.

## **2.4 Cruzamentos dialélicos**

O termo dialélico expressa o resultado do cruzamento entre  $p$  genitores dois a dois, resultando em  $p(p-1)/2$  híbridos (CRUZ; REGAZZI; CARNEIRO, 2004). A análise dialélica tem várias metodologias e uma das mais utilizadas é proposta por Griffing (1956), a qual obtém as estimativas de capacidade geral de combinação (CGC) e capacidade específica de combinação (CEC). A

metodologia de Griffing realiza a análise dialélica por quatro métodos diferentes. Neste estudo, foi utilizado o método IV, no qual são avaliadas apenas as combinações híbridas e é recomendado quando só se dispõe de um conjunto de híbridos, sem os recíprocos, e também quando o modelo em referência aos tratamentos genéticos é considerado fixo (VENCOVSKY; BARRIGA, 1992).

Os cruzamentos dialélicos na cultura do milho têm sido uma das técnicas mais eficientes para a obtenção de híbridos entre determinado grupo de genitores e também para a obtenção de estimativas sobre o controle genético de caracteres, como estimativas da capacidade geral de combinação (CGC) e da capacidade específica da combinação (CEC).

A CGC corresponde à performance média de um genitor qualquer em combinações híbridas. Já a CEC é utilizada para indicar os casos em que certas combinações se mostram relativamente melhores ou piores do que poderia ser esperado com base na performance média dos genitores do referido híbrido. Dessa forma, é possível observar que a CEC é diretamente relacionada à heterose, uma vez que o vigor híbrido em milho é manifestado na descendência de linhagens de milho que, quando cruzadas, apresentam CEC. Assim, as estimativas da CGC e da CEC são úteis para este estudo.

O conhecimento da capacidade geral de combinação dos parentais é a informação de maior utilidade para os melhoristas, pois ela depende da variância aditiva. Assim, uma combinação híbrida proveniente dos parentais com os maiores valores para a capacidade geral de combinação deve ser potencialmente superior para a seleção de linhagens (RAMALHO et al., 2012).

Há vários relatos sobre análise dialélica na cultura do milho. Um trabalho interessante foi realizado por Ferreira et al. (2004), no qual foi efetuada uma simulação, utilizando-se frequências alélicas de 0; 0,5; 1,0; 1,5 e 2,0, para estimar a capacidade geral e específica de combinação de um dialelo completo envolvendo 28 linhagens. O objetivo foi identificar os fatores que podem

influenciar nas estimativas da CGC e da CEC. Os autores concluíram que as estimativas da capacidade geral de combinação são influenciadas pelos desvios de dominância nos locos que regulam os caracteres. Assim, não se pode afirmar que há predomínio de efeitos aditivos na expressão dos caracteres quando a soma de quadrados da CGC é superior em relação à CEC.

Em um estudo mais recente sobre análise dialélica em milho doce obtiveram-se estimativas da CGC, da CEC e da heterose para vários caracteres, incluindo a altura de planta e o peso de espigas despalhadas. Observou-se que a CGC foi significativa para a maioria dos caracteres e a CEC, para a produção de grãos. Além disso, a heterose foi mais importante para os caracteres diretamente envolvidos com a produção de grãos do que para os caracteres diâmetro e comprimento da espiga e profundidade de grãos (SOLOMON; ZEPPA; MULUGETA, 2012).

Ferreira et al. (2008) realizaram a análise dialélica para altura de planta, altura de espiga, peso de grãos e produção de grãos de 28 híbridos de germoplasma tropical e temperado. Estes autores observaram a significância tanto da soma de quadrados da CGC como da CEC para todos os caracteres, ou seja, houve predomínio de efeitos aditivos e não aditivos para o controle genético desses caracteres. Também se evidenciou a presença de dominância na expressão da heterose da produção de grãos.

### 3 MATERIAL E MÉTODOS

Os experimentos foram conduzidos em dois locais do estado de Minas Gerais, sendo em uma propriedade particular no município de Ribeirão Vermelho, a 808 m de altitude, 45° 03' longitude oeste e 21° 11' latitude Sul e na fazenda experimental da Universidade Federal de Lavras, em Lavras, a 951 m de altitude, nas coordenadas 44° 58' longitude Oeste e 21° 12' latitude Sul

Foram escolhidas cinco linhagens do programa de melhoramento da UFLA, obtidas pela autofecundação de híbridos existentes no mercado. O critério da escolha das mesmas foi o tamanho dos grãos, sendo três de grãos grandes e duas de grãos pequenos. Os cruzamentos foram realizados seguindo um esquema de dialelo completo na safra de 2009/2010.

Na safra de 2011/2012, procedeu-se à avaliação da geração F<sub>1</sub> dos híbridos e das linhagens. Foram conduzidos dois experimentos distintos, porém, próximos. O delineamento utilizado em ambos os casos foi o de blocos completos ao acaso com quatro repetições. As parcelas eram constituídas de duas linhas de 2 m de comprimento, com espaçamento entre linhas de 0,6 m e quatro plantas por metro linear.

As operações de manejo recomendadas para a cultura foram realizadas a fim de proporcionar as melhores condições para o desenvolvimento das plantas. A adubação no momento da semeadura foi efetuada com o equivalente a 350 kg/ha da formulação 08-28-16 (N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, K<sub>2</sub>O), 200 kg/ha de sulfato de amônio no estágio fenológico V<sub>3</sub> e 130 kg/ha de ureia no estágio fenológico V<sub>6</sub>, em ambos os locais. Os demais tratamentos culturais foram os recomendados para a cultura na região.

Nos experimentos da safra 2011/2012 foram avaliados os seguintes caracteres:

No momento do florescimento do pendão, quando detectou-se aproximadamente 50% de abertura das anteras, foi realizada a coleta dos pendões para a posterior obtenção da matéria seca dos mesmos. Os pendões foram cortados, na sua base, de uma planta da extremidade de cada linha da parcela. Assim, foram amostradas quatro plantas em cada parcela experimental. Em seguida, esses pendões foram submetidos à secagem em estufa, com circulação forçada de ar, a uma temperatura de 65 °C, por um período de aproximadamente 48 horas, até que os mesmos atingissem peso constante. Posteriormente, os pendões foram pesados para a obtenção da matéria seca.

No final do período do florescimento masculino, foram realizadas medições de cinco plantas competitivas no interior da parcela para altura de planta (AP), em metros, considerando a distância do solo ao ponto de inserção da folha bandeira, altura de espiga (AE), em metros, do ponto de inserção da espiga superior formada no colmo e o diâmetro do colmo (DC), em centímetros, a partir do primeiro entrenó do colmo acima do solo, utilizando-se um paquímetro digital.

No momento da colheita, foram colhidas individualmente as espigas de cinco plantas na parcela para a obtenção da produtividade de grãos por planta (PROD). De cada planta, após a trilha das espigas, foram obtidos o peso de 100 grãos e o número de grãos por planta, o qual foi estimado por regra de três a partir dos dados do P100 e PROD.

Os dados da PROD e do P100 foram corrigidos para umidade padrão de 13%, utilizando-se a seguinte expressão:

$$P_{13} = \frac{PC(100 - U)}{87}$$

em que

$P_{13}$ : é o peso de grãos corrigido para a umidade padrão de 13%;

PC: é o peso de grãos sem correção;

U: é a umidade dos grãos na ocasião da pesagem das espigas, em porcentagem, amostrados de 10% das parcelas.

Para efetuar a análise estatística dos dados, foram realizadas as análises de variância por local, considerando-se todos os efeitos como fixos, exceto o erro experimental. Em seguida, foi efetuada a análise conjunta dos dois ambientes, de acordo com o seguinte modelo estatístico (RAMALHO; FERREIRA; OLIVEIRA, 2012):

$$Y_{ijk} = m + t_i + l_k + b_{q(k)} + (tl)_{ik} + \bar{e}_{ijk}$$

em que

$Y_{ijk}$ : valor do tratamento  $i$  na repetição  $q$  dentro do local  $k$ ;

$m$ : média geral do experimento;

$l_k$ : efeito do local  $k$ , sendo  $k=1,2$ ;

$b_{q(k)}$ : efeito da repetição  $q$ , dentro do local  $k$ , sendo  $q = 1, 2, 3, 4$ ;

$t_i$ : efeito do tratamento  $i$ ,  $i = 1, 2, 3, \dots, 10$  para híbridos e  $i=1, 2, 3, \dots, 5$

para as linhagens;

$(tl)_{ik}$ : efeito da interação genótipos x locais;

$\bar{e}_{ijk}$  = erro experimental médio associado à observação  $Y_{ijk}$ , com  $\bar{e}_{ijk} \cap$

$N(0, \sigma_e^2)$ .

Após a obtenção das médias nas análises de variâncias individuais e conjuntas, para cada um dos caracteres avaliados foram estimadas as heteroses. Para isso foi utilizado o seguinte estimador (HALLAUER; CARENA; MIRANDA FILHO, 2010):

$$h = F_1 - \frac{\bar{P}_1 + \bar{P}_2}{2}$$

em que

$F_1$ : média do híbrido simples;

$P_1$ : média do genitor 1, do respectivo híbrido simples;

$P_2$ : média do genitor 2, do respectivo híbrido simples.

Posteriormente, foi estimada a heterose em porcentagem da média dos pais.

Utilizando-se as médias por local, procedeu-se à análise dialélica, método IV de Griffing (1956), de acordo com o seguinte modelo (CRUZ; REGAZZI; CARNEIRO, 2004):

$$Y_{ij} = m + g_i + g_j + s_{ij} + \bar{e}_{ij}$$

em que

$Y_{ij}$  é o valor médio do híbrido  $ij$ ;

$m$  é a média geral;

$g_i, g_j$  são os efeitos da capacidade geral de combinação do  $i$ -ésimo e  $j$ -ésimo genitor, respectivamente;

$s_{ij}$  é o efeito da capacidade específica de combinação para os cruzamentos entre os genitores de ordem  $i$  e  $j$ ; e

$\bar{e}_{ij}$  é o erro experimental médio.

Para a realização da análise dialélica conjunta, o seguinte modelo foi utilizado:

$$Y_{ijk} = m + a_k + g_i + g_j + s_{ij} + (ga)_{ik} + (ga)_{jk} + (as)_{ijk} + \bar{e}_{ijk}$$

em que

$Y_{ijk}$ : valor médio da combinação híbrida entre a i-ésima e j-ésima linhagem no k-ésimo local;

$m$ : média geral dos híbridos considerando todos os locais;

$a_k$ : efeito do k-ésimo local;

$g_i$  e  $g_j$ : efeito das capacidades gerais de combinação das i-ésimas e j-ésimas linhagens;

$s_{ij}$ : efeito da capacidade específica de combinação entre as linhagens  $i$  e  $j$ ;

$(ga)_{ik}$  e  $(ga)_{jk}$ : efeito da interação das capacidades gerais de combinações por locais;

$(as)_{ijk}$ : efeito da interação das capacidades específicas de combinação por locais;

$\bar{e}_{ijk}$ : erro experimental médio.

Foram estimados também os coeficientes de correlação fenotípica dos caracteres nos híbridos, pela seguinte expressão (RAMALHO; FERREIRA; OLIVEIRA, 2012):

$$r_{xy} = \frac{COV_{xy}}{\sqrt{\sigma_x^2 \sigma_y^2}}$$

em que

$COV_{xy}$  corresponde à covariância fenotípica entre os caracteres  $x$  e  $y$ ;

$\sigma_x^2$  e  $\sigma_y^2$  correspondem à variância fenotípica entre os caracteres  $x$  e  $y$ .

Foram obtidos também os coeficientes de correlação parciais fenotípicos de todos os caracteres, pelas expressões apresentadas por Cruz, Regazzi e Carneiro (2004).

$$r_{xy.z} = \frac{r_{xy} - r_{xz} \cdot r_{yz}}{\sqrt{(1 - r_{xz}^2)(1 - r_{yz}^2)}}$$

Segundo os mesmos autores, essa expressão pode ser generalizada, considerando qualquer par de caractere  $s$  e  $q$ , por meio de uma correlação simples de dimensão  $(n+2) \times (n+2)$ , ou seja, ela envolve esses dois caracteres  $s$  e  $q$  e  $n$  outros, em que se deseja remover o efeito da associação em  $s$  e  $q$ . Para isso, a seguinte expressão pode ser utilizada:

$$r_{sq.r} = \frac{-a_{sq}}{\sqrt{a_{ss} a_{qq}}}$$

em que

$a_{sq}$  é o elemento de ordem  $sq$  da inversa da matriz de correlação simples;

$a_{ss}$  é o elemento de ordem  $ss$  da inversa da matriz de correlação simples;

$a_{qq}$  é o elemento de ordem  $qq$  da inversa da matriz de correlação simples;

Para a realização de todas as análises foi utilizado o software Genes VS

7.0.

## 4 RESULTADOS

O resumo da análise de variância de todos os caracteres avaliados em cada local é apresentado nas Tabelas 1A a 4A. Verifica-se que os resultados foram muito semelhantes nos dois locais. Para todos os caracteres em que foi detectada diferença significativa entre os tratamentos a acurácia foi alta, acima de 83%. Entre os híbridos foi detectada diferença significativa ( $P \leq 0,01$ ) para todos os caracteres, em ambos os locais, exceto diâmetro do colmo (DC), em Lavras. Entre os genitores, os caracteres diâmetro do colmo (DC), número de grãos por planta (NGP) e produção de grãos por planta (PROD), não apresentaram diferenças significativas em ambos os locais.

A acurácia seletiva na análise conjunta, envolvendo os híbridos, foi superior a 80% para todos os caracteres, exceto DC, evidenciando a alta precisão dos experimentos. Considerando os caracteres avaliados na planta, altura de planta (AP), altura de espiga (AE), diâmetro do colmo (DC) e matéria seca do pendão (MS), foi observada diferença significativa ( $P \leq 0,01$ ) entre os híbridos e entre os genitores para AP, AE e MS, condição essa favorável para se obter as informações almejadas. A fonte de variação ambiente foi significativa para AP e AE. A média dos caracteres foi sempre superior em Ribeirão Vermelho (Tabela 2 e 3). A interação genitores x ambientes foi não significativa para a maioria dos caracteres, mostrando que o comportamento dos genitores foi coincidente nos dois ambientes. Já a interação híbridos x ambientes foi significativa ( $P \leq 0,01$ ) para todos os caracteres da planta (Tabela 4).

Ainda considerando os caracteres da planta, a capacidade geral de combinação (CGC) não foi significativa apenas para AE. Já a capacidade específica de combinação (CEC) foi significativa ( $P \leq 0,05$ ) para todos os caracteres. Para AP e AE, o quadrado médio da CEC foi superior à CGC. Já para DC e MS ocorreu o contrário. As interações envolvendo a CGC x A e CEC x A

foram todas significativas, exceto a CEC x A para o caráter DC. Esses resultados evidenciam que as estimativas da CGC e CEC não foram coincidentes nos dois ambientes.

A média e a heterose da altura de planta e de espiga São apresentadas nas Tabelas 2 e 3. As maiores alturas foram observadas em Ribeirão Vermelho. Além disso, a maior discrepância entre as médias da altura de plantas ocorreu com os híbridos 2x5 e 4x5, que estiveram entre os de maior altura em Ribeirão Vermelho, porém de menor altura em Lavras. O contrário ocorreu com os híbridos 1x3, 3x5 e 1x5. No entanto, a diferença foi muito pequena. Para a altura de espiga, os resultados foram semelhantes aos relatados para altura de plantas.

As combinações 1x2 e 2x3 apresentaram as maiores heteroses para AP e AE, em Ribeirão Vermelho. Em Lavras, foram os híbridos 2x3 e 3x5. Apesar da média de altura de planta e de espiga dos híbridos e dos genitores ter sido maior em Ribeirão Vermelho, a maior heterose para esses caracteres foi observada em Lavras.

A média e a heterose para o diâmetro do colmo e matéria seca do pendão estão apresentadas nas Tabelas 5 e 6. A heterose do DC variou bastante de acordo com o local de avaliação. Observou-se que a heterose média do DC em Ribeirão Vermelho foi exatamente a metade da heterose em Lavras. Para a heterose da MS, as estimativas foram semelhantes em Ribeirão Vermelho e em Lavras, com média de 14,1%. O híbrido mais produtivo, 4x5, foi o que apresentou uma das menores heteroses para o DC e MS, nos dois locais.

Tabela 2 Resumo da análise de variância conjunta dos genitores (G) e dos híbridos (H), para os caracteres altura de planta (AP), altura de espiga (AE), diâmetro do colmo (DC) e matéria seca do pendão (MS). Experimentos conduzidos em Lavras e em Ribeirão Vermelho, MG, safra 2011/2012.

FV	GL	QM							
		AP		AE		DC		MS	
		G	H	G	H	G	H	G	H
Blocos/Amb	6	0,01	0,04	0,01	0,01	5,81	4,15	1,50	0,99
Tratamentos	9 (4) <sup>1</sup>	0,28**	0,09**	0,12**	0,03**	4,51	7,69**	50,39**	23,66**
Ambientes	1	0,78**	1,36**	0,31**	0,34**	16,1	0,06	4,08	3,42
TxA	9 (4)	0,02	0,13**	0,07	0,07**	1,12	6,36*	3,02*	4,42**
CGC	4		0,07*		0,02		10,17**		46,69**
CEC	5		0,10**		0,05**		5,71*		5,24**
CGCxA	4		0,23**		0,06**		9,22**		4,39**
CECxA	5		0,06*		0,07**		4,08		4,45**
Erro médio	54 (24)	0,01	0,02	0,01	0,01	2,97	1,90	1,0	0,99
Média		1,53	2,25	0,78	1,30	23,91	26,02	23,31	26,57
Acurácia (%)		98,62	87,36	98,05	83,30	58,44	86,76	99,0	97,87

\*, \*\* Teste F significativo a 1% e a 5% de probabilidade, respectivamente

<sup>1</sup>Entre parênteses, o GL dos genitores

Tabela 3 Médias da altura de planta das linhagens e dos híbridos, em metros, e estimativas da heterose per se, h, e heterose em porcentagem, h (%), dos experimentos conduzidos em Ribeirão Vermelho e Lavras, MG, safra 2011/2012

Linhagens	Ribeirão Vermelho			Lavras			Média		
	Média (m)	h	h (%)	Média (m)	h	h (%)	Média (m)	h	h (%)
1	1,5 c			1,3 b			1,4 c		
2	1,5 c			1,3 b			1,4 c		
3	1,6 b			1,3 b			1,5 c		
4	2,0 a			1,7 a			1,8 a		
5	1,7 b			1,4 b			1,6 b		
Média geral das linhagens	1,7			1,4			1,5		
Híbridos									
1x2	2,5 a	1,0	66,6	2,1 a	0,8	59,1	2,3 a	0,9	62,7
1x3	2,0 c	0,4	29	2,1 a	0,8	64,7	2,1 b	0,7	46,0
1x4	2,5 a	0,7	42,8	2,1 a	0,6	40,9	2,3 a	0,7	41,2
1x5	2,2 b	0,6	37,5	2,2 a	0,8	62,3	2,2 b	0,7	50,1
2x3	2,5 a	0,9	61,3	2,3 a	1,0	75,8	2,4 a	1,0	66,8
2x4	2,5 a	0,7	42,8	2,1 a	0,6	41,5	2,3 a	0,7	41,0
2x5	2,4 a	0,8	50	1,9 a	0,5	42,4	2,2 b	0,7	47,6
3x4	2,5 a	0,7	38,9	2,3 a	0,8	55,8	2,4 a	0,7	44,6
3x5	2,3 b	0,6	39,4	2,4 a	1,1	75,0	2,3 a	0,8	52,8
4x5	2,4 a	0,5	29,7	1,8 b	0,3	15,3	2,0 b	0,3	23,3
Média geral dos híbridos	2,4	0,7	43,8	2,1	0,7	53,3	2,3	0,7	47,6

<sup>1</sup>Em uma mesma coluna, para linhagens ou híbridos, as médias contendo a mesma letra pertencem ao mesmo grupo, pelo teste de Scott e Knott (1974)

Tabela 4 Médias da altura de espiga das linhagens e dos híbridos, em metros, e estimativas da heterose per se, h, e heterose em porcentagem, h(%), dos experimentos conduzidos em Ribeirão Vermelho e Lavras, MG, safra 2011/2012

Linhagens	Ribeirão Vermelho			Lavras			Média		
	Média (m)	h	h (%)	Média (m)	h	h (%)	Média (m)	h	h (%)
1	0,8 c			0,7 b			0,7 b		
2	0,7 d			0,6 b			0,7 b		
3	0,9 c			0,6 b			0,7 b		
4	1,1 a			0,9 a			1,0 a		
5	0,9 b			0,7 b			0,8 b		
Média geral das linhagens	0,9			0,7			0,8		
Híbridos									
1x2	1,4 a	0,6	87,4	1,1 b	0,5	71,8	1,3 a	0,6	80,2
1x3	1,1 c	0,3	38,2	1,2 a	0,6	89,1	1,2 a	0,5	60,5
1x4	1,5 a	0,5	54,8	1,2 a	0,4	56,5	1,4 a	0,5	55,5
1x5	1,3 b	0,5	52,7	1,3 a	0,6	90,2	1,3 a	0,5	69,4
2x3	1,4 a	0,6	83,8	1,3 a	0,7	112,0	1,4 a	0,7	96,3
2x4	1,3 b	0,4	42,8	1,3 a	0,5	72,0	1,3 a	0,5	56,1
2x5	1,4 a	0,6	74,6	1,1 b	0,4	70,7	1,3 a	0,6	72,8
3x4	1,4 a	0,4	47,0	1,3 a	0,5	74,6	1,4 a	0,5	59,0
3x5	1,3 b	0,4	47,2	1,4 a	0,8	116,8	1,3 a	0,5	77,0
4x5	1,4 a	0,4	43,8	1,0 b	0,2	30,7	1,2 a	0,3	38,1
Média geral dos híbridos	1,4	0,5	57,2	1,2	0,5	78,4	1,3	0,5	66,5

<sup>1</sup>Em uma mesma coluna, para linhagens ou híbridos, as médias contendo a mesma letra pertencem ao mesmo grupo, pelo teste de Scott e Knott (1974)

Tabela 5 Médias do diâmetro do colmo das linhagens e dos híbridos, em centímetros, e estimativas da heterose per se, h, e heterose em porcentagem, h (%), dos experimentos conduzidos em Ribeirão Vermelho e Lavras, MG, safra 2011/2012

Linhagens	Ribeirão Vermelho			Lavras			Média		
	Média (cm)	h	h (%)	Média (cm)	h	h (%)	Média (cm)	h	h (%)
1	23,9			22,7			23,3		
2	23,8			23,5			23,7		
3	24,5			23,6			24,1		
4	26,3			24,0			25,2		
5	24,1			22,7			23,4		
Média geral das linhagens	24,5			23,3			23,9		
Híbridos									
1x2	26,4 a	2,5	10,6	27,4 a	4,3	18,4	26,9 a	3,4	14,5
1x3	24,5 b	0,3	1,2	26,6 a	3,5	15,1	25,6 b	1,9	8,0
1x4	25,7 a	0,6	2,3	25,0 b	1,7	7,3	25,4 b	1,2	4,7
1x5	23,3 b	-0,7	-2,8	26,9 a	4,2	18,7	25,1 b	1,8	7,7
2x3	28,1 a	3,9	16,0	25,7 b	2,2	9,3	26,9 a	3,1	12,7
2x4	26,9 a	1,8	7,2	26,6 a	2,9	12,0	26,7 a	2,3	9,6
2x5	26,6 a	2,7	11,1	24,7 b	1,6	6,9	25,6 b	2,1	9,0
3x4	26,9 a	1,5	5,7	26,3 a	2,5	10,7	26,6 a	2,0	8,1
3x5	27,1 a	2,8	11,3	27,4 a	4,3	18,4	27,2 a	3,5	14,8
4x5	24,4 b	-0,8	-3,1	23,9 b	0,6	2,7	24,2 b	-0,1	-0,3
Média geral dos híbridos	26,0	1,5	6,0	26,1	2,8	12,0	26,1	2,1	8,9

<sup>1</sup>Em uma mesma coluna, para linhagens ou híbridos, as médias contendo a mesma letra pertencem ao mesmo grupo, pelo teste de Scott e Knott (1974).

Tabela 6 Médias da matéria seca do pendão das linhagens e dos híbridos, em gramas, e estimativas da heterose per se, h, e heterose em porcentagem, h (%), dos experimentos conduzidos em Ribeirão Vermelho e Lavras, MG, safra 2011/2012

Linhagens	Ribeirão Vermelho			Lavras			Média		
	Média (g)	h	h (%)	Média (g)	h	h (%)	Média (g)	h	h (%)
1	20,5 b			22,4 b			21,5 b		
2	22,3 b			23,0 b			22,7 b		
3	23,2 b			22,6 b			22,9 b		
4	22,2 b			21,6 c			21,9 b		
5	26,8 a			28,6 a			27,7 a		
Média geral das linhagens	23,0			23,6			23,3		
Híbridos									
1x2	26,9 b	5,5	25,7	26,5 a	3,8	16,8	26,7 b	4,6	21,1
1x3	23,3 c	1,5	6,7	23,6 a	1,1	5,2	23,5 d	1,3	5,9
1x4	26,7 b	5,4	24,9	25,6 b	3,6	16,0	26,1 c	4,4	20,4
1x5	27,7 b	4,1	17,2	27,4 a	1,9	7,6	27,6 b	3,0	12,2
2x3	26,9 b	4,1	18,4	23,9 b	1,1	4,7	25,4 c	2,6	11,6
2x4	27,0 b	4,7	21,3	28,2 a	5,9	26,3	27,6 b	5,3	23,8
2x5	30,9 a	6,3	25,8	28,4 b	2,6	10,0	29,6 a	4,4	17,7
3x4	24,2 c	1,5	6,8	25,5 a	3,4	15,2	24,9 c	2,5	11,0
3x5	27,8 b	2,8	11,1	27,3 a	1,7	6,6	27,5 b	2,2	8,8
4x5	26,4 b	1,9	7,9	27,4 b	2,3	9,1	26,9 b	2,1	8,5
Média geral dos híbridos	26,8	3,8	16,6	26,4	2,7	11,8	26,6	3,3	14,1

<sup>1</sup>Em uma mesma coluna, para linhagens ou híbridos, as médias contendo a mesma letra pertencem ao mesmo grupo pelo teste de Scott e Knott (1974)

Como ocorreu interação significativa da capacidade geral de combinação (CGC) e capacidade específica de combinação (CEC) por locais, as estimativas dos componentes genéticos serão apresentadas por local. As estimativas de  $g$ , ou seja, da CGC de cada genitor por local para os caracteres da planta são mostradas nas Tabelas 7 e 8. Considerando a AP, verifica-se que, em Ribeirão Vermelho, as duas linhagens que mais contribuíram para o incremento nesse caráter foram a 2 e a 4 e, em Lavras, a linhagem 3, evidenciando, assim, a ocorrência da interação. As estimativas de  $g$  para AE, embora de menor magnitude que de AP, apresentaram praticamente a mesma tendência da AP. As linhagens 2 e 3 foram as de maior CGC para o DC, em Ribeirão Vermelho. Já em Lavras, foram a 3 e a 1. Com relação à MS, a maior estimativa de  $g$  foi constatada para as linhagens 2 e 5, em Ribeirão Vermelho e apenas para a 5, em Lavras.

Para as estimativas da CEC,  $s_{ij}$ , as combinações 2x3 e 3x4 foram as que mais contribuíram para aumentar a altura de planta, em Ribeirão Vermelho e a 1x5 e 3x5, em Lavras. No caso da estimativa  $s_{ij}$  da AE, assim como ocorreu na estimativa de  $g$ , os valores foram menores, mas a tendência foi semelhante. Os pares 1x4 e 2x3 foram os de maior CEC, em Ribeirão Vermelho e os pares 2x4, 3x5 e 1x5, em Lavras. O híbrido com a maior estimativa da  $s_{ij}$  do DC, em ambos os locais, foi o 3x5. O mesmo resultado foi observado para a MS, em ambos os locais.

Tabela 7 Estimativas da capacidade geral de combinação ( $g$ ), capacidade específica de combinação ( $s_{ij}$ ) e desvio padrão das estimativas, da altura de planta (AP) e de espiga (AE), dos experimentos conduzidos em Ribeirão Vermelho e Lavras, MG, safra 2011/2012.

Linhasgens	Locais			
	Ribeirão Vermelho		Lavras	
	g AP		g AE	
1	-0,09	0,01	-0,03	-0,03
2	0,11	-0,04	0,04	-0,03
3	-0,09	0,18	-0,06	0,11
4	0,11	-0,09	0,06	-0,02
5	-0,04	-0,06	-0,006	-0,03
DP ( $g_i$ )	0,02	0,05	0,02	0,03
DP ( $g_i-g_j$ )	0,03	0,08	0,03	0,05
Híbridos	$s_{ij}$ AP		$s_{ij}$ AE	
1x2	0,05	-0,01	0,05	-0,06
1x3	-0,18	-0,18	-0,14	-0,09
1x4	0,07	0,04	0,08	0,04
1x5	0,06	0,15	0,01	0,12
2x3	0,1	-0,002	0,099	0,003
2x4	-0,12	0,09	-0,16	0,12
2x5	-0,02	-0,08	0,006	-0,06
3x4	0,09	0,06	0,069	-0,006
3x5	-0,003	0,12	-0,03	0,10
4x5	-0,03	-0,2	0,01	-0,15
DP ( $s_{ij}$ )	0,03	0,06	0,02	0,05
DP ( $s_{ij}-s_{ik}$ )	0,05	0,11	0,04	0,07
DP ( $s_{ij}-s_{kl}$ )	0,03	0,08	0,03	0,05

Tabela 8 Estimativas da capacidade geral de combinação ( $g$ ), capacidade específica de combinação ( $s_{ij}$ ) e desvio-padrão das estimativas, do diâmetro do colmo (DC) e matéria seca do pendão (MS), dos experimentos conduzidos em Ribeirão Vermelho e Lavras, MG, safra 2011/2012

Linhasgens	Locais			
	Ribeirão Vermelho	Lavras	Ribeirão Vermelho	Lavras
	$g$ DC		$g$ MS	
1	-1,11	0,59	-0,99	-0,78
2	1,19	0,03	1,64	0,49
3	0,72	0,60	-1,54	-1,76
4	-0,15	-0,78	-0,85	0,38
5	-0,65	-0,44	1,74	1,66
DP ( $g_i$ )	0,31	0,4	0,26	0,26
DP ( $g_i-g_j$ )	0,49	0,63	0,41	0,4
Híbridos	$s_{ij}$ DC		$s_{ij}$ MS	
1x2	0,24	0,68	-0,44	0,43
1x3	-1,17	-0,61	-0,88	-0,2
1x4	0,89	-0,81	1,78	-0,42
1x5	0,03	0,74	-0,47	0,18
2x3	0,04	-0,97	0,13	-1,25
2x4	-0,24	1,28	-0,50	0,96
2x5	-0,04	-0,98	0,81	-0,15
3x4	0,2	0,44	-0,09	0,47
3x5	0,89	1,14	0,84	0,98
4x5	-0,88	-0,9	-1,19	-1,01
DP ( $s_{ij}$ )	0,43	0,54	0,36	0,35
DP ( $s_{ij}-s_{ik}$ )	0,7	0,88	0,58	0,57
DP ( $s_{ij}-s_{kl}$ )	0,49	0,63	0,41	0,40

Como se pode observar na análise de variância conjunta, para os caracteres avaliados na espiga, isto é, número de grãos (NGP), peso de 100 grãos (P100) e produtividade de grãos por planta (PROD) (Tabela 9), não ocorreu diferença significativa entre os genitores, para os três caracteres. Já com relação aos híbridos, houve diferença significativa ( $P \leq 0,01$ ) para todos os caracteres. Na análise dialélica, tanto a CGC como a CEC foram significativas para todos os caracteres. Vale salientar que, em todos os casos, a soma de quadrados da CGC explicou mais de 80% da variação total. As interações envolvendo a CGC e a CEC com locais, embora significativa ( $P \leq 0,05$ ) em algumas interações, foram de pequena magnitude.

Tabela 9 Resumo da análise de variância conjunta dos genitores (G) e dos híbridos (H), para os caracteres peso de 100 grãos (P100), produção de grãos por planta (PROD) e número de grãos por planta (NGP), nos experimentos conduzidos em Lavras e em Ribeirão Vermelho, MG, safra 2011/2012

FV	GL	QM					
		P100		NGP		PROD	
		G	H	G	H	G	H
Blocos/Amb	6	31,87	8,66	2792,13	1123,16	374,79	234,78
Tratamentos	9 (4) <sup>1</sup>	15,17	140,24**	1033,27	12437,78**	51,59	5401,77**
Ambientes	1	142,03	54,26*	708,53	0,0002	1669,99	1110,05
TxA	9 (4)	26,23	14,29*	3409,92	2820,37	497,43	689,69*
CGC	4		277,75**		22292,61**		10869,76**
CEC	5		30,23**		4553,91**		1027,38**
CGCxA	4		16,31*		4242,4*		619,75
CECxA	5		12,66		1682,74		745,63*
Erro médio	54(24)	23,58	5,91	2808,69	1426,30	206,39	269,16
Média		26,58	32,69	273,40	442,86	71,89	145,48
Acurácia (%)		-	97,87	-	94,09	-	97,48

\*, \*\* Teste F significativo, a 1% e A 5% de probabilidade, respectivamente

<sup>1</sup>Entre parênteses, o GL dos genitores

As estimativas das médias dos caracteres peso de 100 grãos (P100), número de grãos por planta (NGP) e produção de grãos por planta (PROD) são apresentadas nas Tabelas 10, 11 e 12. O maior peso de 100 grãos foi observado para os híbridos 2x4 e 4x5, na média dos dois locais. Com relação ao número de grãos por planta, a variação entre as linhagens também foi pequena. Já entre os híbridos, o NGP variou de 356, na combinação 1x3, a 494 na 2x5. Quando se considerou a produtividade de grãos por planta, a variação entre as linhagens, como era esperado, foi pequena. Já no caso dos híbridos, variou de 101,7 g/planta, na 1x5, a 176g/planta, na 4x5.

Tabela 10 Médias do peso de 100 grãos das linhagens e dos híbridos, em gramas, e estimativas da heterose per se, h, e heterose em porcentagem e h (%), dos experimentos conduzidos em Ribeirão Vermelho e Lavras, MG, safra 2011/2012

Linhagens	Ribeirão Vermelho			Lavras			Média		
	Média (g)	h	h (%)	Média (g)	h	h (%)	Média (g)	h	h (%)
1	27,3 b			26,0			26,7		
2	25,2 b			25,8			25,5		
3	30,5 a			27,1			28,8		
4	29,3 a			21,4			25,4		
5	30,1 a			23,1			26,6		
Média geral das linhagens	28,5			24,7			26,6		
Híbridos									
1x2	29,2 c	2,9	11,1	31,6 c	5,7	22	30,4 b	4,3	16,5
1x3	29,1 c	0,2	0,7	29,4 c	2,8	10,7	29,3 b	1,5	5,5
1x4	32,6 b	4,3	15,1	37,1 a	13,4	56,5	34,9 a	8,8	33,8
1x5	26,1 d	-3	-9	22,6 d	-2	8	24,4 c	-2,3	-8,6
2x3	29,8 c	2	7	34 b	7,5	28,5	31,9 b	4,8	17,6
2x4	36,0 a	8,8	32,1	36,9 a	13,3	56,4	36,5 a	11	43,3
2x5	32,4 b	4,8	17,1	31,1 c	6,7	27,2	31,8 b	5,8	22,1
3x4	35,8 a	5,9	19,7	39,5 a	15,2	62,8	37,7 a	10,5	38,9
3x5	31,9 b	1,6	5,3	33,1 b	8	31,9	32,50 b	4,8	17,4
4x5	35,8 a	6,1	20,5	39,9 a	18	79,3	37,9 a	12	45,5
Média geral dos híbridos	31,9	3,4	11,9	33,5	8,8	38,3	32,7	6,1	23,2

<sup>1</sup>Em uma mesma coluna, para linhagens ou híbridos, as médias contendo a mesma letra pertencem ao mesmo grupo, pelo teste de Scott e Knott (1974)

Tabela 11 Médias do número de grãos por planta das linhagens e dos híbridos, e estimativas da heterose per se, h, e heterose em porcentagem, h (%), dos experimentos conduzidos em Ribeirão Vermelho e Lavras, MG, safra 2011/2012

Linhagens	Ribeirão Vermelho			Lavras			Média		
	Média (grãos)	h	h (%)	Média (grãos)	h	h (%)	Média (grãos)	h	h (%)
1	247			266			257		
2	288			293			291		
3	270			258			264		
4	300			228			264		
5	258			301			280		
Média geral das linhagens	278			269,2			273,41		
Híbridos									
1x2	426 a	145,3	51,9	466 a	186,6	66,73	446 a	166	59,3
1x3	369 b	97,5	35,8	342 c	80,1	30,47	356 c	89,3	33,2
1x4	437 a	150,3	52,5	470 a	223	90,5	454 a	187,2	70,1
1x5	428 a	162,4	61,3	403 b	119,9	42,44	416 b	141,7	51,6
2x3	452 a	173,4	62,1	499 a	223,3	80,81	476 a	198,8	71,4
2x4	461 a	167,2	56,8	477 a	216	82,89	469 a	191,7	69,1
2x5	481 a	208,4	76,4	506 a	209,1	70,58	494 a	209,2	73,4
3x4	470 a	185,4	65	402 b	159,6	65,36	436 a	172	65,2
3x5	434 a	170,6	64,7	403 b	154,5	44,38	419 b	147,6	54,3
4x5	471 a	192,4	69,1	460 a	195,5	73,75	466 a	194,4	71,4
Média geral dos híbridos	443	165,3	59,6	443	176,7	64,79	443	169,8	61,9

<sup>1</sup>Em uma mesma coluna, para linhagens ou híbridos, as médias contendo a mesma letra pertencem ao mesmo grupo, pelo teste de Scott e Knott (1974)

Tabela 12 Médias da produção de grãos por planta das linhagens e dos híbridos, em gramas, e estimativas da heterose per se, h, e heterose em porcentagem, h (%), dos experimentos conduzidos em Ribeirão Vermelho e Lavras, MG, safra 2011/2012

Linhagens	Ribeirão Vermelho			Lavras			Média		
	Média (g)	h	h (%)	Média (g)	h	h (%)	Média (g)	h	h (%)
1	74,7			66,1			70,4		
2	72,7			76			74,4		
3	79,2			68,2			73,7		
4	87,9			48,6			68,3		
5	77,3			68,3			72,8		
Média geral das linhagens	78,4			65,4			71,9		
Híbridos									
1x2	124,1 c	50,4	68,4	146,5 b	75,4	106,2	135,3 b	62,9	87
1x3	107,5 c	30,5	39,7	100,4 c	33,3	49,5	104 c	31,9	44,3
1x4	142,3 b	61	75,1	174,5 a	117,1	204,2	158,4 a	89,1	128,5
1x5	112,3 c	36,3	47,8	91,1 c	23,9	35,5	101,7 c	30,1	42
2x3	134,9 b	58,9	77,6	169,4 a	97,3	135	152,2 a	78,2	105,5
2x4	165,4 a	85,1	106	176,5 a	114,2	183,3	170,9 a	99,6	139,8
2x5	155,6 a	80,6	107,4	157,3 b	85,1	118	156,4 a	82,8	112,6
3x4	168,4 a	84,8	101,7	159,1 b	100,7	172,5	163,8 a	92,8	130,8
3x5	138,2 b	59,9	76,6	134,2 b	66	96,7	136,2 b	62,9	86
4x5	168,8 a	86,2	104,3	183,2 a	124,8	213,4	176 a	105,5	149,5
Média geral dos híbridos	141,8	63,4	80,46	149,2	83,8	131,4	145,5	73,6	102,6

<sup>1</sup>Em uma mesma coluna, para linhagens ou híbridos, as médias contendo a mesma letra pertencem ao mesmo grupo, pelo teste de Scott e Knott (1974)

O que interessa mais neste trabalho é a estimativa da heterose (h). As estimativas de h estão em porcentagem da média dos pais para possibilitar a comparação, especialmente entre os caracteres. Embora houvesse diferença entre os locais na estimativa de h para os diferentes caracteres, os resultados foram comparados envolvendo a média dos dois locais. Considerando a média de todos os híbridos, a heterose (h) foi maior para a produtividade de grãos ( $\bar{h} = 102,6\%$ ) e menor para o diâmetro do colmo ( $\bar{h} = 8,9\%$ ). A maior estimativa de h para a PROD foi observada na combinação 2x4. Como era esperado, esse par apresentou alta heterose, tanto para o peso de grãos como para o número de grãos. Contudo, para os demais caracteres da planta, AP, AE, DC e MS, a heterose para esse par foi uma das de menor magnitude. Os dois híbridos com menor heterose para a PROD foram os de números 1x3 e 1x5. O comportamento relativo desses dois híbridos para os caracteres AP, AE, DC e MS foi o contrário, a heterose foi alta.

Outra vertente para se avaliar a influência dos caracteres da planta e da espiga na produtividade de grãos é por meio das estimativas da correlação. No apêndice 11A e 12A estão os resultados para os locais, Ribeirão Vermelho e Lavras e a média dos dois locais pode ser observada na Tabela 13. Observa-se que as estimativas da correlação fenotípica, como era esperado, variaram muito entre os pares de caracteres. Elas foram de maior magnitude para os pares altura de planta e espiga, e produção de grãos e peso de 100 grãos (Tabela 13). As estimativas envolvendo o diâmetro do colmo e a matéria seca do pendão foram, na maioria dos casos, não significativas.

Como parte da estimativa da correlação entre dois caracteres pode ser devido à associação de um terceiro ou mais caracteres com os dois envolvidos na estimativa, estimaram-se também as correlações parciais (Tabela 13). O resultado mais expressivo foi a correlação entre NGP e produtividade que, na correlação fenotípica, era 0,74 e na parcial passou para 0,99, praticamente a

mesma do peso de 100 grãos. Como era esperado, esses dois caracteres foram os que apresentaram maior associação com a produtividade e, por isso mesmo, são denominados componentes primários da produção. Os demais caracteres não tiveram associação direta com a produtividade de grãos.

Tabela 13 Coeficientes de correlação simples, acima da diagonal, e coeficientes de correlação parcial, abaixo da diagonal, entre os sete caracteres dos dez híbridos, da média dos dois locais, safra 2011/2012

	PROD	P100	NGP	AP	AE	DC	MS
PROD	1	0,91**	0,74**	0,29	0,35	0,01	0,25
P100	0,99**	1	0,44	0,22	0,27	0,03	-0,06
NGP	0,99**	-0,99**	1	0,33	0,37	0,03	0,63
AP	-0,1	0,08	0,16	1	0,95**	0,75**	-0,04
AE	0,08	-0,06	-0,12	0,96**	1	0,56*	-0,01
DC	-0,18	0,19	0,12	0,84**	-0,74**	1	-0,07
MS	-0,17	0,15	0,27	-0,43	0,34	0,36	1

\*, \*\* Teste F significativo a 1% e a 5% de probabilidade, respectivamente

## 5 DISCUSSÃO

A precisão experimental é fundamental nas inferências a serem obtidas nos experimentos. A estimativa mais utilizada para se avaliar a precisão foi, durante várias décadas, o coeficiente de variação (GOMES, 2009; RAMALHO; FERREIRA; OLIVEIRA, 2012). O emprego do CV como medida da precisão tem sido muito questionado (CARGNELUTTI FILHO; STORCK, 2009). Resende e Duarte (2007) enfatizaram que a medida ideal da precisão seria a acurácia ( $r\hat{g}g$ ), que é uma medida da correlação entre os valores genéticos estimados e os verdadeiros. Em experimentos balanceados, ela é obtida pela expressão  $r\hat{g}g = \sqrt{1 - \frac{1}{F}}$ , em que F é o valor estimado na análise de variância pela relação do quadrado médio do tratamento e o quadrado médio do erro. A estimativa de  $r\hat{g}g$  varia de 0 a 1% ou 100%. No caso de avaliação de linhagens/híbridos, quanto mais próxima da unidade, mais o fenótipo representa o genótipo e, conseqüentemente, maior é a precisão experimental, pois o QM do erro é de pequena magnitude em relação ao dos tratamentos e, também, maior é a eficiência dos melhoristas na seleção das melhores progênies ou híbridos. A acurácia, contudo, só tem significado se os tratamentos avaliados são diferentes. Se eles são genotipicamente iguais, uma acurácia de pequena magnitude é obtida; no entanto, não necessariamente o experimento apresentou baixa precisão. Foi o que ocorreu com a avaliação da maioria dos caracteres no experimento de avaliação das linhagens, em que a acurácia não pode ser estimada, pois o teste F foi menor que 1. Deve ser enfatizado, contudo, que avaliações envolvendo linhagens normalmente são menos precisas.

Com relação à avaliação dos híbridos, as acurácias foram todas de grande magnitude, superiores a 83%. No critério de Resende e Duarte (2007), os caracteres nos híbridos foram avaliados com boa precisão. Embora a parcela

experimental tivesse o estande ideal com 16 plantas, os dados da produtividade foram coletados de cinco plantas competitivas. Optou-se por essa estratégia, pois foram essas cinco plantas utilizadas para a avaliação dos demais caracteres. Assim procedendo, as inferências certamente serão mais precisas. É oportuno salientar que foram colhidas todas as plantas da parcela e a produtividade por área, dados não apresentados, foi coerente com os obtidos na amostra de cinco plantas.

Os dois locais utilizados, embora em dois municípios próximos, são bem diferentes em termos de tipo de solo. Ocorreu diferença significativa no desempenho médio dos caracteres entre os dois locais, mas as diferenças não foram expressivas. Embora a interação linhagens x locais e híbridos x locais, na maioria dos casos, tenha sido significativa, a discrepância no comportamento dos genitores ou híbridos para os diferentes caracteres não foi expressiva. Por essa razão, optou-se por discutir os resultados considerando a média dos dois locais.

As linhagens utilizadas são do programa de melhoramento da UFLA e oriundas da autofecundação de híbridos, normalmente simples, existentes no mercado. Elas foram previamente selecionadas em função do comportamento “per se” e da capacidade de combinação. Como já mencionado (Tabelas 2 e 9), para a maioria dos caracteres não se constatou diferença significativa entre os genitores/linhagens. Contudo, como será realçado a seguir, embora o desempenho médio entre elas não diferisse, elas devem possuir, em média, o mesmo número de alelos favoráveis fixados, mas em locos diferentes, pois foi observada diferença expressiva entre os híbridos delas derivados, para todos os caracteres avaliados.

Entre os caracteres da planta, as diferenças mais marcantes ocorreram para a altura da planta e da espiga (Tabelas 3 e 4). Na análise dialélica, a soma de quadrados da CGC explicou a maior parte da variação entre os híbridos para

todos os caracteres, exceto a altura de planta e da espiga (Tabela 1). A superioridade da fonte de variação CGC em relação à CEC na análise dialélica, utilizando o método de Griffing (1956), já foi relatada na literatura envolvendo a produtividade de grãos e outros caracteres em milho (AGUIAR et al., 2003; BINDIGANAVILE et al., 2010).

Considerando apenas um loco, a CGC é fornecida pela expressão  $CGC = \hat{g}_i = (p_i - \bar{p})[a_B + (1-2t)d_B]$ , em que  $p_i$  é a frequência do alelo favorável na linhagem sendo cruzada;  $\bar{p}$  é a frequência alélica média do alelo favorável no grupo de linhagens sendo testada;  $a_B$  é o desvio dos homozigotos em relação à média;  $d_B$  é o desvio do heterozigoto em relação à média e  $t$  é a frequência do alelo favorável no testador. Assim, a predominância da CGC não necessariamente implica ausência de dominância. Isso só ocorreria se a frequência alélica média para cada um dos diferentes locos envolvidos na expressão do caráter fosse 0,5. Dizendo de outro modo, a dominância ( $d$ ) também afeta a CGC e não apenas o desvio dos homozigotos em relação à média. Ferreira et al. (2004) também mostram esse fato por meio de simulação. Já a CEC, considerando um loco, é fornecida por  $CEC = 2[(\bar{p} - p_i)(r_i - \bar{r})d]$ , em que  $p_i$  e  $\bar{p}$  foram descritos anteriormente;  $r_i$  é a frequência do alelo favorável na outra linhagem sendo cruzada;  $\bar{r}$  é a frequência alélica média do alelo favorável no grupo de linhagens sendo testada e  $d$  é a contribuição dos locos em heterozigose, ou seja, efeito de dominância. Pelo menos em princípio, pode-se inferir que, para altura de planta e de espiga em que a CEC foi superior à CGC, a contribuição dos locos em heterozigose é maior do que a contribuição dos locos em homozigose.

Na realidade, o cruzamento dialélico envolvendo linhagens é normalmente realizado no final do processo de obtenção das linhagens visando à identificação dos melhores híbridos simples (HALLAUER; CARENA;

MIRANDA FILHO, 2010; PATERNIANI; CAMPOS, 1999). No caso, considerando a produtividade de grãos, os melhores híbridos simples foram o 4x5 e o 2x4. Esses dois híbridos produziram 19,21% acima da média e também estiveram no grupo dos híbridos simples com maior número de grãos e peso de grãos (Tabela 10, 11 e 12). O híbrido 4x5 associou ainda menor altura da planta e da espiga e menor tamanho do pendão (Tabela 3, 4 e 6). A única restrição para esse HS é o menor diâmetro do colmo (Tabela 5).

O objetivo principal desta pesquisa é a estimativa da heterose. Na média dos 10 híbridos, a heterose para produção de grãos foi a maior entre todos os caracteres avaliados (Tabela 12). Estimativas da heterose em milho foram obtidas em inúmeras oportunidades, especialmente em milho de clima temperado. Hallauer, Carena e Miranda Filho (2010) apresentam uma compilação de dados da heterose para a produtividade de milho envolvendo populações em equilíbrio. A média dessas heteroses foi de aproximadamente 20,63%, bem inferior à observada no presente caso (Tabela 12).

Flint-Garcia et al. (2009), utilizando linhagens de grupos heteróticos contrastantes, obtiveram 333 HS e a heterose em relação ao melhor pai foi de 185%, superior à observada neste trabalho. Já Solomon, Zeppa e Mulugeta (2012) observaram heterose média para o peso de espigas despalhadas de apenas 61,4%, obtida com dados de avaliação de 45 híbridos simples. Em milho doce tropical, Assunção et al. (2010) observaram heterose para a produção de grãos de 136%, avaliada em 28 híbridos simples.

Até certo ponto, esse fato é esperado, pois a produtividade depende da manifestação de outros caracteres e o efeito da heterose seria acumulativo. Schnell e Cockerham (1992) comentam sobre o efeito multiplicativo dos caracteres na expressão da heterose. Esse fato, provavelmente, ocorre com os componentes primários da produtividade. Assim, o produto da heterose do número de grãos por planta e do peso dos grãos se manifestaria

multiplicativamente na heterose da produção. Do exposto, entre os componentes primários da produtividade de grãos, em termos relativos, o número de grãos foi o que contribuiu com a maior parte da heterose da produção de grãos por planta (Tabelas 10, 11 e 12). Em milhos tropicais, não existem muitas informações a esse respeito. Nos milhos temperados, a maioria dos trabalhos também evidencia que a maior parte da heterose da produtividade de grãos é explicada pela heterose no número de grãos (ECHARTE; TOLLENAAR, 2006; SEVERINI et al., 2011), o que está de acordo com o que foi obtido no presente trabalho.

O inter-relacionamento entre os caracteres foi avaliado por meio da estimativa da correlação. As estimativas entre os pares de caracteres da planta foram maiores entre altura de planta e de espiga, o que é frequentemente relatado na literatura (ANDRADE; MIRANDA FILHO, 2008; FARIAS NETO; MIRANDA FILHO, 2001).

As associações envolvendo a produtividade de grãos, como era esperado, foram menores para os caracteres AP, AE, DC e MS. Vale salientar que o peso do pendão e a produtividade de grãos apresentaram estimativa da correlação, embora não significativa, negativa, ou seja, as plantas com maior produtividade de grãos apresentaram pendões menores.

Isso também foi observado por Geraldi (1977). A seleção no sentido de reduzir o tamanho do pendão nos híbridos de milho tem sido realizada com o objetivo de aumentar a eficiência na produção de grãos por planta, disponibilizando, assim, maior quantidade de nutrientes para a formação dos grãos (DUVICK, 2005; DUVICK; SMITH; COOPER, 2004; MUNARO et al., 2011).

Como era esperado, as maiores estimativas da correlação parcial com a produtividade de grãos ocorreram com o peso de 100 grãos e o número de grãos por planta. Resultados semelhantes são frequentes na literatura. Com milho tropical, Toledo (2010) observou maior associação entre o número de grãos e a

produção ( $r_F=0,9$ ) do que para o peso de 100 grãos e a produtividade ( $r_F=0,73$ ). Severini et al. (2011) observaram a mesma tendência em milho de pipoca.

Diante do exposto, a contribuição do P100 e do NGP para a produtividade de grãos foi semelhante, contudo, em termos da heterose, a participação do NGP foi maior. Como a produtividade de um híbrido simples depende do desempenho das linhagens per se e da heterose (VENCOVSKY, 1987), pode-se inferir que a maior contribuição das linhagens ocorreu para o peso de 100 grãos e a do NGP, para a heterose.

## **6 CONCLUSÕES**

Embora a contribuição seja semelhante para o número de grãos e o peso de 100 grãos na produtividade, em termos da estimativa da heterose, esta foi devido, principalmente, ao número de grãos por planta.

## REFERÊNCIAS

- AGUIAR, A. M. et al. Combining ability of inbred lines of maize and stability of their respective single-crosses. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 60, n. 1, p. 83-89, 2003.
- ANDRADE, J. A. C.; MIRANDA-FILHO, J. B. Quantitative variation in the tropical maize population, ESALQ-PB1. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 65, n. 2, p. 174-182, Mar./Apr. 2008.
- ANDREA, K. E. d'; OTEGUI, M. E.; CIRILO, A. G. Kernel number determination differs among maize hybrids in response to nitrogen. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 105, n. 3, p. 228-229, Feb. 2008.
- ASSUNÇÃO, A. et al. Heterosis performance in industrial and yield components of sweet corn. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, Londrina, v. 10, n. 4, p. 183-190, Nov. 2010.
- BELEZE, J. R. F. et al. Avaliação de cinco híbridos de milho (*Zea mays*, L.) em diferentes estádios de maturação: 1., produtividade, características morfológicas e correlações. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, MG, v. 32, n. 3, p. 529-537, maio/jun. 2003.
- BINDIGANAVILE, S. V. et al. Diallel analysis of grain yield and resistance to seven diseases of 12 African maize (*Zea mays* L.) inbred lines. **Euphytica**, Wageningen, v. 172, n. 2, p. 329-340, July 2010.
- CARDWELL, V. B. Fifty years of Minnesota corn productions: sources of yield increase. **Agronomy Journal**, Madison, v. 74, p. 984-990, 1982.
- CARGNELUTTI FILHO, A.; STORCK, L. Medidas do grau de precisão experimental em ensaios de competição de cultivares de milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 44, n. 2, p. 111-117, fev. 2009.
- CHURATA, B. G. M.; AYALA-OSUNA, J. T. Correlações genotípicas, fenotípica e de ambiente e análise de trilha em caracteres avaliados no composto de milho (*Zea Mays*) arquitetura. **Revista Ceres**, Viçosa, MG, v. 43, n. 249, p. 628-636, 1996.

COIMBRA, R. R. et al. Correlações entre caracteres na população de milho-pipoca DFT-1 Ribeirão. **Revista Ceres**, Viçosa, MG, v. 40, n. 278, p. 8-12, 2001.

CROW, J. F. Dominance and overdominance. In: COORS, J. G.; PANDEY, S. (Ed.). **Genetics and exploitation of heterosis in crops**. Madison: American Society of Agronomy, 1999. p. 49-58.

CRUZ, C. D.; REGAZZI, A. J.; CARNEIRO, P. C. S. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. 3. ed. Viçosa, MG: UFV, 2004. 480 p.

DUVICK, D. N. The contribution of breeding to yield advances in maize (*Zea mays* L.). **Advances in Agronomy**, San Diego, v. 86, n. 1, p. 83-145, Jan. 2005.

DUVICK, D. N.; SMITH, J. S. C.; COOPER, M. Long-term selection in a commercial hybrid maize breeding program. **Plant Breeding Reviews**, Westport, v. 24, n. 2, p. 109-151, Apr. 2004.

ECHARTE, L.; TOLLENAR, M. Kernel set in maize hybrids and their inbred lines exposed to stress. **Crop Science**, v. 46, p. 870-878, Mar./Apr. 2006.

FALCONER, D. S.; MACKAY, T. F. C. **Introduction to quantitative genetics**. 4<sup>th</sup> ed. Essex: Longman, 1996. 480 p.

FARIAS NETO, A. L.; MIRANDA FILHO, J. B. Genetic correlation between traits in the ESALQ-PB1 maize population divergently selected for tassel size and ear height. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 58, n. 1, p. 119-123, Jan./Mar. 2001.

FERREIRA, E. A. et al. Capacidade combinatória de linhagens de milho de germoplasma tropical e temperado e heterose dos híbridos simples. **Revista Biociências**, Taubaté, v. 1, n. 14, p. 32-40, 2008.

FERREIRA, F. M. et al. Genetic components of combining ability in a complete diallel. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, Londrina, v. 4, n. 4, p. 338-343, Aug. 2004.

FLINT-GARCIA, S. A. et al. Heterosis is prevalent for multiple traits in diverse maize germplasm. **PLoS One**, San Francisco, v. 4, n. 10, p. e7433, Oct. 2009.

GERALDI, I. O. Estimação de parâmetros genéticos de caracteres do pendão em milho (*Zea mays*) e perspectivas de melhoramento. **Boletim Científico da Escola Superior Luiz de Queiróz**, Piracicaba, v. 11, p. 63-70, 1977.

GOMES, P. **Curso de estatística experimental**. 15. ed. Piracicaba: FEALQ, 2009. 451 p.

GRIFFING, B. Concept of general and specific combining ability in relation to diallel crossing systems. **Australian Journal of Biological Sciences**, Melbourne, v. 9, p. 463-493, 1956.

HALLAUER, A. R.; CARENA, M. J.; MIRANDA FILHO, J. B. **Quantitative genetics in maize breeding**. 3<sup>rd</sup> ed. Berlin: Springer-Verlag, 2010. v. 1, 500 p.

LENG, E. R. Effects of heterosis on the major components of grain yield in corn. **Agronomy Journal**, Madison, v. 46, n. 9, p. 502-506, 1954.

LOPES, S. J. et al. Relações de causa e efeito em espigas de milho relacionadas aos tipos de híbridos. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 37, n. 6, p. 1536-1542, nov./dez. 2007.

MARTIN, J. M.; HALLAUER, A. R. Relation between heterozygosity and yield for four types of maize inbred lines. **Egyptian Journal of Genetics and Cytology**, Alexandria, v. 5, p. 119-135, 1976.

MUNARO, E. M. et al. Heterosis x environment interaction in maize: what drives heterosis for grain yield? **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 124, n. 3, p. 441-449, May/June 2011.

PATERNIANI, E.; CAMPOS, M. S. Melhoramento de milho. In: BORÉM, A. (Ed.). **Melhoramento de espécies cultivadas**. Viçosa, MG: UFV, 1999. p. 491-552.

RAJCAN, I.; TOLLENAAR, M. Source: sink ratio and leaf senescence in maize: I., dry matter accumulation and partitioning during grain filling. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 60, n. 3, p. 245-253, Feb. 1999.

RAMALHO, M. A. P. et al. **Aplicações da genética quantitativa no melhoramento de plantas autógamas**. Lavras: UFLA, 2012. 522 p.

RAMALHO, M. A. P.; FERREIRA, D. F.; OLIVEIRA, A. C. **Experimentação em genética e melhoramento de plantas**. 3. ed. Lavras: UFLA, 2012. 305 p.

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

SANGOI, L. et al. Desempenho de híbridos de milho com ciclos contrastantes em função da desfolha e da população de plantas. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 58, n. 2, p. 271-276, abr./jun. 2001.

SCHNELL, F. W.; COCKERHAM, C. C. Multiplicative vs. arbitrary gene action in heterosis. **Genetics**, Austin, v. 131, p. 461-469, June 1992.

SCOTT, A.; KNOTT, M. Cluster-analysis method for grouping means in analysis of variance. **Biometrics**, Washington, v. 30, n. 3, p. 507-512, 1974.

SEVERINI, A. D. et al. Kernel number and kernel weight determination in dent and popcorn maize. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 120, n. 3, p. 360-369, Feb. 2011.

SHULL, G. H. Duplicate genes for capsule-form in *Bursa bursa-pastoris*. **Zeitschrift für Induktive Abstammungs-und Vererbungslehre**, New York, v. 12, p. 97-149, 1914.

SOLOMON, K. F.; ZEPPA, A.; MULUGETA, S. D. Combining ability, genetic diversity and heterosis in relation to F<sub>1</sub> performance of tropically adapted shrunken (sh2) sweet corn lines. **Plant Breeding**, Berlin, v. 131, n. 1, p. 430-436, Feb. 2012.

TANG, J. et al. Dissection of the genetic basis of heterosis in an elite maize hybrid by QTL mapping in an immortalized F<sub>2</sub> population. **Theoretical Applied Genetics**, Berlin, v. 120, n. 6, p. 333-340, Nov. 2010.

THIEMANN, A. et al. Correlation between parental transcriptome and Wgd data for the characterization of heterosis in *Zea mays* L. **Theoretical Applied Genetics**, Berlin, v. 120, n. 6, p. 401-413, Nov. 2010.

TOLEDO, F. H. R. B. **Controle genético e inter-relação de um caráter de limiar e outros componentes da espiga do milho**. Lavras: UFLA, 2010. 60 p.

TROYER, A. F. Adaptedness and heterosis in corn and mule hybrids. **Crop Science**, Madison, v. 46, p. 528-543, Mar./Apr. 2006.

TROYER, F.; WELLIN, E. J. Heterosis decreasing in hybrids: yield test inbreds. **Crop Science**, Madison, v. 49, p. 1969-1976, Nov./Dec. 2009.

VENCOVSKY, R. Herança quantitativa. In: PATERNIANI, E.; VIEGAS, G. P. (Ed.). **Melhoramento e produção de milho**. Campinas: Fundação Cargil, 1987. p. 137-209.

VENCOVSKY, R.; BARRIGA, P. **Genética biométrica no fitomelhoramento**. Ribeirão Preto: Sociedade Brasileira de Genética, 1992. 496 p.

## ANEXOS

Tabela 1A Resumo da análise de variância dos caracteres altura de planta (AP), altura de espiga (AE), diâmetro do colmo (DC) e matéria seca do pendão (MS), em experimento conduzido em Ribeirão Vermelho, MG, safra 2011/2012

FV	GL	QM							
		AP		AE		DC		MS	
		G	H	G	H	G	H	G	H
Blocos	3	0,03	0,01	0,003	0,02	2,67	6,8	1,9	0,99
Tratamentos	4	0,2**	0,1**	0,08**	0,04**	4,36	8,53**	21,74**	16,68**
Erro	12	0,006	0,007	0,004	0,005	2,87	1,46	1,85	1,02
Média		1,67	2,38	0,87	1,36	24,54	25,99	23,0	26,78
Acurácia		98,48	96,66	97,79	94,71	58,54	91,05	95,64	96,91

\*, \*\* Teste F significativo a 1% e a 5% de probabilidade, respectivamente

<sup>1</sup>Entre parênteses, o GL dos genitores

Tabela 2A Resumo da análise de variância dos caracteres peso de 100 grãos (P100), número de grãos por planta (NGP) e produção de grãos por planta (PROD), em experimento conduzido em Lavras, MG, safra 2011/2012

FV	GL	QM					
		P100		NGP		PROD	
		G	H	G	H	G	H
Blocos	3	21,47	10,93	3292,63	949,62	196,04	407,84
Tratamentos	4	19,48*	44,74**	1084,07	4206,61**	137,81	2044,66**
Erro	12	5,33	2,62	1588,84	1369,13	107,17	181,29
Média		28,47	31,87	277,62	442,86	78,36	141,76
Acurácia		85,25	97,03	-	82,11	47,08	95,46

\*, \*\* Teste F significativo a 1% e a 5% de probabilidade, respectivamente

<sup>1</sup>Entre parênteses, o GL dos genitores

Tabela 3A Resumo da análise de variância dos caracteres altura de planta (AP), altura de espiga (AE), diâmetro do colmo (DC) e matéria seca do pendão (MS), em experimento conduzido em Lavras, MG, safra 2011/2012

FV	GL	QM							
		AP		AE		DC		MS	
		G	H	G	H	G	H	G	H
Blocos	3	0,02	0,06	0,009	0,01	8,95	1,5	1,08	0,99
Tratamentos	4	0,01**	0,1**	0,05**	0,06**	1,27	5,53	31,7**	11,4**
Erro	12	0,009	0,04	0,006	0,02	3,08	2,35	0,14	0,98
Média		1,39	2,12	0,7	1,23	23,27	26,05	23,64	26,37
Acurácia		95,11	84,05	93,72	84,06	-	75,87	99,77	95,6

\*, \*\* Teste F significativo a 1% e a 5% de probabilidade, respectivamente

<sup>1</sup> Entre parênteses, o GL dos genitores

Tabela 4A Resumo da análise de variância dos caracteres peso de 100 grãos (P100), número de grãos por planta (NGP) e produção de grãos por planta (PROD), em experimento conduzido em Lavras, MG, safra 2011/2012

FV	GL	QM					
		P100		NGP		PROD	
		G	H	G	H	G	H
Blocos	3	42,26	6,39	2291,64	1296,69	553,54	61,72
Tratamentos	4	21,9	109,8**	3359,1	11051,5**	411,2	4046,8**
Erro	12	41,84	9,2	4028,53	1483,46	305,61	357,03
Média		24,7	33,52	269,2	442,85	65,44	149,21
Acurácia		-	95,72	-	93,05	50,92	95,85

\*, \*\* Teste F significativo a 1% e a 5% de probabilidade, respectivamente

<sup>1</sup> Entre parênteses, o GL dos genitores

Tabela 5A Resumo da análise dialélica dos caracteres altura de planta (AP), altura de espiga (AE), diâmetro do colmo (DC) e matéria seca do pendão (MS), experimento conduzido em Ribeirão Vermelho, MG, safra 2011/2012

FV	GL	AP	AE	DC	MS
		QM	QM	QM	QM
Híbridos	9	0,09**	0,04**	6,55**	16,31
CGC	4	0,12**	0,03**	10,82**	29,30
CEC	5	0,06**	0,05**	3,13	5,92
Erro	27	0,007	0,005	1,46	1,02

\*, \*\* Teste F significativo a 1% e a 5% de probabilidade, respectivamente

Tabela 6A Resumo da análise dialélica dos caracteres peso de 100 grãos (P100), número de grãos por planta (NGP) e produção de grãos por planta (PROD), em experimento conduzido em Ribeirão Vermelho, safra 2011/2012

FV	GL	P100	NGP	PROD
		QM	QM	QM
Híbridos	9	43,13**	4102,31**	1904,04**
CGC	4	88,51**	7167,05**	4106,20**
CEC	5	6,83*	1650,52	142,31
Erro	27	2,62	1369,13	181,29

\*, \*\* Teste F significativo a 1% e a 5% de probabilidade, respectivamente

Tabela 7A Resumo da análise dialélica dos caracteres altura de planta (AP), altura de espiga (AE), diâmetro do colmo (DC) e matéria seca do pendão (MS), em experimento conduzido em Lavras, MG, safra 2011/2012

FV	GL	AP	AE	DC	MS
		QM	QM	QM	QM
Híbridos	9	0,12**	0,06**	6,55**	3,94**
CGC	4	0,14**	0,05*	10,82**	5,25**
CEC	5	0,11*	0,06**	3,13	2,89**
Erro	27	0,04	0,02	1,46	0,31

\*, \*\* Teste F significativo a 1% e a 5% de probabilidade, respectivamente

Tabela 8A Resumo da análise dialélica dos caracteres peso de 100 grãos (P100), número de grãos por planta (NGP) e produção de grãos por planta (PROD), em experimento conduzido em Lavras, MG, safra 2011/2012

FV	GL	P100	NGP	PROD
		QM	QM	QM
Híbridos	9	109,78**	11051,53**	4046,80**
CGC	4	203,06**	18791,08**	7110,33**
CEC	5	35,16**	4859,9*	1595,98**
Erro	27	9,2	1483,46	357,03

\*, \*\* Teste F significativo a 1% e a 5% de probabilidade, respectivamente

Tabela 9A Estimativas da capacidade geral de combinação ( $g$ ) e capacidade específica de combinação ( $s_{ij}$ ), da altura de planta (AP), altura de espiga (AE), diâmetro do colmo (DC) e matéria seca do pendão (MS) da média dos dois locais, safra 2011/2012

	AP	AE	DC	MS
CGC	Médio	Médio	Médio	Médio
1	-0,05	-0,03	-0,36	-0,82
2	0,05	0,02	-0,65	1,77
3	0,02	0,008	0,68	1,02
4	-0,06	-0,03	-0,4	-0,28
5	0,04	0,03	0,73	-1,69
CEC	Médio	Médio	Médio	Médio
1 x 2	-0,11	0,04	0,43	0,29
1 x 3	0,04	0,06	-0,80	-0,6
1 x 4	-0,04	-0,07	-0,80	-1,16
1 x 5	0,03	-0,11	-0,55	-0,5
2 x 3	0,06	-0,02	1,10	0,85
2 x 4	-0,17	0,001	0,55	-0,06
2 x 5	-0,02	-0,02	0,25	0,25
3 x 4	0,08	0,05	-0,43	0,27
3 x 5	0,07	0,05	0,13	0,62
4 x 5	0,07	0,03	0,13	0,03

Tabela 10A Estimativas da capacidade geral de combinação ( $g$ ) e capacidade específica de combinação ( $s_{ij}$ ), do peso de 100 grãos (P100), número de grãos por planta (NGP) e produção de grãos por planta (PROD), da média dos dois locais, safra 2011/2012

	P100	NGP	PROD
CGC	Médio	Médio	Médio
1	-3,98	-33,54	-27,54
2	-0,09	37,42	10,97
3	0,18	-28,78	-8,61
4	5,33	17,54	29,05
5	-1,44	7,36	-3,87
CEC	Médio	Médio	Médio
1 x 2	1,76	-0,68	6,39
1 x 3	0,37	-25,38	-5,4
1 x 4	0,81	27,01	11,40
1 x 5	-2,93	-0,95	-12,39
2 x 3	-0,88	23,67	4,31
2 x 4	-1,5	-29,03	-14,56
2 x 5	0,62	6,04	3,86
3 x 4	-0,55	4,41	-2,14
3 x 5	1,07	-2,7	3,23
4 x 5	1,25	-2,39	5,30

Tabela 11A Coeficientes de correlação simples, acima da diagonal, e coeficientes de correlação parcial, abaixo da diagonal, entre os sete caracteres dos dez híbridos, experimento conduzido em Ribeirão Vermelho, MG, safra 2011/2012

	PROD	P100	NGP	AP	AE	DC	MS
PROD	1	0,94**	0,86**	0,7*	0,52*	0,38	0,17
P100	0,99**	1	0,64*	0,54*	0,34	0,34	-0,07
NGP	0,99**	-0,99**	1	0,80**	0,70**	0,40	0,53*
AP	-0,33	0,34	0,34	1	0,89**	0,59*	0,31
AE	-0,38	0,37	0,39	0,59*	1	0,37	0,30
DC	-0,76**	0,76**	0,75**	0,12	-0,54*	1	0,19
MS	-0,92**	0,92**	0,94**	-0,32	-0,41	-0,67**	1

Tabela 12A Coeficientes de correlação simples, acima da diagonal e coeficientes de correlação parcial, abaixo da diagonal, entre os sete caracteres dos dez híbridos, experimento conduzido em Lavras, MG, safra 2011/2012

	PROD	P100	NGP	AP	AE	DC	MS
PROD	1	0,86**	0,74**	-0,41	-0,26	-0,60**	0,16
P100	0,99**	1	0,31	-0,26	-0,12	-0,47	-0,03
NGP	0,99**	-0,99**	1	-0,41	-0,33	-0,50*	0,36
AP	-0,82**	0,82**	0,83**	1	0,93**	0,74**	-0,37
AE	0,83**	-0,81**	-0,83**	0,97**	1	0,61**	-0,22
DC	0,35	-0,36	-0,38	0,59*	-0,46	1	-0,11
MS	-0,64**	0,63**	0,66**	-0,79**	0,74**	0,53*	1