

**SELEÇÃO GAMÉTICA POR MEIO DA  
POSIÇÃO DE SEMENTE NA ESPIGA DE  
MILHO**

**EDUARDO AUGUSTO BIGNOTTO**

2002

**EDUARDO AUGUSTO BIGNOTTO**

**SELEÇÃO GAMÉTICA POR MEIO DA POSIÇÃO DE SEMENTE  
NA ESPIGA DE MILHO**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras como parte das exigências do programa de pós-graduação em Agronomia, área de concentração Genética e Melhoramento de Plantas, para a obtenção do título de Mestre.

Orientador

Dr. Magno Antonio Patto Ramalho

LAVRAS

MINAS GERAIS - BRASIL

2002

**Ficha Catalográfica Preparada pela Divisão de Processos Técnicos da  
Biblioteca Central da UFLA**

Bignotto, Eduardo Augusto

Seleção gamética por meio da posição de semente na espiga de milho / Eduardo Augusto Bignotto. -- Lavras : UFLA, 2002.

58 p. : il.

Orientador: Magno Antônio Patto Ramalho.

Dissertação (Mestrado) – UFLA.

Bibliografia.

1. Milho. 2. Seleção gamética. 3. Produtividade. 4. Melhoramento genético. I. Universidade Federal de Lavras. II. Título.

CDD-633.153

**EDUARDO AUGUSTO BIGNOTTO**

**SELEÇÃO GAMÉTICA POR MEIO DA POSIÇÃO DE SEMENTE  
NA ESPIGA DE MILHO**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do programa de pós-graduação em Agronomia, área de concentração Genética e Melhoramento de Plantas, para a obtenção do título de Mestre.

**APROVADA em 02 de Agosto de 2002**

**Profa. Dra. Édila Vilela de Resende Von Pinho  
Dr. José Carlos Cruz**

**UFLA  
EMBRAPA**

  
**Prof. Dr. Magno Antonio Patto Ramalho  
Universidade Federal de Lavras  
(Orientador)**

**LAVRAS  
MINAS GERAIS - BRASIL**

**Este trabalho é dedicado aos meus pais,**

**Djalma Augusto Bignotto e**

**Maria de Lourdes F. Bignotto.**

**E às minhas irmãs,**

**Silvana e Leticia.**

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus.

Aos meus pais, irmãs, tios e tias, por toda a ajuda e apoio em todos esses anos.

À Universidade Federal de Lavras, pela oportunidade concedida.

Ao professor e orientador Magno Antonio Patto Ramalho, pelo incentivo, apoio, amizade, dedicação, paciência e pelos grandes ensinamentos transmitidos durante toda minha vida acadêmica.

Aos membros da banca, Dr. José Carlos Cruz e Professora Dra Édila Vilela de Resende Von Pinho, pelas valiosas sugestões para enriquecimento deste trabalho.

Ao professor Ernesto Patemiani, da Escola Superior de Agricultura Luis de Queiroz, pelo estímulo na condução deste trabalho.

Aos pesquisadores Oswaldo Marques Junior, Pedro Hélio Estevan Ribeiro e Ângela de Fátima Barbosa Abreu, pela amizade, consideração e incentivo desde a época da iniciação científica.

Aos professores César Augusto Brasil Pereira Pinto, João Bosco dos Santos, João Cândido de Souza, Elaine Aparecida de Souza, Lisete Chamma Davide e Renzo Garcia Von Pinho pelos ensinamentos transmitidos durante o curso.

À minha noiva Danielle, pelo incentivo e ajuda nos momentos difíceis durante a vida acadêmica.

À Jim e Toshiko Bell pelo apoio e incentivo mesmo que à distância.

Aos amigos Dyeme, Geovani e Glauco, pelo companheirismo e auxílio nos trabalhos de campo. Aos companheiros do curso Rogério, Lourenço, Marcelo, Helton, Nara, Odair, Francislei, José Eustáquio, Alex, Vanderlei,

Isabella, Maira, Janaina, Déa, Fausto, Flávia, Adriano, Fábio, João Luis, Luciano, Max, André, Juliane e Pedro, pela amizade e auxílio durante a realização deste trabalho.

Aos companheiros de república Mad, Palito, João, Tibério e Novo pela amizade e incentivo durante a graduação e iniciação científica.

Ao “Seu” Chico, Léo, Elaine e demais funcionários do Departamento de Biologia.

## SUMÁRIO

|   | <b>Página</b> |
|---|---------------|
| RESUMO.....   | i             |
| ABSTRACT.....   | iii           |
| 1 INTRODUÇÃO.....   | 1             |
| 2 REFERENCIAL TEÓRICO.....                                    | 3             |
| 2.1 Biologia reprodutiva.....                                 | 3             |
| 2.1.1 Inflorescência masculina.....                           | 3             |
| 2.1.2 Inflorescência feminina.....                            | 10            |
| 2.1.3 Polinização e fertilização.....                         | 13            |
| 2.2 Seleção gamética.....                                     | 16            |
| 3 MATERIAL E MÉTODOS.....                                     | 21            |
| 3.1 Material genético.....                                    | 21            |
| 3.2 Local.....  | 21            |
| 3.3 Metodologia.....  | 22            |
| 3.3.1 Obtenção das populações dos cinco ciclos seletivos..... | 22            |
| 3.3.2 Avaliação dos cinco ciclos seletivos.....               | 23            |
| 3.4 Análise dos dados.....                                    | 25            |
| 4 RESULTADOS.....   | 29            |
| 5 DISCUSSÃO.....  | 38            |
| 6 CONCLUSÃO.....  | 41            |
| REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....                               | 42            |
| ANEXOS.....   | 47            |

## RESUMO

BIGNOTTO, Eduardo Augusto. Seleção gamética por meio da posição de semente na espiga de milho. 2002. 58p. Dissertação (Mestrado em Genética e Melhoramento de Plantas) – Universidade Federal de Lavras, Lavras.\*

Entre as diversas alternativas de seleção possíveis na cultura do milho, a utilização de grãos de pólen, seleção gamética, se destaca em função da possibilidade de manusear milhões de gametas em pequeno espaço e pela grande parte dos genes que se expressam nessa fase. É provável que as sementes situadas na base da espiga possuam melhor constituição genética, pois são polinizadas por gametas mais vigorosos. Isto ocorre pelo fato de que o comprimento do estilo-estigma dos sacos embrionários da base ser maior em comparação aos situados na ponta da espiga e que cada inflorescência recebe milhares de grãos de pólen que certamente competem entre si, pois apenas um pequeno número tem sucesso na fertilização. Assim, se forem selecionados os grãos da base da espiga, indiretamente estão sendo selecionados os pólenes mais vigorosos. Para testar essa hipótese foi conduzido o presente trabalho cujo objetivo foi verificar se a posição da semente na espiga afeta diferentemente a produtividade e outros caracteres da planta e se essa diferença pode ser ampliada por meio dos ciclos seletivos. Para isto, na safra 1995/1996 foram semeadas em lote isolado cerca de 3.000 plantas da população CMS-39 e, por ocasião da colheita, tomadas 300 espigas ao acaso. De cada espiga, foram coletadas sementes das extremidades e, posteriormente, as sementes da ponta de cada espiga foram misturadas e o mesmo foi realizado com as sementes da base. Essas sementes deram origem assim às subpopulações ponta e base do primeiro ciclo de seleção. Parte foi armazenada em câmara fria e parte foi utilizada para semeadura visando à obtenção do segundo ciclo seletivo, em dois lotes isolados. No referente à subpopulação da ponta, só foram coletadas sementes da extremidade superior e o mesmo procedimento foi utilizado para a subpopulação da base, exceto que as sementes foram coletadas na extremidade inferior. Esse procedimento foi repetido de modo análogo por cinco ciclos seletivos. Na safra 1999/2000, utilizando sementes armazenadas em câmara fria, as 10 subpopulações, cinco da ponta e cinco da base, foram recombinadas manualmente, para se obter sementes de mesma idade para serem utilizadas na avaliação dos ciclos seletivos em experimentos conduzidos nas safras 2000/2001 e 2001/2002. O delineamento utilizado foi o de blocos casualizados com seis

---

\* Comitê de Orientação: Magno Antonio Patto Ramalho – UFLA (Orientador), João Cândido de Souza – UFLA (Co-orientador).

repetições, segundo esquema de parcelas subdivididas. Os tratamentos nas parcelas foram os cinco ciclos seletivos e nas subparcelas a origem das sementes, ponta ou base. Foram considerados os caracteres número de dias para o florescimento masculino e feminino, altura de espiga e produtividade de grãos. Constatou-se que a origem da semente da ponta ou da base não alterou a expressão de vários caracteres avaliados e não foi possível, com a precisão experimental obtida, detectar efeito da seleção indireta para o vigor de pólen pela posição dos grãos na espiga, em todos os caracteres considerados.

## ABSTRACT

**BIGNOTTO, Eduardo Augusto. Gametic selection through the position of seeds on the maize ear. 2002. 58p. Dissertation (Master in Genetics and Plant Breeding) – Universidade Federal de Lavras, Lavras.\***

Among the several selection alternatives useful for the maize plant, the one using pollen grains, gametic selection, has functional advantages because it makes it possible to evaluate millions of gametes in a small space and also because part of the genes are expressed in this phase. It is probable that seeds placed at the base of the ear will have a better genetic constitution, because they are pollinated by more vigorous gametes. Since the length of the silk from the embryo sacs at the base is longer in comparison to those placed in the apex of the ear, each inflorescence receives thousands of pollen grains that certainly compete with each other. Only a small number is successfully fertilized. If the kernels from the base of the ear are selected, the most vigorous pollens are indirectly being selected. To test this hypothesis, the objective of the present work was to verify if both the position of the kernel in the ear affected the grain yield and other traits of the plant differently and if that difference could be enlarged among the selective cycles. For this, in 1995/1996, 3000 plants of the CMS-39 population were sowed in isolation and 300 ears were selected randomly. From each ear, kernels were collected from within approximately three centimeters of the extremities. The ones from the apex were mixed and the same was done with those from the base. Those kernels were the sub-populations, apex and base, of the first selection cycle. Part was stored in cold storage and part was used for sowing to obtain the second selective cycle, in two isolated lots. In regard to the sub-population of the apex, kernels from only the superior extremity were collected. The same procedure was used for the sub-population of the base, except that the kernels were collected in the inferior extremity. This procedure was repeated in five selective cycles in a similar way. In 1999/2000, using kernels stored in cold storage, the 10 sub-populations, five from the apex and five from the base, were mated manually, in order to have kernels of same age for use in the evaluation of the selective cycles in trials done in 2000/2001 and 2001/2002. The experimental design used randomized blocks with six replications in a split-plot scheme. The plots constituted the five selective cycles and the sub-plots the origin of the kernels, apex or base. The traits evaluated were the number of days for male and female flowering, ear

---

\* Guidance Committee: Magno Antonio Patto Ramalho - UFLA (Major Professor), - UFLA, João Cândido de Souza - UFLA.

height and grain yield. It was verified that the origin of the kernels from apex or base did not alter the expression of the evaluated traits. It was not possible, from the experimental precision obtained, to detect, from among all the considered traits, the effect of the indirect selection on the pollen vigor based on the position of the kernels in the ear.

## 1 INTRODUÇÃO

A planta de milho apresenta características anatômicas e morfológicas que possibilitam a aplicação de inúmeras alternativas de processos seletivos. Em função desse fato, os melhoristas, ao longo do tempo, têm utilizado a capacidade criativa para desenvolver inúmeros métodos, utilizando como unidade seletiva indivíduos e/ou famílias (Paterniani & Campos, 1999; Souza Junior, 2001). Na literatura são encontrados muitos resultados de sucesso com esses diferentes métodos aplicados por algumas gerações (Coors, 1999). Contudo, novas alternativas devem ser pesquisadas, procurando associar facilidade de condução do processo e ganhos genéticos expressivos.

Uma das opções que ainda têm sido relativamente pouco exploradas é utilizar, como unidade seletiva, os grãos de pólen. Isto porque há indícios de que grande parte dos genes se expressa na fase haplóide (Otaviano et al., 1982; Landi et al., 1989; Frascaroli et al., 1994) e há a possibilidade de manusear milhões de indivíduos (gametas) por geração, ocupando o mínimo espaço. Essa estratégia já foi utilizada algumas vezes com relativo sucesso na seleção para tolerância a patógenos (Shivanna & Sawhney, 1993; Darakov, 1995; Hodgkin, 1990) e herbicidas (Sari-Gorla et al., 1989; Sari-Gorla et al., 1994; Frascaroli et al., 1995).

Uma outra opção de fácil condução do processo seletivo utilizando indiretamente os grãos de pólen seria por meio da posição das sementes na espiga. A inflorescência feminina do milho (boneca) apresenta estilos-estigmas de diferentes comprimentos, os mais curtos situados na ponta e os mais longos na base. Sabe-se também que, em média, uma inflorescência é polinizada por algumas centenas de milhares de grãos de pólen e há evidentemente uma forte competição entre eles, pois apenas uma minoria tem sucesso na fertilização. É esperado, assim, que os grãos de pólen mais vigorosos sejam aqueles que

fecundam as oosferas da base da inflorescência. Alguns estudos já foram conduzidos visando à comprovação desse fato (Ottaviano et al., 1980; Ottaviano, et al., 1982; Landi & Frascaroli, 1986; Ottaviano et al., 1988; Landi et al., 1989). É esperado, assim, que os gametas, para vencerem a competição, devem possuir alelos mais favoráveis que, indiretamente, teriam reflexos no desempenho de sua descendência.

Infelizmente, são escassos os trabalhos que mostraram a eficiência da seleção indireta utilizando os grãos de pólen, na produtividade e outros caracteres de importância agrônômica. Também são restritas as informações se a diferença no desempenho da planta depende da origem da semente, da ponta ou base da espiga. Dessa forma, foi realizado o presente trabalho para verificar se a origem da semente afeta diferentemente a produtividade e outros caracteres da planta e se essa diferença pode ser ampliada por meio dos ciclos seletivos.

## **2 REFERENCIAL TEÓRICO**

### **2.1 Biologia reprodutiva**

A estrutura e biologia reprodutiva do milho vêm sendo estudadas de longa data. Um dos trabalhos mais detalhados sobre o assunto, cuja primeira edição foi publicada em 1949 e reeditada em 1980 e 1999, foi realizado por Kiesselbach (Luna et al., 2001). Revisões detalhadas também foram apresentadas por outros autores (Brieger & Blumenschein, 1966; Goodman & Smith, 1987; Viana et al., 1999).

#### **2.1.1 Inflorescência masculina**

A inflorescência masculina (pendão) está localizada na parte terminal do colmo e consiste de um eixo central geralmente com ramificações laterais secundárias e terciárias (Figura 1). Este tipo de inflorescência comum entre as gramíneas, é denominado de panícula. Nas ramificações estão situadas as espiguetas que são dispostas aos pares, sendo uma séssil e outra pedicelada. Ao longo das ramificações, os pares de espiguetas são arranjados alternadamente (Figura 2).

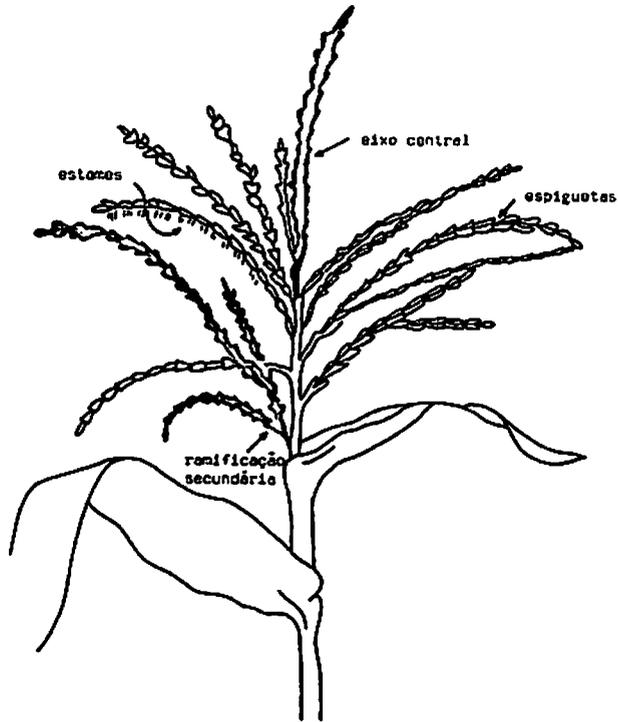


FIGURA 1, Inflorescência masculina ou pendão (Goodman e Smith, 1987).



FIGURA 2, Ramo do pendão com espiguotas dispostas aos pares (Adaptado de Goodman e Smith, 1987).

As espiguetas (Figura 3) possuem duas glumas, uma superior, ou interna e outra inferior, ou externa, que são brácteas protetoras. Internamente estão as flores, que consistem de uma lema e pálea (brácteas florais) envolvendo três estames, duas lodículas e um pistilo abortado. Um estame em cada flor é fixado na parte mediana da lema, com uma lodícula de cada lado, enquanto que os outros dois estames são fixados próximos da extremidade da pálea.

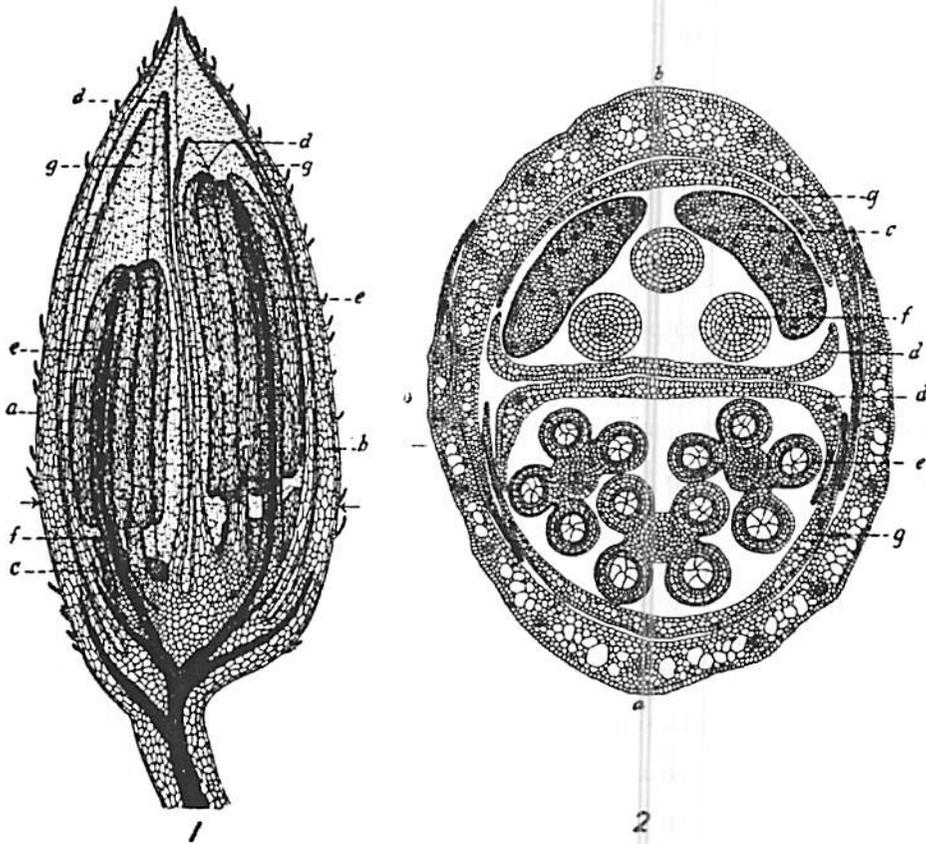


FIGURA 3, Espiguetta masculina e seus tecidos.

a) gluma externa; b) gluma interna; c) lodículas; d) páleas; e) anteras; f) filamento do estame; g) lema (Kiesselbach, 1980).

Os tecidos que irão originar o pendão iniciam sua diferenciação poucos dias após a emergência, cerca de 14 dias. No começo da diferenciação aparecem, ao longo das ramificações, saliências que formam lóbulos dispostos aos pares. Esses lóbulos posteriormente darão origem às espiguetas com duas flores. As flores, como já mencionado, são protegidas por duas glumas que se formam de modo idêntico às folhas. A lema se origina ao lado das glumas e, posteriormente, a pálea é formada do lado oposto à lema de cada flor. No ponto de crescimento de cada flor originam três estames, duas lodículas e o pistilo (Kiesselbach, 1980; Goodman & Smith, 1987; Viana et al., 1999).

O estame que originará o grão de pólen diferencia-se a partir de um lóbulo no ponto de crescimento central da flor. A sua extremidade superior originará a antera e a inferior o filamento. Nas anteras, a meiose irá ocorrer em um grupo de células originadas por mitose e que se denominam de microsporócitos. Cada microsporócito, após a segunda divisão meiótica, dá origem a quatro micrósporos, os quais, após diferenciação, produzem o que se denomina de grão de pólen. O florescimento varia conforme a cultivar, ocorrendo cultivares que iniciam com aproximadamente 40 dias após a emergência. No entanto, podendo ocorrer após mais de 300 dias (Goodman & Smith, 1987).

Nesse momento as anteras abrem-se próximas a extremidades, formando poros por meio dos quais os grãos de pólen são liberados (Figura 4). O grão de pólen permanece uninucleado até pouco tempo antes de sua liberação. Nesse momento, o citoplasma se torna bastante denso com muitos grânulos de amido, tornando-se difícil a visualização dos núcleos. O núcleo do grão de pólen sofre uma endomitose formando o núcleo vegetativo e o núcleo generativo. Este último se divide novamente em outros dois núcleos generativos ou reprodutivos.

Assim, o grão de pólen será constituído por três núcleos, dois generativos e um vegetativo (Ramalho et al., 2001).



FIGURA 4. Espiguetta masculina durante a antese (Kiesselbach, 1980). a) gluma externa; b) gluma interna; c) lema; d) e e) pálea; f) antera; g) antera.

Por ocasião da antese, os grãos de pólen contêm aproximadamente 60% de água. O milho é uma das espécies em que o grão de pólen possui mais água entre as angiospermas, contudo, é geralmente considerado não tolerante à dessecação, pelo fato da perda de água reduzir drasticamente sua viabilidade (Hoekstra, 1986). Os grãos de pólen têm forma aproximadamente esférica com parede espessa, exceto na região do poro germinativo de onde o tubo polínico emergirá durante sua germinação. O diâmetro de pólen varia de 73,4 a 92,6  $\mu\text{m}$  (Styles & Singla 1987). De acordo com Walden (1967), o pólen pode permanecer viável por mais de 10 dias se armazenado a uma temperatura de 2° C. No entanto, em temperaturas negativas a viabilidade pode ser prolongada por muitos meses ou até mesmo anos (Lyakh & Soroka, 1992). Contudo, sob

condições de campo, a sua viabilidade é de apenas poucas horas (Luna et al., 2001).

Cada uma das anteras, quando madura, contém em seu interior sacos polínicos onde estão os grãos de pólen, estimando-se ser da ordem de 2500 por antera. Pouco pólen é liberado até que as anteras sejam movimentadas pelo vento, ou seja, no geral, o pólen é retido até que haja vento suficiente para transportá-lo para outras plantas. Essa tendência assegura uma alta porcentagem de polinização cruzada sob condições de campo. Em cada pendão, geralmente é liberada parte do pólen produzido antes que o estilo-estigma da mesma planta esteja exposto e receptível na espiga. No entanto, o pendão normalmente continua a liberação por alguns dias depois que os estilos-estigmas estejam prontos para a polinização.

Um pendão inicia a liberação de pólen no eixo principal de cima para baixo. As ramificações começam a liberação logo após o eixo principal e esse processo pode durar mais de uma semana. Considerando cada espiguetta, a flor superior inicia a liberação de pólen aproximadamente um a três dias antes da inferior. A deiscência e dispersão do pólen usualmente ocorrem dois a três dias antes da emergência dos estilos-estigmas. A liberação do pólen pode começar desde o nascer do sol até o meio-dia, dependendo da temperatura e umidade e usualmente se completa com 4 a 5 horas (Goodman & Smith, 1987).

Teoricamente um grão de pólen pode percorrer uma distância de até 32 km se o vento for constante com trajetória retilínea. Contudo, por meio de pesquisas, tem-se observado que o pólen viável é detectado apenas a uma distância de 200 metros a partir da planta que lhe originou (Luna et al., 2001).

O número de grãos de pólen produzido por planta é bem superior às suas necessidades de polinização. Kiesselbach (1980) comentou que na cultivar Nebraska White Prize, são produzidos 25 milhões de grãos de pólen por pendão. Considerando que uma planta produza 1.000 sementes, o que é um número

acima da média, têm-se 25.000 grãos de pólen por semente. Pode-se inferir também qual a quantidade de pólen produzida por metro quadrado. Adotando-se uma população de 50 mil plantas por hectare, a área ocupada por planta seria de 0,2 m<sup>2</sup>, ou seja, 2.000 cm<sup>2</sup>. Utilizando novamente a estimativa de que a planta produz 25 milhões de grãos de pólen, pode-se inferir que são produzidos 12.500 grãos de pólen por cm<sup>2</sup>. Considerando também que a área ocupada pelos estilos-estigmas de uma espiga seja de 25,8 cm<sup>2</sup>, pode-se deduzir que são depositados 322.500 grãos de pólen em cada inflorescência feminina. Se a espiga mencionada anteriormente produzir 1.000 sementes, pode-se observar que em cada estilo-estigma deverão cair 323 grãos de pólen. Como o pendão pode liberar pólen por até 13 dias, então é possível inferir que em cada estilo-estigma são depositados aproximadamente 25 grãos de pólen por dia. É importante enfatizar que nos milhos tropicais o pendão é bem maior que os milhos de condições temperadas. Esse fato permite inferir que, nas cultivares brasileiras, o número de grãos de pólen produzido por grão fertilizado deva ser ainda maior.

Resta comentar que somente aqueles grãos de pólen que são interceptados pelos estilos-estigmas frescos podem germinar. Geralmente, muitos grãos de pólen germinam no mesmo cabelo, mas somente um irá atingir a micrópila do óvulo para produzir o grão. É possível inferir que há uma grande competição entre os grãos de pólen que atingem o mesmo estilo-estigma.

Deve ser salientado também que o pendão diferencia-se primeiro que a espiga e, portanto, exerce competição em metabólitos com reflexo na produção. Por esse motivo, uma das ênfases nos programas de melhoramento de milho tem sido a redução do tamanho do pendão, principalmente no caso das populações tropicais (Gerald, 1977).

### 2.1.2 Inflorescência feminina

A inflorescência feminina (espiga) se origina a partir dos nós no colmo como se fossem ramos laterais. A espiga é constituída das palhas, do sabugo e das espiguetas propriamente ditas (Figura 5). As palhas são bainhas das folhas originadas de cada nó, superpostas e envolvem a espiga. Ao longo e em torno do sabugo estão situadas as espiguetas dispostas aos pares, formando um espiral em torno do sabugo, seguindo certo alinhamento em fileiras longitudinais. Tal alinhamento dos pares de espiguetas é responsável pelo número par de fileiras de grãos na espiga. As espiguetas são parcialmente envolvidas pelas glumas e compreendem internamente uma flor envolvida parcialmente pela lema e pálea. Em cada flor, existe um pistilo com ovário basal único e estilo longo. Quando todas as folhas já estão formadas, o ponto de crescimento do ramo se alonga para formar a espiga. Isto ocorre geralmente após a diferenciação do pendão.

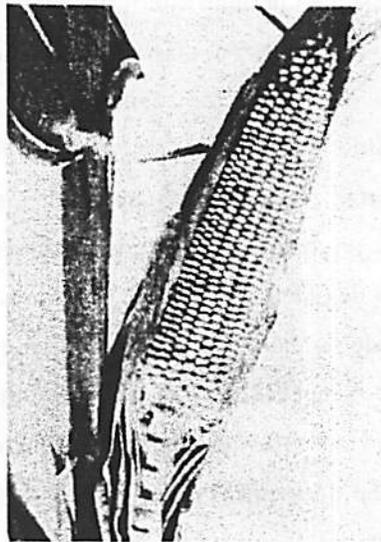


FIGURA 5. Inflorescência feminina ou espiga (Kiesselbach, 1980).

No início do desenvolvimento da espiga, o sabugo apresenta superfície bastante lisa onde posteriormente se formam saliências em fileiras. As saliências basais são formadas primeiro e o desenvolvimento avança até a ponta da espiga. Cada uma forma dois lóbulos e cada lóbulo desenvolve na espiguetta com duas flores, mas, geralmente, somente a flor superior persiste.

O ponto de crescimento da flor de cada espiguetta, após ter dado origem ao primórdio de outros órgãos, é diferenciado para formar o pistilo funcional. Uma saliência semelhante a um anel na base do ponto de crescimento representa os três carpelos fundidos como se encontra em muitas monocotiledôneas. A parte superior da ligação dos carpelos se desenvolve em um único óvulo séssil que consiste na nucela com dois integumentos ou cobertura rudimentar da semente.

O crescimento da nucela e integumentos é mais rápido na parte superior do óvulo. O integumento mais interno cresce até formar uma fina membrana que cobre a nucela completamente, exceto em uma pequena abertura, a micrópila, justamente sobre o saco embrionário maduro.

Na flor existe uma fileira de células, sendo que uma é maior que as demais. Esta célula pela diferenciação originará o megasporócito. Após a meiose II, são formadas quatro células, em que três degeneram uma se desenvolve e irá formar o que se denomina de saco embrionário.

O núcleo do megásporo sofre uma endomitose e um vacúolo se forma entre os dois núcleos que se posicionam nas extremidades opostas da célula. Os dois núcleos sofrem mais duas endomitoses formando um grupo de quatro núcleos em cada extremidade do saco embrionário. Um núcleo de cada grupo se move para o centro do saco embrionário. Eles permanecem próximos uns dos outros um pouco acima da oosfera, mas não se fundem até a fertilização. Os oito núcleos produzidos recebem denominação especial. Três são as antípodas; os dois que estão situados no centro do saco embrionário são os núcleos polares.

Na parte superior, próxima à micrópila, o núcleo situado no centro é a oosfera e os dois as sinérgides. O esquema apresentado na Figura 6 ilustra a estrutura de um saco embrionário.

Cada flor feminina possui um ovário unilocular, do qual se desenvolve um estilo-estigma (cabelo) que pode chegar a 45 cm de comprimento, permitindo a sua exposição através das palhas (Goodman & Smith, 1987). O crescimento dos estilos-estigmas numa espiga segue uma determinada seqüência. Considerando que a espiga seja dividida longitudinalmente em quatro partes, os estilos-estigmas que aparecem primeiro são aqueles desenvolvidos no segundo quarto a partir da base da espiga. Posteriormente, aparecem aqueles do terceiro quarto e simultaneamente os estilos-estigmas do quarto basal e do ápice da espiga (Brieger & Blumenschein, 1966). Os estilos-estigmas provenientes dos óvulos da base da espiga possuem maior comprimento que aqueles provenientes da região apical da espiga.

A superfície do cabelo é coberta com numerosos pêlos que se desenvolvem a partir de células da epiderme. Os pêlos são mais numerosos na região da ponta do cabelo. Servem tanto como armadilha para os grãos de pólen, quanto para a entrada do tubo polínico (Styles & Singla, 1987). A base do estilo-estigma é a zona de crescimento onde novas células se desenvolvem causando uma contínua alongação do cabelo até que seja polinizada e ocorra a fertilização.

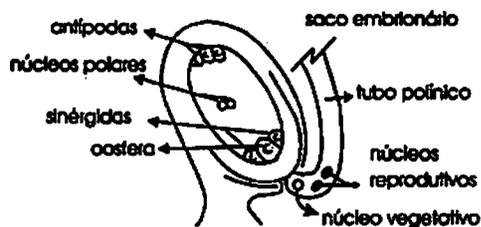


FIGURA 6. Esquema do saco embrionário (Ramalho et al., 2001).

Os estilos-estigmas emergem por cerca de 3 a 5 dias e são receptivos imediatamente após a emergência, assim permanecendo por até 14 dias em condições favoráveis (Goodman & Smith, 1987).

### **2.1.3 Polinização e fertilização**

Após a liberação dos grãos de pólen, a germinação ocorre rapidamente quando em contato com os pêlos viscosos do estilo-estigma. O tempo necessário desde a polinização até a fertilização depende da temperatura, umidade e constituição genética da planta (Goodman & Smith, 1987). Há estimativas de que o pólen pode germinar dentro de 5 minutos após o contato com o cabelo e a fertilização irá ocorrer de 12 a 36 horas após a polinização, apresentando crescimento do tubo polínico no estilo-estigma de aproximadamente 12 mm por hora (Chang & Neuffer, 1992).

A germinação do grão de pólen consiste na emissão do tubo polínico. Numa das extremidades fica uma massa viscosa, ou citoplasma, com três núcleos. Um desses, chamado vegetativo, é responsável pelo funcionamento dessa ponta apical. Os outros dois núcleos são os generativos, que somente entram em ação no processo de fertilização (Chang & Neuffer, 1992).

Muitos grãos de pólen caem e germinam em um mesmo cabelo e competem entre si para atingir a fertilização. Os tubos polínicos penetram entre as células dos pêlos e quando atingem o interior do estilo-estigma, os acompanham as células da bainha que circundam o tecido vascular para a base do cabelo (Figura 7.4). Neste ponto, o tecido de condução deixa o estilo-estigma e passa para a cavidade do ovário.

Os tubos polínicos germinam e crescem inicialmente com base nas substâncias de reserva contidas no próprio grão de pólen, ficando depois dependente, para a sua própria nutrição, do tecido do estilo-estigma, no qual eles se desenvolvem. A direção do seu crescimento é orientada por um mecanismo

quimiotrópico e, especialmente quando ele passa do estilo-estigma para a cavidade do ovário, são substâncias produzidas por células de cada ovário que atraem o tubo polínico para o óvulo. Existem diferenças da taxa de crescimento desses tubos durante todo o seu percurso, as quais são controladas por genes denominados genes gametofíticos (Brieger & Blumenschein, 1966).

Quando a ponta do tubo atinge a micrópila, se desenvolve entre as células do tecido nucelar até atingir o saco embrionário. Na entrada do saco embrionário a extremidade se rompe, liberando os dois núcleos generativos. Um dos dois núcleos se funde com a oosfera formando o zigoto, enquanto que outro núcleo se funde com os dois núcleos polares estabelecendo o núcleo primário do endosperma, com 30 cromossomos. Essa dupla fertilização explica como caracteres do genitor masculino pode ser expresso no endosperma, assim como no embrião ou nova planta que se originará. A formação detalhada do embrião e do endosperma pode ser encontrada em Mercer (2001) e Lopes & Larkins (1993).

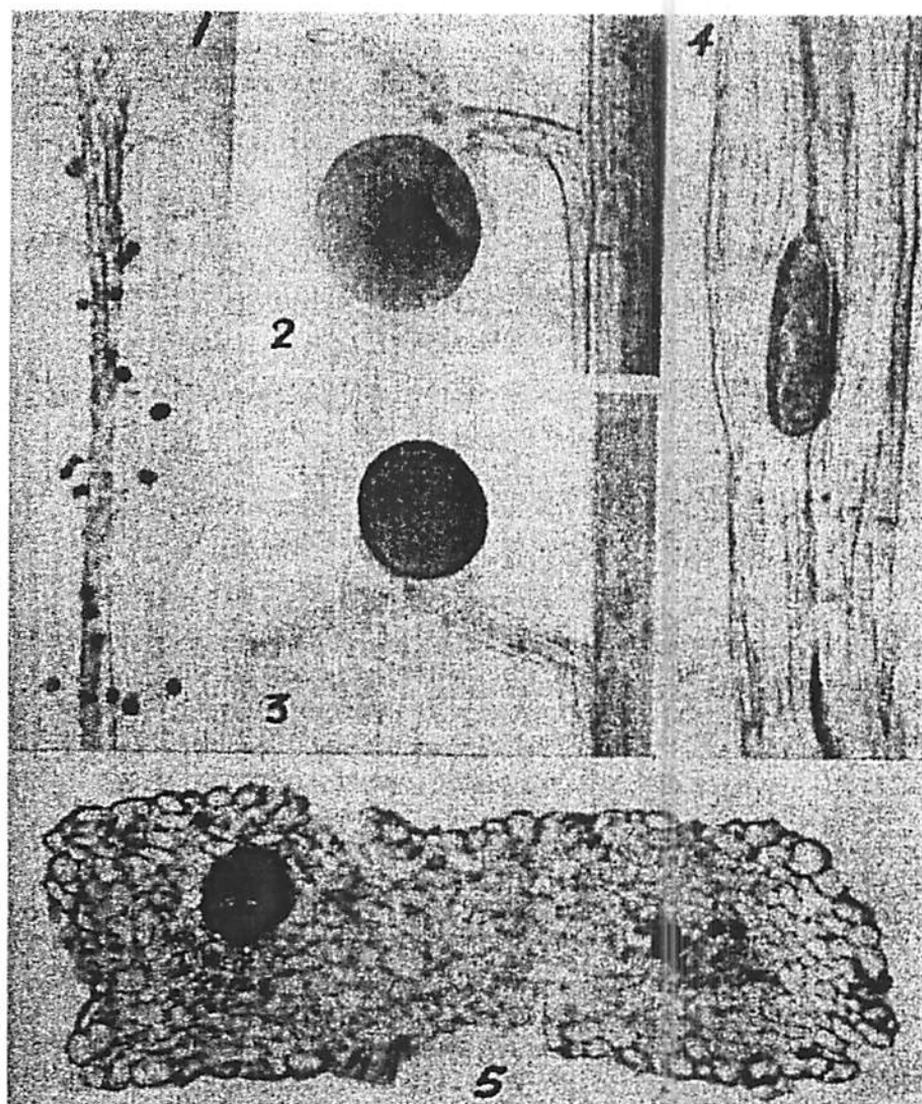


FIGURA 7. Germinação dos grãos de pólen e desenvolvimento do tubo polínico no estilo-estigma. 1, 2 e 3 - germinação dos grãos de pólen; 4 - crescimento do tubo polínico no interior do estilo-estigma; 5 - corte transversal do estilo-estigma (Kiesselbach, 1980).

## 2.2 Seleção gamética

Nas espécies que se reproduzem sexuadamente, os gametas exercem um importante papel na transmissão das informações genéticas para as gerações sucessivas. No entanto, os gametas masculinos podem não ser simplesmente um vetor na transmissão do genoma, mas também um organismo independente expressando sua própria informação genética. É observado que, nas plantas superiores, um grande número de grãos de pólen com diferentes constituições genéticas competem entre si para fertilizar um pequeno número de óvulos (Pfahler, 1967, Kiesselbach, 1980). Foi então com base nessas informações que na década de 1970 foi sugerida a utilização da seleção gamética ou seleção de pólen (Hormaza & Herrero, 1992).

A seleção gamética tem evidentemente, algumas vantagens. Entre elas, o fato do gameta ser haplóide. Assim não há possibilidade de segregação e os alelos não-efetivos não podem ser mascarados pelos efetivos (Frascaroli et al., 1994; Landi et al., 1989). Dada a sua dimensão e quantidade de pólen que cada planta produz, a outra grande vantagem é a possibilidade de avaliar milhões de “indivíduos” de cada vez utilizando-se pequeno espaço. Além do mais, tem sido constatado que muitos genes que se expressam na fase diplóide também se expressam na fase haplóide. Foi constatado, em milho, utilizando-se isoenzimas, que 72% dos locos se expressam tanto na fase haplóide como na diplóide (Sari-Gorla et al. 1986). Já em *Prunus*, a proporção é ainda maior, 81% (Weeden, 1986) e em cevada 60% (Pedersen et al., 1987). O mesmo foi constatado em tomate (Tanksley et al., 1981).

Devido especialmente a essas vantagens, a seleção gamética despertou a atenção de inúmeros pesquisadores e resultados de sucessos têm sido relatados na literatura para várias espécies, tais como algodão, trigo e *Vigna sinensis* (Ter-

Avanesian, 1978), *Dianthus* (McKenna & Mulcahy 1983), petúnia (Mulcahy et al., 1975) e tomate (Zamir et al., 1981; Sacher et al., 1983).

Especificamente com a cultura do milho, vários trabalhos envolvendo a seleção gamética são relatados na literatura (Ottaviano et al., 1982; Landi e Frascaroli, 1986; Ottaviano et al., 1988; Sari-Gorla et al., 1989; Landi et al., 1989; Sari-Gorla et al. 1994; Frascaroli et al., 1995). Resultados interessantes são aqueles que visam à seleção para resistência a herbicidas, tais como chlorsulfuron (Sari-Gorla et al., 1989), alachlor (Sari-Gorla et al., 1994) e acetochlor (Frascaroli et al., 1995). Os resultados obtidos nestes trabalhos indicam que foi possível identificar os grãos de pólen que continham o alelo para resistência aos herbicidas. A efetividade da seleção foi extremamente alta, enfatizando o potencial do método, especialmente para caracteres com herança simples.

Um outro enfoque da seleção gamética é a identificação de grãos de pólen que sejam mais vigorosos e vençam a competição no momento da fertilização. Como exposto anteriormente, uma grande quantidade de pólen atinge cada cabelo do milho, porém apenas um tem sucesso na fertilização. É conhecido também que a distância a ser percorrida pelo tubo polínico varia com a disposição do saco polínico na espiga. Ou seja, os cabelos que saem da base da espiga são mais compridos que os do ápice. Assim é esperado que os grãos de pólen que fecundam as oosferas da base da espiga, por terem uma maior competição a ser vencida, sejam mais vigorosos. Esse aspecto tem sido objeto de várias pesquisas (Ottaviano, et al., 1982; Landi & Frascaroli, 1986; Ottaviano et al., 1988; Landi et al., 1989).

Outro aspecto bastante vantajoso na seleção gamética é o fato de que pode existir forte competição entre os grãos de pólen com diferentes constituições genéticas para fertilização (Sari-Gorla & Rovida, 1980; Hormaza & Herrero, 1992; 1996; Tejaswini & Ganeshiah, 2001).

No trabalho realizado por Mercer (2001) foi comparado o efeito da fertilização das oosferas por autopólen e alopólen em diferentes linhagens de milho. Foi constatado que os grãos provenientes de alopólen foram mais frequentes; 73,3% deles vieram do cruzamento. Com base nessa informação é possível inferir que ocorre algum mecanismo genético-fisiológico que contribui para maior viabilidade de pólen estranho. Foi observada também tendência de maior frequência de autofecundação, da base para a ponta da espiga. Como já mencionado, é esperado que os grãos de pólen que fecundam os ovários situados na base da espiga sejam mais vigorosos e, nesse caso, os pólenes estranhos é que seriam os mais vigorosos. Já para o caráter peso de grãos, observou-se que aqueles fertilizados pelo alopólen foram 7,9% mais pesados do que os autofecundados.

Um dos trabalhos de bastante importância com a cultura do milho foi realizado por Ottaviano et al. (1988), utilizando a variedade BSLE, uma população de polinização aberta que apresenta como característica principal os grãos com camada de aleurona incolor. A partir de 100 espigas autofecundadas foi realizada a seleção de 12 espigas. Dessas, foram tomadas amostras de 40 sementes da ponta e 40 sementes da base de cada espiga separadamente. Dessa forma, obtiveram-se 12 famílias do primeiro ciclo de seleção da ponta e 12 da base. No ciclo seguinte foi realizado o esquema de cruzamento dialélico em que cada família da população da ponta era cruzada com as outras 11 famílias também da ponta, dessa maneira obtendo um total de 66 cruzamentos utilizando três plantas de cada um. O mesmo foi realizado com as famílias da base, obtendo assim 198 espigas de cada população. Dessas 198 espigas da população da ponta e da base foi realizada a seleção de cinco sementes da ponta e da base de cada espiga. O processo foi repetido em ciclos seletivos sucessivos.

Para avaliação da eficiência da seleção gamética, foram selecionadas 30 famílias da ponta e 30 da base. Dessas famílias foram tomadas amostras de grãos

de pólen separadamente, que foram adicionadas em igual quantidade com pólen de uma linhagem com grão amarelo. As misturas de pólen foram utilizadas para polinizar plantas de um híbrido  $F_1$  que apresenta grão branco. As espigas resultantes foram divididas em cinco segmentos para avaliação do número de grãos polinizados por pólen das populações de seleção gamética ou por pólen da linhagem e posteriormente foi determinado o peso de 50 grãos retirados aleatoriamente das espigas inteiras. Foi constatado que não houve diferença no número de sementes amarelas e brancas, independentemente do segmento das espigas. Isso indica que nos dois ciclos avaliados não se constatou diferença de competição do pólen oriundo de plantas cujas sementes vieram da ponta ou da base da espiga. Entretanto, foi observado que o peso de 50 grãos foi maior para as populações oriundas de sementes da base da espiga.

De modo semelhante, Ottaviano et al. (1982), utilizando a mesma população base, BSLE, tomaram amostras de 40 sementes da ponta e da base de diversas espigas separadamente, constituindo duas populações, ponta e base. Na população da ponta foram realizadas autofecundações e tomadas amostras das sementes novamente da ponta das espigas. O mesmo foi realizado na população da base, porém, com amostras de sementes da base e o processo foi repetido por mais três ciclos. Para avaliação da capacidade competitiva do pólen foram realizados cruzamentos com um híbrido  $F_1$  com grão branco. Para tal, foram tomadas amostras de pólen da população da ponta e misturadas com amostras em igual quantidade de pólen da linhagem que apresenta grão amarelo. O mesmo foi feito com a população da base. Foi observado que o diâmetro de pólen, peso de "seedlings" e peso de 50 grãos foi maior nas espigas provenientes da polinização com pólen população da base.

Para verificar se a seleção gamética é efetiva para caracteres de interesse econômico como produtividade de grãos, Landi et al. (1989) tomaram amostras de 25 de sementes da ponta e da base de 100 espigas de uma população  $F_2$  de

milho. Essas amostras constituíram então as duas subpopulações do primeiro ciclo de seleção gamética da ponta e da base. Para o ciclo de seleção sucessivo, as sementes das duas populações foram semeadas isoladamente e realizada a seleção de sementes da ponta da espiga na população da ponta e sementes da base na população da base, repetindo-se o processo por mais cinco gerações. Com base nos resultados obtidos, constatou-se que não houve resposta apreciável quanto à produtividade de grãos para as populações da base, ou seja, não houve incremento na produtividade de grãos com a seleção gamética. Entretanto, a seleção para sementes da base levou a um aumento no peso de sementes e um decréscimo no número de folhas e altura de planta, quando comparada à ponta. Landi & Frascaroli (1986), de maneira semelhante, observaram que os ciclos da base foram mais precoces, com plantas mais baixas e com menor número de folhas que os ciclos da ponta.

## 3 MATERIAL E MÉTODOS

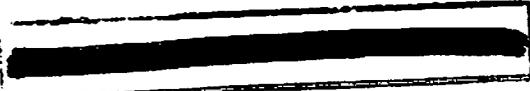
### 3.1 Material genético

O material utilizado foi o Composto Nacional CMS 39, desenvolvido pela EMBRAPA a partir do intercruzamento de 55 materiais, incluindo híbridos simples, duplos, intervarietais e variedades de polinização aberta, identificados como promissores em ensaios nacionais de cultivares de milho ao longo de alguns anos. Após o intercruzamento, a população foi recombinada durante quatro gerações utilizando o método irlandês (Aguiar, 1986).

No ano agrícola 1984/1985, quando foi completado o último ciclo de recombinação, foram avaliadas 400 famílias de meios-irmãos, oriundas desse composto, em três localidades no estado de Minas Gerais. Dessas foram selecionadas as 40 melhores famílias, com base na média que, após recombinadas, passaram por uma seleção dentro (Aguiar, 1986). Em 1985/1986 novamente obtiveram-se 400 famílias, as quais foram avaliadas em dois locais, completando-se então o segundo ciclo de seleção (Pacheco, 1987). No ano de 1988/1989 foram avaliadas 200 famílias de meios-irmãos e foram selecionadas 25 famílias que, após recombinadas, originaram a população do terceiro ciclo de seleção (Arriel, 1991). A população proveniente deste último ciclo foi o material genético utilizado nesse trabalho.

### 3.2 Local

A condução dos ciclos seletivos e avaliação dos experimentos foram realizadas no campo experimental do Departamento de Biologia da



Universidade Federal de Lavras, município de Lavras – MG. O local tem altitude de 910 m, latitude de 21°14' S e longitude de 45° 00 W. O solo é classificado como Latossolo Vermelho Distrófico, fase Cerrado.

### **3.3 Metodologia**

O trabalho foi realizado em duas etapas. A primeira foi a condução dos ciclos seletivos e a segunda a avaliação das populações derivadas desses ciclos seletivos.

#### **3.3.1 Obtenção das populações dos cinco ciclos seletivos**

No ano agrícola 1995/1996 foram semeadas, em lote isolado, cerca de 3.000 plantas da população CMS-39 e, por ocasião da colheita, tomadas aproximadamente 300 espigas ao acaso. A partir dessas espigas, foi realizada a separação das sementes de acordo com a localização das mesmas nas espigas, ou seja, foram retiradas as sementes de aproximadamente três centímetros das extremidades das espigas (ponta ou base), originando assim duas subpopulações referentes ao primeiro ciclo de seleção de sementes da ponta (1CSSP) e primeiro ciclo de seleção de sementes da base (1CSSB). Parte dessas sementes foi utilizada na semeadura para o ciclo seguinte e parte armazenada em câmara fria. Para a obtenção do segundo ciclo, as duas subpopulações foram semeadas separadamente em lotes isolados, novamente com 3.000 plantas para cada subpopulação no ano agrícola de 1996/1997. Por ocasião da colheita, foi realizada uma amostragem de aproximadamente 300 espigas em cada subpopulação. Em seguida, foi realizada a seleção das sementes da ponta das

espigas na subpopulação correspondente e procedimento análogo foi adotado na subpopulação proveniente de sementes da base. Constituíram-se assim, o segundo ciclo de seleção de sementes da ponta (2CSSP) e o segundo ciclo de seleção de sementes da base (2CSSB) em que parte das sementes foi armazenada e o restante utilizada na obtenção do ciclo seguinte. O terceiro ciclo foi obtido no ano agrícola 1997/1998, adotando-se o mesmo procedimento. Na safrinha de 1998, semeadura em janeiro, foi obtido o quarto ciclo de seleção e, no ano agrícola 1998/1999, o quinto ciclo. Desse modo foram obtidas dez subpopulações, cinco ciclos da ponta e cinco da base.

### **3.3.2 Avaliação dos cinco ciclos seletivos**

Utilizando as sementes que estavam armazenadas em câmara fria, no ano agrícola 1999/2000, todas as subpopulações foram semeadas separadamente na área experimental do departamento de Biologia da Universidade Federal de Lavras. Em cada subpopulação foi realizado o cruzamento "SIB", utilizando, no mínimo, 150 plantas, para evitar a influência dos diferentes períodos de armazenamento das sementes dos ciclos seletivos.

A avaliação dessas populações foi efetuada em experimentos conduzidos nas safras 2000/2001 e 2001/2002. Nos dois anos de avaliação, foi utilizado o delineamento em blocos casualizados com seis repetições, segundo esquema de parcelas subdivididas, sendo que as parcelas constituíram os cinco ciclos e as subparcelas a origem das sementes (ponta ou base).

Nas duas safras, as subparcelas foram constituídas por duas linhas de cinco metros lineares. Em ambos os anos, a semeadura foi efetuada na primeira quinzena do mês de novembro. Nos dois experimentos foi adotado o sistema de plantio direto. Na semeadura foi aplicado o equivalente a 350 kg/ha do

fertilizante com fórmula 08 – 28 – 16 + 0,4 Zn. Aos 30 dias após a semeadura foi efetuada a adubação de cobertura com sulfato de amônio, aplicando-se o equivalente a 50 kg/ha de nitrogênio. O espaçamento utilizado entre linhas foi de 0,9 metros, deixando-se cinco plantas por metro após o desbaste, que foi efetuado quando as plantas encontravam-se no estágio de 4 a 6 folhas. Os demais tratos culturais foram os comumente empregados para a cultura do milho na região do sul de Minas Gerais.

As características avaliadas nos dois anos foram as seguintes:

- **número de dias para o florescimento masculino:** número de dias da semeadura até o momento em que 50% das plantas apresentaram pendão;
- **número de dias para o florescimento feminino:** número de dias da semeadura até o momento em que 50% das plantas apresentaram estilo-estigma;
- **altura média da espiga:** medidas dez plantas no centro da parcela no período de enchimento de grãos;
- **peso de grãos:** o peso de grãos sofreu correção para a umidade padrão de 13% ( $P_U$ ), ou seja:

$$P_U = P \times (100 - U)/87$$

em que:

$P_U$ : peso de grãos em kg por subparcela, corrigido para a umidade padrão de 13%;

**P:** peso de grãos em kg por subparcela obtido no campo;

**U:** percentagem de umidade por ocasião da pesagem dos grãos.

Posteriormente, utilizando-se o procedimento proposto por Vencovsky & Barriga (1992), procedeu-se à correção para o estande ideal de 50 plantas por subparcela.

$$P_C = P_U - b \times (NP - 50)$$

em que:

**P<sub>C</sub>:** peso de grãos em kg por subparcela, corrigido para o estande ideal de 50 plantas;

**b:** correlação entre o estande observado e produtividade de grãos obtida por meio da análise de covariância entre produção e o número de plantas por subparcela.

**P<sub>U</sub>:** peso de grãos em kg por subparcela, corrigido para a umidade padrão de 13%;

**NP:** número de plantas da subparcela.

### 3.4 Análise dos dados

As análises estatísticas de variância de cada ano foram realizadas conforme o seguinte modelo estatístico apresentado por Steel et al. (1997) e Ramalho et al. (2000):

$$Y_{ijk} = m + b_j + c_i + (cb)_{ij} + p_k + (cp)_{ik} + e_{(ijk)}$$

em que:

$Y_{ijk}$ : o valor observado do  $i$ -ésimo ciclo da  $k$ -ésima posição no  $j$ -ésimo bloco;

$m$ : média geral do experimento;

$b_j$ : efeito do bloco  $j$ , ( $j = 1, 2, \dots, 6$ );

$c_i$ : efeito do ciclo  $i$ , ( $i = 1, 2, \dots, 5$ );

$(cb)_{ij}$ : efeito da interação ciclos  $i$  x blocos  $j$  (erro  $a$ );

$p_k$ : efeito da posição  $k$ , ( $k = 1, 2$ );

$(cp)_{ik}$ : efeito da interação ciclos  $i$  x posições  $k$ ;

$e_{(ijk)}$ : efeito do erro experimental associado à observação  $Y_{ijk}$ , tendo  $e_{(ijk)} \sim N(0, \sigma^2)$ .

A análise de variância conjunta envolvendo os dois anos de avaliação foi realizada conforme o seguinte modelo estatístico:

$$Y_{ijkq} = m + a_q + b_{j(q)} + c_i + (ac)_{qi} + (cb)_{ij} + p_k + (ap)_{qk} + (cp)_{ik} + (acp)_{qik} + e_{(ijk)}$$

em que:

$Y_{ijkq}$ : valor observado do  $i$ -ésimo ciclo da  $k$ -ésima posição no  $j$ -ésimo bloco no  $q$ -ésimo ano;

$m$ : média geral do experimento;

$a_q$ : efeito do ano  $q$ , ( $q=1,2$ );

$b_{j(q)}$ : efeito do bloco  $j$  dentro do ano  $q$ , ( $j = 1, 2, \dots, 6$ );

$c_i$ : efeito do ciclo  $i$ , ( $i = 1, 2, \dots, 5$ );

$(ac)_{qi}$ : efeito da interação ciclos  $i$  x anos  $q$ ;

$(cb)_{ij(q)}$ : efeito da interação ciclos  $i$  x blocos  $j$  dentro do ano  $q$  (erro  $a$ );

$p_k$ : efeito da posição  $k$ , ( $k = 1, 2$ );

$(ap)_{qk}$ : efeito da interação anos  $q$  x posições  $k$ ;

**(cp)**  $ik$ : efeito da interação ciclos  $i$  x posições  $k$ ;

**(acp)**  $qik$ : efeito da interação anos  $q$  x ciclos  $i$  x posições  $k$ ;

$e_{(ijkq)}$ : efeito do erro experimental associado à observação  $Y_{ijkq}$ , tendo  $e_{(ijkq)} \cap N(0, \sigma^2)$ .

Para verificar se a diferença entre o desempenho das populações da ponta ou da base se alterou com os ciclos seletivos, foi estimada a diferença entre o desempenho das populações, em cada ciclo, oriunda de sementes da base e da ponta, para todos os caracteres. Como ocorreram alguns valores nulos ou negativos, somou-se uma constante à diferença obtida em cada parcela, antes de proceder às análises da variância, por ano e, posteriormente, conjunta, segundo o modelo estatístico:

$$Y_{ijq} = m + a_q + b_{j(q)} + d_i + da_{(iq)} + e_{(ijq)}$$

em que:

$Y_{ijq}$ : valor observado do  $i$ -ésimo ciclo no  $j$ -ésimo bloco no  $q$ -ésimo ano;

$m$ : média geral do experimento;

$a_q$ : efeito do ano  $q$ , ( $q=1,2$ );

$b_{j(q)}$ : efeito do bloco  $j$  dentro do ano  $q$ ;

$d_i$ : efeito do ciclo  $i$ , ( $i = 1, 2, \dots, 5$ );

$(da)_{iq}$ : efeito da interação anos  $q$  x ciclos  $i$ ;

$e_{(ijq)}$ : efeito do erro experimental associado à observação  $Y_{ijq}$ , tendo  $e_{(ijq)} \cap N(0, \sigma^2)$ .

Para verificar se a resposta aos ciclos seletivos foi linear, procedeu-se a decomposição da fonte de variação ciclos, mesmo para os casos em que o teste de F dessa fonte de variação foi não significativo, em efeito linear e desvio do modelo. Para isso foi utilizado o método dos quadrados mínimos (Ramalho et al., 2000).

## 4 RESULTADOS

Os resumos das análises da variância individuais dos diferentes caracteres avaliados são mostrados nas Tabelas 1A e 2A. Chama a atenção, inicialmente, que a precisão experimental avaliada pelo coeficiente de variação foi boa para todos os caracteres.

Constatou-se que a fonte de variação posição, isto é, que avalia o contraste entre o desempenho médio das plantas provenientes de sementes da ponta ou da base da espiga foi sempre não significativa, exceto no caso do número de dias para florescimento masculino ( $P < 0,05$ ) avaliado no ano agrícola 2001/2002.

Considerando a fonte de variação ciclo, pode-se observar que houve diferença significativa para os caracteres número de dias para florescimento masculino ( $P < 0,05$ ) e produtividade de grãos ( $P < 0,04$ ) avaliados no ano agrícola 2001/2002. Pode-se então inferir que os ciclos de seleção apresentaram comportamentos diferentes quanto ao florescimento masculino.

Com relação à interação ciclo x posição, é possível constatar que houve diferença significativa apenas para o caráter florescimento masculino ( $P < 0,09$ ), avaliado no ano 2000/2001. Isto indica que o comportamento dos ciclos seletivos não foi coincidente em relação à posição de origem da semente para este caráter.

A análise da variância conjunta dos dois anos para todos os caracteres é apresentada nas Tabelas 1 e 2. Observa-se que a fonte de variação anos foi significativa para os caracteres número de dias do florescimento masculino e feminino e produção de grãos. Veja também que o efeito de ciclos foi significativo apenas para o caráter número de dias para florescimento masculino ( $P < 0,10$ ), indicando que só houve resposta aos ciclos seletivos quanto a este caráter. Já a interação ano x ciclo só foi significativa para a produção de grãos

( $P < 0,05$ ), evidenciando que, para esse caráter, o comportamento dos ciclos seletivos não foi coincidente nos dois anos de avaliação.

Com relação à fonte de variação posição, é possível observar que houve diferença significativa para os caracteres número de dias para florescimento masculino ( $P < 0,04$ ) e feminino ( $P < 0,09$ ). Depreende-se, então, que a origem da posição da semente não teve influência sobre os demais caracteres. Observou-se também que a interação ciclo x posição foi não significativa para todos os caracteres, evidenciando que a posição dos grãos na espiga não afetou a resposta aos ciclos seletivos.

**TABELA 1.** Resumo da análise da variância conjunta dos caracteres florescimento masculino em dias (FM) e florescimento feminino em dias (FF) obtida nos anos agrícolas 2000/2001 e 2001/2002.

| FV           | GL | QM             |                |
|--------------|----|----------------|----------------|
|              |    | FM             | FF             |
| Ano (A)      | 1  | 300,833 (0,00) | 258,133 (0,00) |
| Rep/A        | 10 | 20,703 (0,00)  | 23,317 (0,00)  |
| Ciclo (C)    | 4  | 2,979 (0,10)   | 0,596          |
| Ciclos/ponta | 4  | 1,458 (0,26)   | 0,733          |
| Linear       | 1  | 2,133 (0,16)   | 2,133 (0,32)   |
| Desvio       | 3  | 1,233 (0,33)   | 0,267          |
| Ciclos/base  | 4  | 2,792 (0,04)   | 0,125          |
| Linear       | 1  | 6,075 (0,02)   | 0,075          |
| Desvio       | 3  | 1,697 (0,20)   | 0,142          |
| A x C        | 4  | 1,979 (0,25)   | 5,112 (0,16)   |
| Erro a       | 40 | 1,424          | 2,904          |
| Posição (P)  | 1  | 3,333 (0,04)   | 4,033 (0,09)   |
| A x P        | 1  | 0,300          | 0,133          |
| C x P        | 4  | 1,271 (0,15)   | 0,262          |
| A x C x P    | 4  | 0,821 (0,35)   | 0,696          |
| Erro b       | 50 | 0,720          | 1,340          |
| Média        |    | 67,67          | 70,35          |
| CV a (%)     |    | 1,76           | 2,42           |
| CV b (%)     |    | 1,25           | 1,65           |

Valores entre parênteses representam a significância pelo teste de F.

TABELA 2. Resumo da análise de variância conjunta dos caracteres altura de espiga em metros (AE) e produtividade de grãos em t/ha (PG) obtida nos anos agrícolas 2000/2001 e 2001/2002.

| FV           | GL | QM           |               |
|--------------|----|--------------|---------------|
|              |    | AE           | PG            |
| Ano (A)      | 1  | 0,004        | 14,321 (0,00) |
| Rep/A        | 10 | 0,254 (0,00) | 1,900 (0,03)  |
| Ciclo (C)    | 4  | 0,006        | 0,961 (0,34)  |
| Ciclos/ponta | 4  | 0,003        | 0,915 (0,20)  |
| Linear       | 1  | 0,004 (0,51) | 0,111 (0,67)  |
| Desvio       | 3  | 0,002        | 1,184 (0,12)  |
| Ciclos/base  | 4  | 0,019 (0,10) | 0,354 (0,67)  |
| Linear       | 1  | 0,032 (0,07) | 0,020         |
| Desvio       | 3  | 0,015 (0,21) | 0,465 (0,51)  |
| A x C        | 4  | 0,002        | 2,133 (0,05)  |
| Erro a       | 40 | 0,012        | 0,818         |
| Posição (P)  | 1  | 0,007        | 0,019         |
| A x P        | 1  | 0,001        | 0,664 (0,19)  |
| C x P        | 4  | 0,016 (0,09) | 0,308         |
| A x C x P    | 4  | 0,007        | 0,644 (0,15)  |
| Erro b       | 50 | 0,008        | 0,369         |
| Média        |    | 1,78         | 7,36          |
| CV a (%)     |    | 6,08         | 12,29         |
| CV b (%)     |    | 4,98         | 8,25          |

Valores entre parênteses representam a significância pelo teste de F.

Embora não tenha sido observada diferença significativa entre os ciclos de seleção para a maioria dos caracteres avaliados, foram obtidas as estimativas do progresso, tanto para os casos em que foram selecionadas as sementes da base, como da ponta da espiga. As Tabelas 3 e 4 apresentam as estimativas em cada ano. Pode-se constatar que houve redução de dias no florescimento masculino e feminino com a seleção efetuada em ambas as posições na espiga. O mesmo ocorreu para os ciclos provenientes de sementes da ponta para o caráter altura de espiga.

TABELA 3. Estimativas dos ganhos genéticos com os ciclos seletivos para os caracteres número de dias para florescimento masculino (FM), número de dias para florescimento feminino (FF), altura de espiga em metros (AE) e produtividade de grãos em t/ha (PG) obtidas no ano agrícola 2000/2001.

| Parâmetro          | FM     |        | FF     |        | AE     |       | PG    |       |
|--------------------|--------|--------|--------|--------|--------|-------|-------|-------|
|                    | PONTA  | BASE   | PONTA  | BASE   | PONTA  | BASE  | PONTA | BASE  |
| $\hat{m}$          | 66,75  | 66,76  | 69,58  | 69,48  | 1,79   | 1,71  | 6,95  | 6,59  |
| $\hat{g}$          | -0,183 | -0,266 | -0,184 | -0,249 | -0,001 | 0,022 | 0     | 0,160 |
| R <sup>2</sup> (%) | 44,92  | 42,04  | 39,35  | 54,24  | 5,00   | 46,54 | 0     | 89,72 |
| $\hat{g}$ (%)      | -0,27  | -0,40  | -0,26  | -0,36  | -0,06  | 1,24  | 0     | 2,37  |

TABELA 4. Estimativas dos ganhos genéticos com os ciclos seletivos para os caracteres número de dias para florescimento masculino (FM), número de dias para florescimento feminino (FF), altura de espiga em metros (AE) e produtividade de grãos em t/ha (PG) obtidas no ano agrícola 2001/2002.

| Parâmetro          | FM     |        | FF     |       | AE     |       | PG     |        |
|--------------------|--------|--------|--------|-------|--------|-------|--------|--------|
|                    | PONTA  | BASE   | PONTA  | BASE  | PONTA  | BASE  | PONTA  | BASE   |
| $\hat{m}$          | 69,72  | 69,59  | 72,28  | 71,00 | 1,82   | 1,73  | 7,98   | 8,02   |
| $\hat{g}$          | -0,084 | -0,185 | -0,082 | 0,199 | -0,013 | 0,012 | -0,063 | -0,134 |
| R <sup>2</sup> (%) | 4,63   | 45,58  | 7,91   | 24,94 | 29,54  | 27,07 | 2,58   | 23,22  |
| $\hat{g}$ (%)      | -0,12  | -0,27  | -0,11  | 0,28  | -0,72  | 0,68  | -0,79  | -1,62  |

É preciso salientar que o ajustamento dos dados à equação linear na maioria dos casos não foi bom. A estimativa de R<sup>2</sup> normalmente foi inferior a 50%. Esse fato restringe as inferências a serem obtidas a partir dessas equações. O resultado mais expressivo refere-se ao caráter produtividade de grãos na safra 2000/2001, em que a resposta aos ciclos seletivos aplicados aos grãos da base foi positiva ( $b = 0,16$  t/ha), ao passo que na seleção efetuada com grãos da ponta o mesmo não foi observado. Observe, contudo, que o mesmo fato não foi constatado na avaliação realizada no ano seguinte.

Para o caráter altura de espiga esse aumento foi detectado apenas nos ciclos de seleção para sementes da base. Pode-se observar que a seleção, tanto