

## HIBRIDAÇÃO NO MELHORAMENTO

**JOSÉ B. MIRANDA FILHO<sup>1</sup>**  
**LUCIANO LOURENÇO NASS<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Depto. Genética - USP/ESALQ, C.P. 83 - CEP: 13400-970 - Piracicaba, SP.

<sup>2</sup>Embrapa Recursos Genéticos e Biotecnologia, C.P. 02372 - CEP: 70770-900 - Brasília, DF.

## 1. INTRODUÇÃO

Os efeitos da hibridação em espécies vegetais foram investigados e descritos por Köelreuter – 1766, Knight – 1799 e Gärtner – 1849, conforme citações de Hallauer & Miranda Filho (1995). Entretanto, a primeira interpretação correta da hibridação em milho deve-se a uma carta escrita por Cotton Mather em 1716. Darwin (1877) foi o primeiro a conduzir experimentos, comparando plantas autofecundadas com plantas cruzadas em milho. Darwin também observou os efeitos da hibridação em outras espécies e os termos **vigor de híbrido** e **luxúria** foram usados para designar a superioridade das plantas obtidas de hibridação; tais efeitos, porém eram observados visualmente, sem qualquer mensuração quantitativa.

Beal (1880) conduziu experimentos de hibridação em milho utilizando-se de cruzamentos entre variedades de polinização aberta. O autor utilizou uma variedade como fêmea (emasculada), plantada lado a lado com outra variedade usada como macho (polinizador), constatando, após a experimentação, que as sementes híbridas colhidas nas linhas emasculadas produziram 51% a mais em relação às variedades originais. Os resultados de Beal foram posteriormente confirmados por Sanborn – 1890, McClure – 1892, Morrow & Gardner – 1893 e Weber – 1900, 1901, conforme citações apresentadas por Hallauer & Miranda Filho (1995). A superioridade do híbrido em relação aos pais, mensurada quantitativamente, foi mais tarde designada de **heterose** (Shull, 1912). Com o advento do milho híbrido, factível pelas descobertas de Shull (1908, 1909) sobre o sistema endogamia-hibridação e de Jones (1918) sobre a utilização do híbrido duplo, a utilização de sementes híbridas expandiu-se rapidamente despertando interesse e estimulando pesquisas visando à utilização de híbridos em outras espécies.

A heterose pode ser expressada de três maneiras: a) **heterose em relação à média dos pais** – desempenho do híbrido ( $F_1$ ) em relação à média dos pais; b) **heterose em relação ao pai superior ou heterobeltiose** – desempenho do híbrido ( $F_1$ ) em relação ao genitor de maior média para o caráter em questão; c) **heterose padrão** – desempenho do híbrido ( $F_1$ ) em relação a uma cultivar considerada padrão para a cultura em questão. Obviamente, em termos práticos, a heterose padrão é aquela que merece maior atenção por parte dos melhoristas visando ao desenvolvimento de híbridos superiores para os agricultores.

## 2. EFEITOS DA HIBRIDAÇÃO

Todas as populações de polinização cruzada são constituídas de híbridos, considerando o termo na sua forma mais ampla. Os indivíduos em tais populações existem em um alto grau de heterozigose e, sendo populações de reprodução sexuada, exibem grande variabilidade dos caracteres. Esta variabilidade é mantida naturalmente nas populações panmíticas, graças à polinização cruzada. Portanto, o efeito de hibridação nestes casos é o de manter a variabilidade da população, bem como manter a condição de alta heterozigose nos indivíduos. Vê-se, portanto, que a hibridação pode

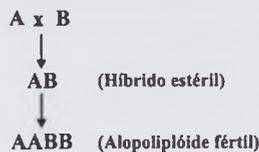
manter e criar variabilidade e este aspecto tem grande importância do ponto de vista de evolução, uma vez que a seleção só pode ser efetiva em populações que apresentem variabilidade genética. Também, com a hibridação está implícita a *recombinação*, que é uma das três forças (mutação, seleção e recombinação) que conduzem à evolução. Este efeito pode ser visualizado mais facilmente se forem tomadas duas populações de autofecundação da mesma espécie, ou mesmo dois indivíduos completamente homocigotos. Observa-se que em gerações mais avançadas ocorre recombinação (cromossômica e gênica) e a população resultante se torna bastante variável.

Em uma população qualquer de cruzamento completamente ao acaso, a estrutura genética da população ou a frequência dos diversos genótipos depende da frequência gênica, a qual se mantém inalterável na ausência de mutação, seleção, migração e deriva genética causada por redução do tamanho da população. Nestas condições, diz-se que a população entra em equilíbrio de Hardy-Weinberg, quando as frequências genotípicas se mantêm constantes de uma para outra geração. Uma forma comum de quebrar o equilíbrio é através da migração, que pode ser genotípica (migração de indivíduos) ou gamética (contaminação por grãos de pólen). Em última análise, a migração resulta em transferência de genes de uma população para outra, exercendo desta forma um papel importante sob o ponto de vista evolucionário, pois age como causa da estrutura genética da população via hibridação entre populações.

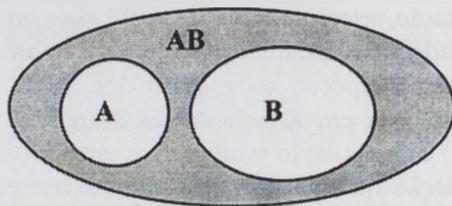
A **hibridação interespecífica** ocorre com muito menos frequência na natureza, mas seu significado para a evolução pode ser igualmente importante. Geralmente os híbridos interespecíficos são estéreis ou parcialmente estéreis, dependendo da distância filogenética entre as espécies. Segundo alguns biólogos, que adotam o conceito de espécie com base no isolamento reprodutivo, as espécies diferentes não se cruzariam e, portanto, nunca se conseguiriam híbridos interespecíficos. Como o conceito de espécie é um tanto subjetivo, melhor seria referir-se a cruzamentos entre indivíduos ou populações mais ou menos relacionados geneticamente.

De qualquer forma a hibridação, mesmo nesses casos mais extremos, tem grande importância no processo evolutivo, pois refere-se também ao fluxo gênico de uma para outra população. Também, o efeito da hibridação depende das condições em que ela ocorre. Se ocorrer entre duas populações perfeitamente adaptadas em um ambiente relativamente estável, a hibridação não terá efeito notável. Por outro lado, o significado da hibridação pode ser muito maior se ocorrer em um ambiente instável entre populações em vias de adaptação.

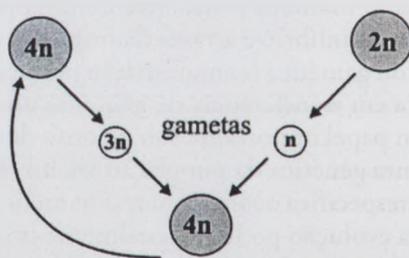
Como já mencionado, os híbridos interespecíficos apresentam esterilidade, a qual geralmente é mantida também nos descendentes de gerações posteriores. Entretanto, existem casos em que pode haver recuperação da fertilidade nos descendentes de híbridos. Exemplos: *Phaseolus vulgaris* x *Phaseolus coccineus*, *Triticum durum* x *Triticum timopheesi*. O produto da hibridação interespecífica também pode se manter através da poliploidia. Exemplo:



Além disso, de duas populações adaptadas em uma área com amplitude definida, pode resultar um poliplóide com amplitude de adaptação maior. Exemplo: *Dactylis glomerata*



Ainda com relação aos poliplóides, existem populações diplóides ( $2n$ ) e tetraplóides ( $4n$ ) que se mantêm isoladas na natureza. Entretanto, há casos em que é possível a transferência de genes de uma para outra população. Exemplo: *Laelia* sp.



### 3. IMPORTÂNCIA DA HIBRIDAÇÃO NA AGRICULTURA

#### 3.1 GENERALIDADES

A hibridação artificial em plantas tem sido feita há muito tempo, pois de algum modo o homem tem procurado aproximar os métodos de melhoramento dos processos biológicos que imperam na natureza. Voltando à hibridação interespecífica, Winge (1917) foi o primeiro a dar importância à hibridação como causa de origem de novas espécies poliplóides a partir de diplóides. O primeiro híbrido estéril entre trigo (*Triticum*) e centeio (*Secale*) foi reportado por Wilson em 1876; o primeiro híbrido fértil foi relatado mais tarde por Rimpau em 1891, mas a sua análise citogenética foi feita por Müntzing (1936). Clausen & Goodspeed, citados por Clausen (1951), cruzaram *Nicotiana glutinosa* ( $n=12$ ) com *Nicotiana tabacum* var. *purpurea* ( $n=24$ ) e obtiveram um  $F_1$  ( $2n=36$ ) e um  $F_2$  aloploplóide com  $2n = 72$ . Muitas das espécies de plantas cultivadas são aloploplóides originados de hibridação interespecífica (Tabela 1). Alguns mecanismos utilizados na produção de semente híbrida em diversas espécies são mostrados na Tabela 2. A importância da hibridação em plantas cultivadas também pode ser relativa e depende da finalidade da cultura. Sob este aspecto, pode-se dividir as espécies cultivadas em quatro grupos:

- grandes culturas e forrageiras
- espécies frutíferas
- espécies hortícolas
- espécies ornamentais

TABELA 1. Algumas espécies aloploplóides e seus respectivos ancestrais diplóides.

Espécie	Ploidia	Espécie	Ploidia
<b>Algodão</b>		<b>Fumo</b>	
<i>Gossypium arboreum</i>	13	<i>Nicotiana tomentosa</i>	12
<i>Gossypium thurberi</i>	13	<i>Nicotiana sylvestris</i>	12
<i>Gossypium hirsutum</i>	26	<i>Nicotiana tabacum</i>	24
<i>Gossypium barbadense</i>	26	<b>Sorgo</b>	
<b>Aveia</b>		<i>Sorghum versicolor</i>	5
<i>Avena brevis</i>	7	<i>Sorghum vulgare</i>	10
<i>Avena strigosa</i>	7	<i>Sorghum halepense</i>	20
<i>Avena barbata</i>	14	<b>Trigo</b>	
<i>Avena fatua</i>	21	<i>Aegilopsis squarrosa</i>	7
<i>Avena sativa</i>	21	<i>Aegilopsis speltoides</i>	7
<i>Avena byzantina</i>	21	<i>Triticum monococcum</i>	7
		<i>Triticum vulgare</i>	21

TABELA 2. Mecanismos utilizados na produção de semente híbrida.

Mecanismos genéticos ou induzidos	Propagação	Espécies vegetais
Apomixia	semente	citrus em geral
Hibridação controlada ou casual	clone	cana-de-açúcar, batata, seringueira
Esterilidade citoplasmática (sem restauração)	semente	cebola, beterraba
Esterilidade citoplasmática (com restauração)	semente	milho, sorgo
Monoiccia com emasculação manual	semente	milho
Dioiccia	semente	aspargo
Esterilidade induzida (DDT)	semente	cevada
Emasculação e polinização manuais	semente	tomate, berinjela
Auto-incompatibilidade	semente	repolho, couve-flor

Dentre estas classes, a hibridação tem maior importância nas espécies ornamentais. Na maioria destas espécies, tais como rosas, tulipas, orquídeas etc., a novidade é sempre desejável e a hibridação tem há muito tempo despertado o interesse dos floricultores pela possibilidade de gerar novas variantes genéticas. Em seguida, vem o grupo das frutíferas em ordem de importância. Por exemplo, as espécies de maçã, ameixa, pêsego, uva, citrus e banana são de origem híbrida. Outras como mamão e abacate têm origem de uma única espécie. Nas frutíferas, as hibridações são entre membros da mesma seção ou subgênero, enquanto que nas ornamentais a hibridação entre membros de diferentes subgêneros e gêneros é mais freqüente.

Nas grandes culturas (cereais, algodão, linho, fumo) e forrageiras (gramíneas forrageiras, alfafa etc.) a hibridação entre espécies tem sido menos freqüente. Trigo, algodão e fumo são poliplóides de origem híbrida, mas a ocorrência de tais hibridações é espontânea e não orientada pelo homem. O melhoramento destas espécies tem sido via cruzamento intervarietal seguido de seleção. Hibridação interespecífica só tem sido utilizada para transferência de genes específicos e não para fins de seleção.

Finalmente, a hibridação é menos importante no grupo das hortaliças. As espécies de hortaliças mais importantes (cenoura, beterraba, nabo, rabanete, aspargo, aipo, espinafre, alface, feijão-vagem e tomate) têm origem de espécie única, diplóide, ou de um grupo de "espécies" taxonômicas interférteis, como no caso das Brássicas (repolho, couve-flor, couve-brócolos etc.) e Cucurbitáceas (abóbora, melancia). Nestas culturas, mesmo a hibridação com a finalidade de transferência de genes específicos por retrocruzamento, tem sido pouco utilizada, com exceção de algumas espécies de tubérculos (batata e batata-doce).

As relações de importância entre os quatro grupos citados podem se resumir como segue:

Importância relativa da hibridação em quatro grupos de espécies vegetais						
Ornamentais	>	Frutíferas	>	Grandes culturas	>	Hortaliças
<exigência		>exigência		<exigência		>exigência

Estas diferenças entre grupos com respeito à hibridação pode ser explicada segundo dois pontos de vista: a) a hibridação tem maior valor em plantas que usualmente são propagadas por meios vegetativos e menos valor nas que se reproduzem por sementes; b) o valor da hibridação entre espécies é comparativamente alto nas culturas em que a "quantidade" da produção é o principal objetivo e se tornam de menor valor a medida em que aumenta a exigência por qualidade. A primeira observação explica porque a hibridação é mais importante em plantas ornamentais e frutíferas em comparação com os cereais e hortícolas. Isso é devido à possibilidade de propagação vegetativa, não sendo necessário um longo tempo para seleção e purificação genética. Qualquer híbrido de interesse pode ser perpetuado indefinidamente como uma nova variedade. As diferenças em exigência para qualidade explica a diferença da importância da hibridação nas plantas ornamentais comparadas com as frutíferas e das grandes culturas comparadas com as hortícolas. De fato, em floricultura a qualidade é importante mas não é para uma qualidade particular, a não ser o valor estético; a novidade é desejável e esta é uma característica de qualidade que pode ser obtida facilmente por hibridação. Por outro lado, a exigência por qualidade dos frutos é mais pronunciada, principalmente com relação a sabor, suculência, odor, conservação etc. Obter todas estas características de um único genótipo, a partir de um híbrido interespecífico, torna-se pouco provável.

Considerações semelhantes podem ser feitas para as grandes culturas comparadas com as hortícolas. Entre as primeiras, somente algumas (algodão, trigo, arroz, feijão) têm certa exigência de qualidade, mas em outras como o milho, cevada, aveia, sorgo etc., o interesse maior é por quantidade de produção. Por outro lado, a maioria das plantas hortícolas foi selecionada de um certo número de formas diferenciadas, justamente pelas suas características de sabor, odor, suculência etc., e o melhorista que trabalha com tais culturas tem como preocupação manter tais características. Se estas culturas forem produzidas por sementes, a hibridação interespecífica traria um desvio muito grande em relação ao tipo exigido.

Novamente, aqui existe um grande paralelo com a evolução orgânica. Se a adaptação de uma espécie ao seu ambiente é de caráter amplo, como um tipo geral

em que muitas combinações gênicas são igualmente adaptativas, então existe grande chance de que algum segregante resultante de hibridação interespecífica tenha valor seletivo, com resultado positivo na seleção. Mas, se o tipo de adaptação da espécie é muito específico, como a estrutura floral de orquídeas, então o produto da hibridação certamente será não adaptativo e este processo representa pouca influência na evolução.

Também no melhoramento de espécies florestais e gramíneas forrageiras, existe analogia com a evolução orgânica e a hibridação interespecífica tem importância (Ex: *Populus*, *Pinus*, *Eucalyptus*). No caso da cana-de-açúcar que é do grupo das grandes culturas, a hibridação interespecífica tem grande importância no melhoramento, devido à possibilidade de propagação vegetativa. De fato, a hibridação interespecífica tem sido amplamente utilizada para a incorporação na espécie nobre (*Saccharum officinarum*) de genes de resistência a doenças provenientes de *S. spontaneum* e *S. robustum*.

### 3.2 HIBRIDAÇÃO NO MELHORAMENTO

A hibridação no sentido mais amplo também tem sido de interesse no melhoramento de grande parte das espécies cultivadas, tanto para a exploração do vigor de híbrido na geração  $F_1$  como para promover o aparecimento de variabilidade genética em populações. Os métodos de melhoramento não serão abordados nesse capítulo, pois são discutidos em detalhes em outros capítulos desse livro.

#### 3.2.1 ESPÉCIES AUTÓGAMAS

Nas espécies autógamas a seleção de plantas individuais ou seleção massal pode ser efetiva se a população base apresentar suficiente variabilidade genética. Entretanto, como os indivíduos existem em alto grau de homozigose, a variabilidade pode ser limitada e comprometer os progressos subseqüentes. Johanssen em seu trabalho clássico com feijão, verificou que a seleção em uma população variável conduzia à fixação de “linhas puras”. Assim, a seleção continuada entre as linhas puras resulta em limitação do progresso genético. Progressos adicionais só podem ser esperados com o aumento da variabilidade genética, via hibridação. A hibridação em espécies autógamas baseia-se no cruzamento entre duas (ou mais) variedades ou linhagens previamente escolhidas pelo grau de complementação de caracteres importantes, seguido de seleção da população segregante utilizando-se dos diversos métodos de melhoramento disponíveis para as espécies autógamas:

- Método genealógico ou *pedigree* – iniciando-se a seleção em plantas individuais na geração  $F_2$  e depois entre e dentro de linhas  $F_3$ ,  $F_4$  etc., até atingir o grau de homozigose desejado.
- Método da população ou *bulk* – pelo qual as gerações segregantes  $F_2$ ,  $F_3$ ,  $F_4$  etc., são conduzidas sem seleção até que as plantas atinjam alto grau de homozigose, quando se inicia a seleção entre linhas puras.
- Método do retrocruzamento – referindo-se a um processo de introgressão, pelo qual as plantas híbridas são retrocruzadas com um dos genitores, geralmente visando à incorporação de uma ou mais características do pai doador.
- Método da semente única (*SSD – single seed descent*) – semelhante ao método massal no que diz respeito à condução da população até completa homozigose sem seleção; porém, apenas uma semente de cada planta é tomada em cada geração.

### 3.2.2 ESPÉCIES ALÓGAMAS

Nas populações alógamas, a hibridação entre indivíduos constitui o mecanismo natural de reprodução e tem o efeito de manter a variabilidade na população e a condição de alta heterozigose nos indivíduos. Em populações com alta variabilidade, a seleção massal ou individual pode ser efetiva como método de melhoramento. De outra maneira, a variabilidade pode ser restaurada ou criada mediante hibridação entre variedades diferentes ou pela síntese de sintéticos de linhagens ou compostos de variedades. Wellhausen (1965) já recomendava a síntese de compostos para a introgressão de germoplasma exótico de milho nos Estados Unidos.

Outros tipos de cruzamentos controlados também são utilizados no melhoramento de espécies alógamas para a obtenção de progênie ou famílias:

- Família de meios-irmãos: cruzando-se um indivíduo com toda a população
- Família de irmãos germanos: cruzamento biparental (planta a planta)
- Família *topcross*: cruzamentos de genótipos com um testador comum
- Seleção recíproca: em duas populações cruzam-se genótipos de cada uma com a população contrastante.

## 4. EXEMPLOS DA UTILIZAÇÃO DE HÍBRIDOS NA AGRICULTURA

Nas espécies autógamas, o uso do vigor de híbrido é bastante limitado, devido às dificuldades de emasculação e polinização e também porque muitas delas produzem somente uma semente por flor, o que inviabiliza a utilização da semente híbrida pela reduzida quantidade de semente obtida por hibridação. Assim, a utilização de semente híbrida fica limitada a algumas espécies. Por exemplo, existem limitações ao uso de híbridos nas espécies de trigo, aveia, cevada e algumas leguminosas (soja, feijão, ervilha).

Nas espécies alógamas, o uso do vigor de híbrido é mais generalizado porque a polinização cruzada é o sistema natural de reprodução. Entretanto, para a produção de semente híbrida o cruzamento controlado e a emasculação são necessários e aí reside grande parte das dificuldades.

Na seqüência, são apresentados alguns dos exemplos mais notáveis da utilização de híbridos na agricultura.

### • Sorgo (*Sorghum bicolor*)

O sorgo é uma espécie autógama, com cerca de 6% de cruzamento entre plantas em linhas adjacentes, de modo que as primeiras cultivares se constituíam de linhas puras. Entretanto, a expressão da heterose em cruzamentos estimulou a produção de semente híbrida. As primeiras comparações de híbridos com variedades no Texas (EUA), mostraram que o híbrido RS 610 produziu 26% mais do que Martin, a variedade local mais cultivada na época (Quinby & Schertz, 1970).

Com a descoberta da macho-esterilidade genético-citoplasmática foi possível implementar a produção de semente híbrida. Isto foi possível porque o sorgo apresenta uma inflorescência exposta e ocorre ampla disseminação do pólen pelo vento e por insetos. Assim, para a produção da semente híbrida, tem-se que dispor de duas linhagens (A e R) previamente selecionadas para expressão de uma combinação híbrida desejável, incluindo heterose na produtividade.



Representando por [N] e [S] os citoplasmas normal e estéril, por *Rf* o gene dominante que confere restauração da fertilidade e por *rf* o seu alelo recessivo que não restaura a fertilidade, são identificadas três tipos de linhagens: [S] *rfrf*: linhagem A; [N] *rfrf*: linhagem B; e [N] *RfRf*: linhagem R (restauradora). A semente híbrida comercial é obtida do cruzamento A x R, ou seja, [S] *rfrf* x [N] *RfRf*, resultando o híbrido [S] *RfRf* que deverá apresentar fertilidade masculina no campo do agricultor (Figura 1). A linhagem B é muito semelhante geneticamente à linhagem A, diferindo apenas pelo citoplasma; é utilizada no esquema de produção somente para manutenção da linhagem A, pois A x B ⇒ A, ou seja [S] *rfrf* x [N] *rfrf* ⇒ [S] *rfrf*.

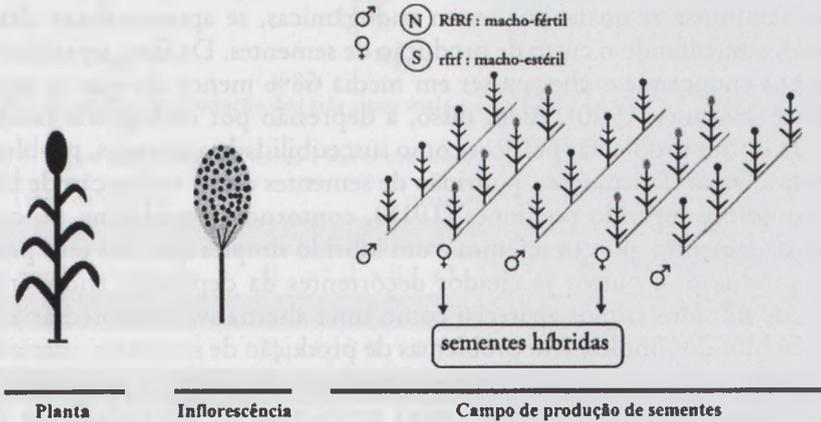


FIGURA 1. Esquema de produção de sementes híbridas em sorgo.

• Milho (*Zea mays*)

Este é, sem dúvida, o exemplo mais notável da utilização da heterose na geração F<sub>1</sub> e foi a primeira cultura que permitiu o estabelecimento de companhias especializadas na produção de semente híbrida. Também devido ao sucesso do milho híbrido, houve interesse dos melhoristas em pesquisar a possibilidade do uso do vigor de híbrido em outras culturas. Os primeiros trabalhos de Beal (1880) sobre híbridos intervarietais, de Shull (1908, 1909) que estabeleceu o sistema de endogamia-hibridação e de Jones (1918) que sugeriu a utilização de híbridos duplos para viabilizar a comercialização da semente híbrida, foram as grandes contribuições iniciais para o sucesso do milho híbrido. Posteriormente, desenvolveram-se novas metodologias de melhoramento de populações e de linhagens, exploraram-se novas fontes de germoplasma e ampliou-se a abrangência de ambientes e a dimensão dos esquemas de experimentação. Todas estas iniciativas formaram um forte conjunto de ações de

pesquisa que contribuíram para o grande avanço da exploração do milho híbrido em todo o mundo.

Sendo o milho uma espécie monóica, com ambos os sexos na mesma planta porém em órgãos separados, e também devido ao tamanho da planta e da inflorescência, o processo de emasculação, que faz parte do sistema de produção da semente híbrida, torna-se relativamente fácil. Assim, os híbridos são produzidos plantando-se linhas de macho (polinizador) e linhas de fêmea (emasculadas ou despendoadas artificialmente) em proporção variável (1:2, 1:3, 1:4, 2:4, 2:6 etc.) em campos isolados para evitar contaminação por pólen estranho. Existem diversos tipos de híbridos, mas em qualquer caso, o esquema de plantio pareado macho:fêmea é utilizado (Figura 2). As sementes híbridas são colhidas nas fêmeas e os machos são destruídos logo após a polinização.

Os diversos tipos de híbridos em milho são mostrados na Tabela 3. Os híbridos simples, envolvendo cruzamento de apenas duas linhagens, foram os primeiros concebidos no início da história do milho híbrido com os trabalhos de Shull (1908, 1909). Entretanto, não foi possível utilizar este tipo de híbrido para a produção comercial de sementes. O principal entrave era a baixa produção de sementes nas linhagens femininas as quais, por serem endogâmicas, se apresentavam altamente depressivas, aumentando o custo de produção de sementes. De fato, a produtividade de linhagens endogâmicas chega a ser em média 68% menor do que os tipos não endogâmicos (Hallauer, 1990). Além disso, a depressão por endogamia também se revelava em outros problemas práticos como suscetibilidade a doenças, problemas de acamamento, vigor de sementes, podridão de sementes etc. A utilização de híbridos duplos, conforme sugerido por Jones (1918), contornou o problema do custo de produção de sementes, porque a fêmea é um híbrido simples que não tem problema de baixa produção, e outros já citados decorrentes da depressão endogâmica. A utilização de híbridos triplos apareceu como uma alternativa intermediária, pois a fêmea é um híbrido simples, sem problemas de produção de sementes, mas o macho é uma linhagem cuja única finalidade é a produção de pólen; a utilização de um macho endogâmico também pode trazer problemas de debilidade da planta, acamamento e deficiência na produção de pólen, que podem resultar em limitações de ordem prática (Figura 3).

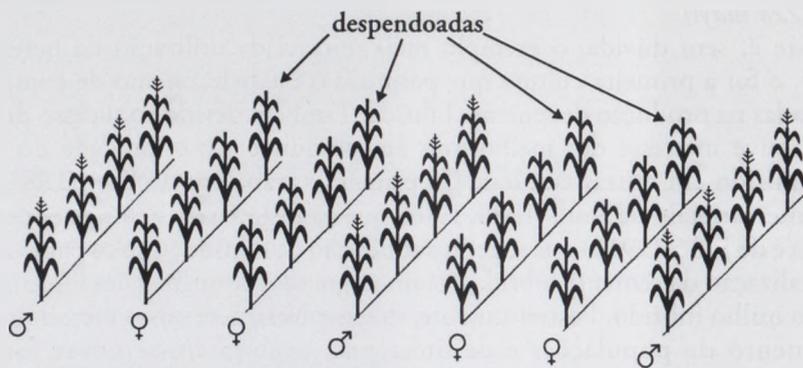


FIGURA 2. Esquema de um campo de produção de sementes híbridas de milho na proporção de 1 macho: 2 fêmeas.

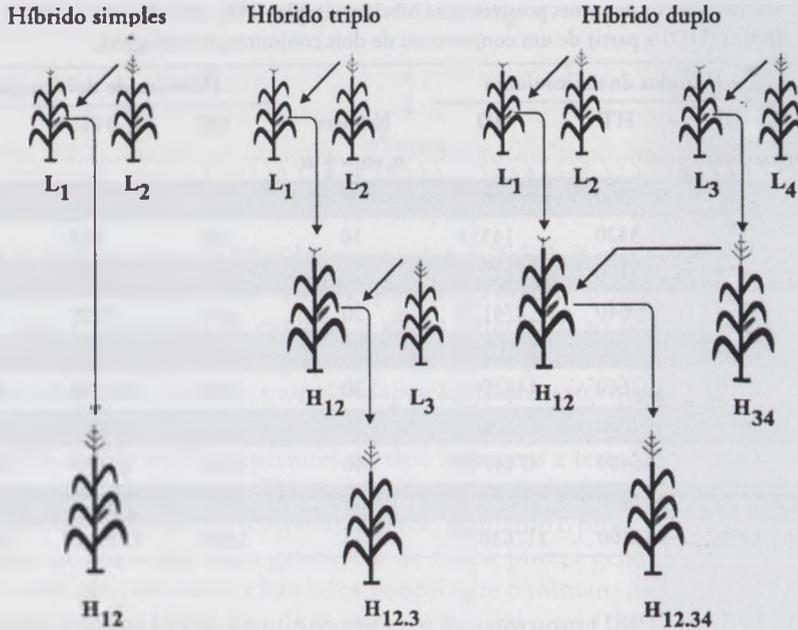


FIGURA 3. Esquema de produção dos três tipos mais comuns de milho híbrido.

TABELA 3. Tipos de híbridos de milho e sua constituição em termos de cruzamento.

Tipos de híbrido	Cruzamento'	Simbologia
Híbrido simples	$L_1 \times L_2$	$H_{12}$
Híbrido simples modificado	$[L_{11} \times L_{12}] \times [L_{21} \times L_{22}]$	$H_{11,22}$
Híbrido triplo	$[L_1 \times L_2] \times L_3$	$H_{12,3}$
Híbrido duplo	$[L_1 \times L_2] \times [L_3 \times L_4]$	$H_{12,34}$
Híbrido topcross	$L_1 \times$ variedade ou população	$H_{1,v}$
Híbrido múltiplo	$[(L_1 \times L_2) \times L_3] \times [(L_4 \times L_5) \times L_6]$	$H_{123,456}$
Híbrido de famílias	MI x MI, IG x IG, $S_1 \times S_1$ etc.	$H_{MI}, H_{IG}, H_{II}$ etc.
Híbrido intervarietal	$V_1 \times V_2$	$H_{V1,V2}$

' $L_1, L_2, \dots$ : linhagens endogâmicas;  $V_1, V_2, \dots$ : variedades ou populações; MI: família de meios-irmãos; IG: família de irmãos germanos;  $S_1, S_2, \dots$ : famílias de autofecundação.

A partir de um determinado conjunto com  $n$  linhagens endogâmicas, podem ser feitos híbridos simples, híbridos triplos e/ou híbridos duplos. Os números de combinações possíveis em cada caso são  $N_{HS} = C_n^2 = \frac{1}{2} n(n-1)$ ,  $N_{HT} = 3 C_n^3 = \frac{1}{2} n(n-1)(n-2)$  e  $N_{HD} = 3 C_n^4 = \frac{1}{8} n(n-1)(n-2)(n-3)$ . Há situações em que se combinam linhagens provenientes de duas populações contrastantes (A e B) com padrão heterótico conhecido. Assim, tomando-se  $n_1$  e  $n_2$  linhagens das populações A e B, os números de combinações possíveis em cada caso são:  $N_{HS} = n_1 n_2$ ,  $N_{HT} = n_1 C_{n_2}^2 + n_2 C_{n_1}^2 = \frac{1}{2} n_1 n_2 (n_2 - 1) + \frac{1}{2} n_1 n_2 (n_1 + n_2 - 2)$ ,  $N_{HD} = C_{n_1}^2 \cdot C_{n_2}^2 = \frac{1}{4} n_1 n_2 (n_1 - 1)(n_2 - 1)$  (Hallauer & Miranda Filho, 1995). Na Tabela 4 são mostrados os números de combinações possíveis para os três tipos de híbridos, considerando um ou dois conjuntos de linhagens.

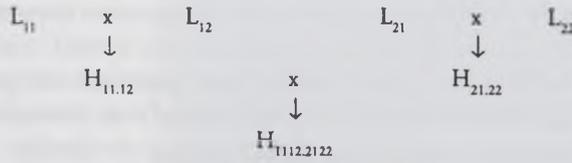
TABELA 4. Número de combinações possíveis para híbridos simples (HS), híbridos triplos (HT) e híbridos duplos (HD) a partir de um conjunto ou de dois conjuntos de linhagens.

Número (n)	Híbridos de um conjunto			Número $n_1 = n_2 = \frac{1}{2} n$	Híbridos de dois conjuntos		
	HS	HT	HD		HS	HT	HD
10	45	360	630	5	25	100	100
20	190	3420	14535	10	100	900	2025
30	435	12180	82215	15	225	3150	11025
40	780	29640	274170	20	400	7600	36100
50	1225	58800	690900	25	625	15000	90000
60	1770	102660	1462905	30	900	26100	189225
70	2415	164220	2750685	35	1225	41650	354025
80	3160	246480	4744740	40	1600	62400	608400
90	4005	352440	7665570	45	2025	89100	980100
100	4950	485100	11763675	50	2500	122500	1500625

Cockerham (1961) mostrou que para um conjunto de linhagens endogâmicas, os híbridos simples, triplos e duplos que podem ser feitos expressam variâncias na seguinte ordem de magnitude:  $\sigma_{HS}^2 > \sigma_{HT}^2 > \sigma_{HD}^2$ . Na ausência de dominância,  $\sigma_{HS}^2$  pode ser até duas vezes  $\sigma_{HD}^2$ , indicando que a seleção entre híbridos simples pode levar a resultados mais promissores do que a seleção entre híbridos duplos, a partir de um mesmo conjunto de linhagens. Quando se trata de dois conjuntos de linhagens, os híbridos são identificados ao nível interpopulacional, ou seja, os híbridos simples formados por uma linhagem de cada conjunto e os híbridos duplos formados por um híbrido simples de cada conjunto. Nos híbridos triplos existem duas alternativas de cruzamento: híbrido simples do conjunto A x linhagem de B ou híbrido simples do conjunto B x linhagem de A, que levam a resultados geneticamente diferentes; estes dois tipos são designados de HT<sub>12</sub> e HT<sub>21</sub>, respectivamente.

O híbrido simples modificado (HSm) foi uma alternativa concebida para contornar parcialmente o problema de produção de semente híbrida, com o mínimo de perda da potencialidade genética do híbrido simples. O HSm é obtido a partir de quatro linhagens, à semelhança do híbrido duplo. Porém, os dois híbridos simples parentais (macho e fêmea) são obtidos pelo cruzamento de linhagens irmãs que são muito parecidas geneticamente, mas com um grau de divergência suficiente para garantir um mínimo de vigor, tal que possa assegurar a produção de sementes. As linhagens irmãs são oriundas de uma mesma planta original (S<sub>0</sub>), mas são diferentes geneticamente porque elas são selecionadas em uma geração segregante (S<sub>1</sub>, S<sub>2</sub>, S<sub>3</sub>, ...). Elas são tanto mais semelhantes quanto mais avançada estiver a geração onde a genealogia é aberta (Figura 4).

As quatro linhas utilizadas na formação do híbrido simples modificado podem então ser simbolizadas por L<sub>11</sub> e L<sub>12</sub> (linhas irmãs) do lado feminino e L<sub>21</sub> e L<sub>22</sub> (linhas irmãs) do lado masculino, ou vice-versa. O sistema de cruzamento é como representado a seguir.



Híbrido simples modificado

Os demais tipos de híbridos mostrados na Tabela 3 têm sido menos utilizados na agricultura. O híbrido intervarietal, que resulta do cruzamento de duas variedades, também tem o propósito de explorar o efeito heterótico ao nível interpopulacional. Ainda é utilizado em algumas regiões do Brasil, principalmente pela rusticidade, baixo custo de produção de sementes e ampla adaptação, fatores estes que atendem à agricultura menos tecnificada. O híbrido *topcross* pode ser utilizado nas situações em que são identificadas combinações superiores do tipo linhagem x testador na fase de avaliação das linhagens endogâmicas. Tais combinações promissoras podem ser exploradas comercialmente, pelo menos temporariamente, enquanto o programa ainda não dispuser de híbridos de mais alto valor genético e de maior pureza genética dos genitores. Os híbridos múltiplos são assim chamados sempre que o número de linhagens envolvidas nos cruzamentos for maior do que quatro. Assim seria o caso do cruzamento entre dois híbridos triplos ou entre um híbrido simples e um híbrido triplo.

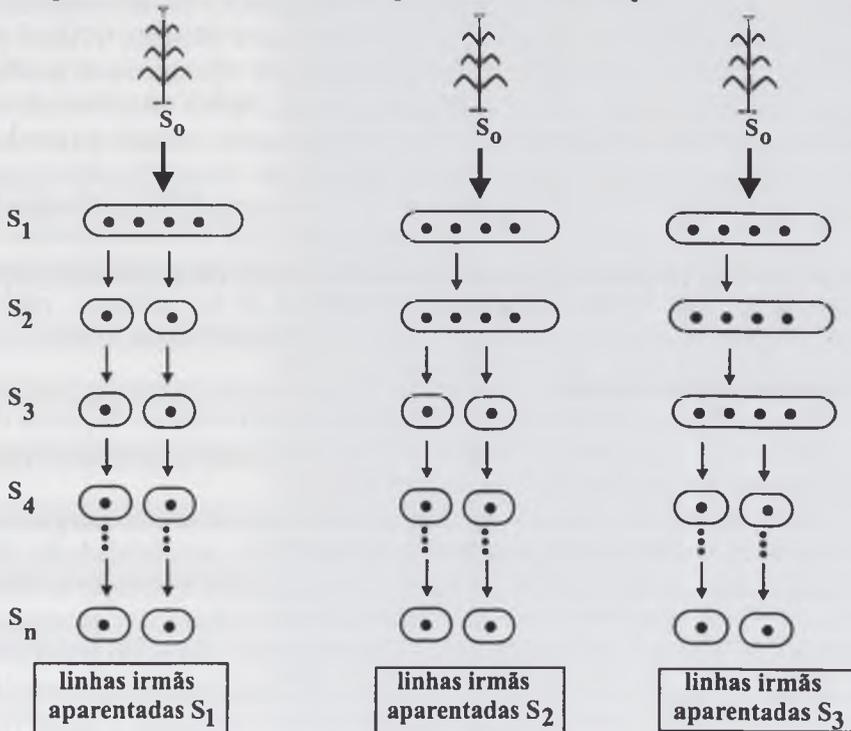


FIGURA 4. Esquema mostrando linhagens irmãs com separação da genealogia em diferentes gerações de endogamia.

Os híbridos de famílias são obtidos pelo cruzamento entre famílias de meios-irmãos, de irmãos germanos ou de autofecundação ( $S_1$ ,  $S_2$  etc.). Em qualquer caso, a multiplicação das famílias para serem usadas como parentais em gerações sucessivas, equivale a uma redução do tamanho efetivo populacional cuja conseqüência é o aumento do grau de homozigose em decorrência da endogamia. As famílias assim conduzidas devem resultar em graus intermediários de endogamia ( $0 < F < 1$ ; sendo  $F$  o coeficiente de endogamia de Wright), com valores esperados de  $\frac{1}{8}$  para meios-irmãos,  $\frac{1}{4}$  para irmãos germanos,  $\frac{1}{2}$  para  $S_1$ ,  $\frac{3}{4}$  para  $S_2$  e assim por diante. A utilização de famílias ou subpopulações com níveis mais brandos de endogamia têm a vantagem de facilitar e diminuir o custo de produção de sementes, mas com possibilidades de exploração de combinações genéticas específicas de alto padrão. Porém, os híbridos de famílias tiveram pouco interesse por parte de pesquisadores e produtores de sementes devido à dificuldade de manter com segurança a identidade das famílias ou subpopulações parentais e também por questões de segurança no que diz respeito à proteção de cultivares. Os híbridos de famílias também são chamados de híbridos intermediários devido ao grau de endogamia dos pais que fica na faixa intermediária entre um genitor totalmente endógamo (linha pura) e uma população ou variedade não endógama.

Na produção de qualquer dos tipos de híbridos de milho, a semente híbrida é colhida na fêmea, que é emasculada artificialmente. Entretanto, da mesma maneira que no sorgo, existe possibilidade de utilizar a macho-esterilidade genético-citoplasmática para facilitar e diminuir o custo de produção de sementes. O sistema é semelhante ao do sorgo, sendo (S)rfrf a constituição de uma linha estéril e (N)RfRf, (N)Rfrf, (N)rfrf, (S)RfRf ou (S)Rfrf as constituições de um genótipo fértil. O esquema de produção de sementes seria semelhante ao já mostrado para o sorgo. Após a descoberta da macho-esterilidade em milho, este sistema passou a ser amplamente utilizado na produção de semente híbrida. O tipo de citoplasma mais utilizado na época era o denominado de citoplasma T, por ter sido descoberto no Texas. Entretanto, em 1970 nos Estados Unidos e em 1971 no Brasil ocorreram epidemias causadas pelo fungo *Helminthosporium maydis*, causando grandes prejuízos. O uso de citoplasma estéril foi abolido do sistema de produção de sementes mas ainda existem perspectivas de sua utilização, explorando tipos de citoplasma diferentes da fonte T (Miranda Filho & Viégas, 1987).

• Girassol (*Helianthus annuus*)

O nome vulgar desta espécie faz referência à característica da planta de girar sua inflorescência, seguindo o movimento do sol, até a antese, quando se posiciona na direção leste (Castiglioni & Oliveira, 1999a).

A importância do girassol ao nível mundial deve-se ao seu alto potencial de produção de óleo, facilidade de extração e qualidade de óleo, possibilidade de utilização na alimentação humana e animal, tolerância a seca e ampla adaptação às condições ambientais (Ungaro, 1993). O óleo de girassol apresenta sabor suave e aroma neutro, sendo considerado uma excelente fonte de ácido linoléico, um ácido graxo essencial; possui também baixo teor de ácido linolênico. Castiglioni & Oliveira (1999a) salientaram que a sua composição lhe garante maior estabilidade e conservação do sabor original durante o processamento ou em situações adversas de armazenamento. Os autores também destacaram a importância do melhoramento genético, o qual já disponibilizou cultivares com alto teor de ácido oléico (80%).

O girassol cultivado apresenta número cromossômico  $2n = 34$ . Esta espécie é alógama com ocorrência de protandria e auto-incompatibilidade, sendo esta do tipo esporofítica. As plantas apresentam flores completas e perfeitas, com graus de auto-incompatibilidade variando de 0 a 100% (Castiglioni & Oliveira, 1999b). A polinização é principalmente entomófila, sendo as abelhas consideradas o principal agente polinizador; a polinização pelo vento é dificultada em função do peso do grão de pólen (Castiglioni & Oliveira, 1999a).

A hibridação é usualmente empregada nos programas de melhoramento de girassol. Basicamente envolve duas etapas: a) emasculação – que pode ser manual, química com ácido giberélico e uso de auto-incompatibilidade; b) polinização. Detalhes mais específicos sobre o processo são apresentados por Miller (1987) e Castiglioni & Oliveira (1999a).

O uso de macho-esterilidade é comum nos programas de melhoramento de girassol. O sistema mais empregado atualmente é a macho-esterilidade genético-citoplasmática, relatado por Leclercq (1969) a partir de um cruzamento interespecífico de *H. petiolaris* Nutt e *H. annuus* L., a qual vem sendo amplamente utilizada nos programas de melhoramento ao nível mundial (Castiglioni & Oliveira, 1999a). Várias fontes de macho-esterilidade têm sido reportadas por diversos pesquisadores (Marinkovic & Miller, 1995). Castiglioni & Oliveira (1999a) relataram que o uso de macho-esterilidade na produção de híbridos de girassol é o método mais seguro, menos trabalhoso e de menor custo. Alguns programas de melhoramento têm-se utilizado de cruzamentos interespecíficos conforme indicado na Tabela 5. As metodologias comumente empregadas no melhoramento do girassol são discutidas detalhadamente por Miller (1987) e Castiglioni & Oliveira (1999b).

TABELA 5. Possibilidades de cruzamentos interespecíficos com *Helianthus annuus* ( $n = 17$ ).

Possibilidade de cruzamento	Espécie	Cromossomos (n)
Cruzamento em condições naturais	<i>H. petiolaris</i>	17
	<i>H. giganteus</i>	17
	<i>H. maximiliani</i>	17
	<i>H. grosseratus</i>	17
	<i>H. ruderalis</i>	17
	<i>H. debilis</i>	17
	<i>H. annuus</i>	17
	<i>H. mollis</i>	17
	<i>H. divaricatus</i>	34
	<i>H. strumosus</i>	51
	<i>H. tuberosus</i>	51
Cruzamento em determinadas condições	<i>H. divaricatus</i>	17
	<i>H. scaberrimus</i>	34
Ausência de cruzamento	<i>H. annuus</i>	17
	<i>H. nuttallii</i>	17
	<i>H. hirsutus</i>	17
	<i>H. orginalis</i>	17
	<i>H. argenteus</i>	17
	<i>H. salicifolius</i>	17

• Arroz (*Oryza sativa*)

Abordagens sobre a classificação botânica, origem e domesticação, além da descrição e aplicação dos métodos utilizados no melhoramento do arroz podem ser encontradas em McKenzie *et al.* (1987), Guimarães (1999) e Castro *et al.* (1999).

De acordo com Castro *et al.* (1999) arroz cultivado se diferencia em dois grupos – *indica* e *japonica* – os quais apresentam certa semelhança. Os autores relataram também que as cultivares *japonica* ocorrem nos trópicos até as zonas temperadas, enquanto as *indica* encontram-se nas regiões tropicais e subtropicais; as cultivares *japonica* mostram-se mais tolerantes ao frio que as *indica*. Guimarães (1999) ressaltou que, em geral, as variedades adaptadas ao sistema de cultivo de sequeiro pertencem ao grupo *japonica* e as de cultivo irrigado ao grupo *indica*. No Brasil, ocorrem quatro espécies silvestres do gênero *Oryza*, sendo uma diplóide e as demais tetraplóides (Morishima, 1994), sendo que o potencial dessas espécies para o melhoramento foi enfatizado por Ando & Rangel (1994), com destaque para *O. glumaepatula*.

Dentre as espécies autógamas, o arroz merece destaque na exploração comercial do vigor de híbrido. McKenzie *et al.* (1987) relataram que por volta de 1970, Loung-Ping Yuan, considerado o idealizador do arroz híbrido, encontrou uma fonte de macho-esterilidade citoplasmática em um arroz selvagem na China. Em 1973, Yuan desenvolveu os três tipos de linhagens necessárias para a produção do arroz híbrido (sistema ABR), onde: a linhagem A é macho-estéril citoplasmática; a linhagem B é a mantenedora; e a linhagem R é a restaurador da fertilidade.

A identificação de linhagens com macho-esterilidade determinada pelas condições ambientais (*Environmental sensitive genic male sterility* – EGMS) possibilitou a obtenção de híbridos a partir de duas linhagens. Essa metodologia é mais simples e mais eficiente quando comparada com o sistema ABR (Xingguo *et al.*, 1998).

A expressão da esterilidade é influenciada por fatores ambientais, podendo ser de dois tipos (Virmani *et al.*, 1997):

- a) PGMS (*Photoperiod sensitive genic male sterility*) – macho-esterilidade por sensibilidade ao fotoperíodo, o qual inclui as linhagens macho-estéreis que alternam o comportamento do pólen entre estéril e fértil em resposta ao fotoperíodo. Assim, a maioria das linhagens PGMS permanece estéril sob condições de dias longos (>13h), revertendo para a condição de fertilidade em condições de dias curtos (<13h).
- b) TGMS (*Thermosensitive genic male sterility*) – macho-esterilidade por termossensibilidade, a qual inclui as linhagens macho-estéreis que alternam seu comportamento entre fertilidade e esterilidade dependendo da temperatura. Assim, a maioria das linhagens TGMS permanece estéril sob condições de altas temperaturas e reverte para a condição de fertilidade parcial em baixas temperaturas. O ponto crítico entre fertilidade e esterilidade é variável de genótipo para genótipo.

Yuan & Fu (1995) e Virmani *et al.* (1997) ressaltaram algumas vantagens do sistema de híbridos com duas linhagens (EGMS), entre elas:

- Não há necessidade de usar a linhagem mantenedora (B), isso simplifica o esquema de obtenção de híbridos e também reduz o custo da semente híbrida.
- Sob condições de dias curtos e baixas temperaturas as linhagens PGMS e TGMS, respectivamente, reverterem seu comportamento para uma situação de fertilidade quase normal, sendo então possível multiplicá-las por autofecundação.
- Genes que conferem PGMS e TGMS podem ser facilmente transferidos para quase todas as cultivares de arroz, gerando novas fontes de linhagens macho-estéreis para os diversos programas de melhoramento.
- Qualquer linhagem fértil pode ser utilizada como genitor masculino. Conseqüentemente, a frequência de híbridos heteróticos é maior entre híbridos oriundos de duas linhagens (simples) do que de três linhagens (triplos). Como não há necessidade de genes restauradores no genitor masculino no sistema de híbridos com duas linhagens, este sistema é considerado ideal para o desenvolvimento de híbridos *indica x japonica*, uma vez que a maioria das linhagens *japonica* não apresenta genes restauradores.

Yuan & Fu (1995) salientaram que para áreas tropicais as linhagens TGMS são mais úteis que as PGMS, pois o comprimento do dia é relativamente mais curto e a temperatura é mais elevada, ao passo que as linhagens PGMS são mais indicadas para altas latitudes.

Outro aspecto que tem sido investigado pelos melhoristas de arroz é a ocorrência e a utilização da apomixia; nesse caso, apenas uma linhagem elite seria utilizada (Yuan & Fu, 1995; Virmani *et al.*, 1998).

#### • **Triticale** (*X Triticosecale*)

De acordo com Baier (1999a) triticale é uma espécie sintética – híbrido interespecífico entre *Triticum* spp. L. e centeio *Secale cereale* L. – que combina a qualidade e a produtividade do trigo com a rusticidade e a resistência às doenças do centeio. Há muita controvérsia em relação ao nome científico do triticale, sendo que Varughese *et al.* (1996) sugeriram o emprego genérico de *X Triticosecale* Wittmack.

A partir do cruzamento de trigo comum (*Triticum aestivum* L.) com centeio (*Secale cereale* L.) são obtidos triticales octoplóides (28 pares de cromossomos); o cruzamento de trigo tetraplóide (*T. turgidum* L.) com centeio produzem triticales hexaplóides (21 pares de cromossomos). Dentre os vários tipos a forma hexaplóide apresenta o maior potencial agrônômico, principalmente na alimentação de animais (Baier, 1999b).

Quando o triticale é derivado diretamente do cruzamento entre as espécies ancestrais, ou seja trigo e centeio, ele é dito primário, e é considerado secundário, quando é resultante do cruzamento entre primários ou destes com outros secundários. Além disso, são ditos completos os hexaplóides que contêm todos os sete pares de cromossomos dos genomas A e B – do trigo – e R do centeio; são considerados substituídos aqueles hexaplóides em que um ou mais cromossomos de centeio foram substituídos por cromossomos de trigo (Baier *et al.*, 1994).

Os métodos utilizados para as espécies autógamas são rotineiramente empregados no melhoramento do triticale, principalmente a hibridação entre

genótipos de triticale hexaplóide com características complementares e posterior seleção dos indivíduos que expressem características desejáveis (Baier, 1999a).

No Brasil os principais objetivos que norteiam o melhoramento de triticale são: aumento da produtividade, resistência às doenças e à germinação pré-colheita, melhor qualidade nutricional e maior adaptação aos solos ácidos (Baier *et al.*, 1994). O desenvolvimento de triticale com dupla aptidão – forragem e grão – principalmente para cultivo em rotação com soja e milho no verão, apresenta elevado potencial de utilização no sul do Brasil (Baier & Gustafson, 1996). Além disso, constitui-se em excelente opção na diversificação dos cultivos de inverno, pois apresenta uma base genética distinta em relação às principais doenças dos cereais de inverno (Baier, 1999b).

#### • Cebola (*Allium cepa*)

A inflorescência da cebola é uma umbela, composta de inúmeras flores, que pode produzir de 50 a 300 sementes. A flor é completa com 6 estames. A produção de sementes via reprodução sexuada requer a ocorrência de florescimento. Entretanto, o florescimento em cebola requer um período de baixa temperatura por pelo menos dois meses. A temperatura adequada depende do ambiente, sendo de 7°C a 12°C em Pernambuco e cerca de 15°C em Minas Gerais; também pode variar de acordo com a variedade. No Brasil, somente no Rio Grande do Sul existem condições favoráveis para o florescimento natural; o bulbo é colhido em novembro-dezembro e plantado em junho-julho, passando por um choque natural de temperatura, florescendo em novembro-dezembro. A semente é colhida em período quente e seco.

No Estado de São Paulo, o florescimento da cebola só ocorre mediante choque artificial de temperatura, segundo um processo conhecido por **vernalização** ou **frigorificação**. Trata-se de um processo bianual: no primeiro ano produz-se o bulbo, o qual deve passar pela vernalização e florescer no plantio do segundo ano. A vernalização é realizada em dois períodos: no primeiro período (dezembro a março) a temperatura fica em torno de 1°C e no segundo período (até abril) entre 8°C e 12°C, para plantio em maio. Para fins de produção de sementes, a câmara frigorífica deve estar em torno de 70% de umidade.

Durante o armazenamento do bulbo é que ocorre o desenvolvimento do primórdio floral. O bulbo tem vários pontos vegetativos e para que todos os primórdios florais se desenvolvam, é necessário que a temperatura se mantenha baixa. Se houver um aumento de temperatura, pode ocorrer a “desvernalização” e os primórdios se desenvolvem em bulbo.

Para fins de melhoramento, os cruzamentos artificiais são feitos mediante emasculação. Na flor que vai ser utilizada como fêmea, arranca-se todas as flores que já abriram e deixa-se cerca de 50 flores por umbela. As anteras são arrancadas com uma pinça e, devido à ocorrência de protandria, não há perigo de autofecundação. As plantas feminina (emasculada) e masculina (polinizadora) são colocadas em vasos, lado a lado, e protegidas conjuntamente com tela ou saco. Insetos são introduzidos na proteção e se encarregam de promover a polinização. Naturalmente a cebola é procurada por abelhas, moscas e vespas, que promovem a polinização cruzada.

A emasculação artificial não tem rendimento suficiente para a produção de semente híbrida comercial. Para esse fim, utiliza-se a macho-esterilidade citoplasmática. Uma planta com citoplasma (S) que confere esterilidade masculina é utilizada como

fêmea. Uma outra linhagem ou variedade com citoplasma normal (N) é utilizada como polinizadora (Figura 5). O sistema de polinização com insetos (moscas ou abelhas) pode ser utilizado, plantando-se as plantas femininas e masculinas sob um telado protegido. As sementes colhidas nas fêmeas serão híbridas.

Jones & Emsweller, citados por Jones & Clark (1943), foram os primeiros a dar atenção ao uso da macho-esterilidade, encontrada na variedade Italian Red, na produção de híbridos comerciais de cebola. Jones & Clarke (1943) estudaram a herança da macho-esterilidade e constataram que era devido a um fator citoplasmático (S) cuja expressão depende da interação com o gene *ms*, sendo os tipos macho-estéreis de constituição (S) *msms*. A presença do gene dominante *Ms* confere fertilidade na planta com citoplasma (S). Portanto, plantas férteis podem ser do tipo (N)*msms*, (S)*MsMs* ou (S)*Msms* e as plantas macho-estéreis só podem ser do tipo (S)*msms*.

As sementes híbridas herdam o citoplasma (S) da mãe e, portanto, quando florescerem deverão ser macho-estéreis se o macho for do tipo (N)*msms*. Entretanto, o plantio comercial visa a produção de bulbos (parte vegetativa da planta) e não sementes, de modo que a condição de macho-esterilidade nas plantas híbridas é irrelevante.

A potencialidade de utilização de sementes híbridas em cebola pode ser confirmada por dados de produtividade em variedades e híbridos (Tabela 6).

Resultados de pesquisas recentes têm mostrado um grande potencial produtivo de variedades, equivalentes aos dos melhores híbridos, justificando o uso de variedades pelo menor custo de produção de sementes.

TABELA 6. Produtividade (kg de bulbo/ parcela de 40 plantas)\* em variedades e híbridos.

Variedades	kg/parcela	Híbridos	kg/parcela
BAIA PIRACICABA	7,768	BAIA PIRACICABA x BARREIRO	10,118
BARREIRO	9,260	BAIA PIRACICABA x TEXAS GRANO 502	10,390
TEXAS GRANO 502	6,325	BAIA PIRACICABA x EXCEL	10,060
EXCEL	7,140	BAIA PIRACICABA x ECLIPSE	9,195
ECLIPSE	5,835	BAIA PIRACICABA x RED CRIOULE	8,022
RED CRIOULE	7,685	EXCEL x BARREIRO	11,958
Média	7,336	Média	9,957

\*Fonte: Disciplina Melhoramento de Hortaliças (Dr. Márcilio Dias). Departamento de Genética, ESALQ/USP.

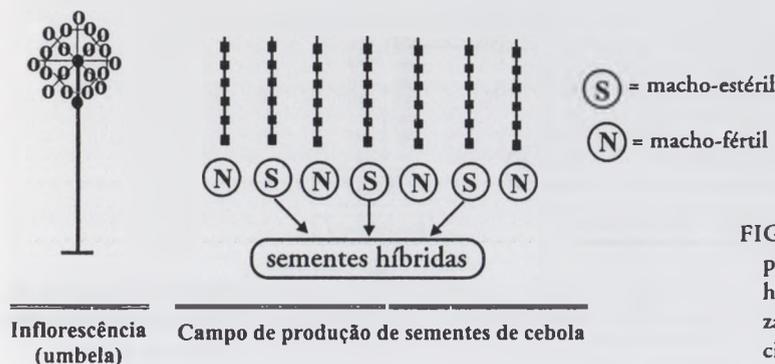


FIGURA 5. Esquema de produção de sementes híbridas de cebola utilizando macho-esterilidade citoplasmática.

• **Coco (*Coccus nucifera*)**

O coqueiro comum é uma palmácea que foi introduzida no Brasil após o descobrimento e espalhou-se por uma vasta área litorânea da região Nordeste, onde é identificado pelo nome vulgar de 'coco-da-baía'. O fruto destina-se ao consumo *in natura* ou à indústria. Tradicionalmente a produção do coco no Brasil tem sido pela exploração das populações naturais locais. Trata-se de uma espécie alógama, com as flores masculinas e femininas na mesma inflorescência (cacho), porém separadas espacialmente, ou seja, com localização das flores femininas na base e das masculinas na extremidade do cacho. Por ser espécie alógama, existe grande variabilidade genética dentro de populações naturais, mas há também marcante diferenciação entre populações. Na exploração comercial das populações naturais a variabilidade entre plantas representa um inconveniente por dificultar a produção de amêndoas com tamanho e peso padronizados.

A exploração de híbridos no Brasil já se iniciou há mais de duas décadas e tem apresentado a vantagem de maior produtividade e uniformidade dos frutos. No programa de hibridação, busca-se inicialmente determinar a capacidade de combinação entre populações brasileiras e introduzidas, sendo estas principalmente da Costa do Marfim (África) e também de Taiti, Índia, Malásia, Filipinas, Indonésia e outros países ou regiões tropicais.

Nas populações de coqueiro se destacam duas categorias: 'Gigante' e 'Anão'; as populações do tipo 'Anão' são autógamas e se diferenciam em dois grupos distinguidos pela cor do fruto: verde e amarelo.

Uma vez identificadas as combinações mais promissoras entre populações, o segundo passo é a identificação de genótipos dentro de populações que apresentem boa capacidade de combinação com a população contrastante. Para esse fim, tem-se utilizado um esquema de cruzamento recíproco (Figura 6) que se assemelha ao método de seleção recorrente recíproca delineado por Comstock *et al.* (1949).

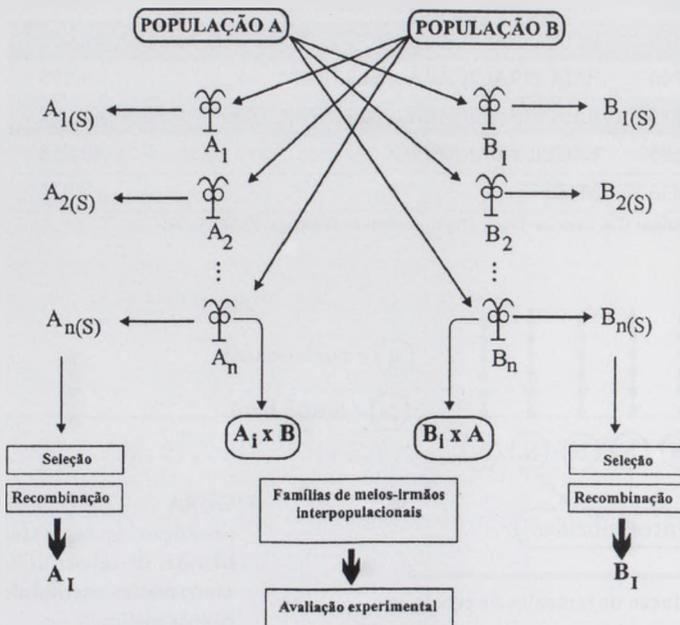


FIGURA 6. Esquema de cruzamento recíproco utilizado em coco.

No esquema, plantas individuais da população A são emasculadas e cruzadas com uma mistura de pólen da população B, e vice-versa. Destes cruzamentos resultam famílias de meios-irmãos ao nível interpopulacional,  $A_1 \times B$  e  $B_1 \times A$ . As famílias são avaliadas experimentalmente para a identificação dos melhores genótipos de A que cruzam bem com B, e vice-versa. As plantas individuais que participam dos cruzamentos são também autofecundadas simultaneamente, dando origem a sementes  $S_1$ . As sementes  $S_1$  correspondentes aos genótipos selecionados com base nas famílias de cruzamento são plantadas em lotes isolados para recombinação, sendo um para cada população. As sementes colhidas nos lotes de recombinação, representam as respectivas populações de primeiro ciclo ( $A_1$  e  $B_1$ ).

As sementes  $S_1$  dos melhores genótipos de cada população são também multiplicadas por cruzamento fraternal (dentro da linha). As linhas endogâmicas assim multiplicadas deverão ser avaliadas em cruzamentos específicos com linhagens da população contrastante, com vistas à identificação de combinações híbridas específicas superiores.

O esquema apresentado também pode ser utilizado quando de um dos lados tem-se uma linhagem endogâmica em vez de uma população. Neste caso, a seleção é feita só de um lado simplificando o esquema de cruzamento e a avaliação.

• Dendê (*Elaeis guineensis*) e Caiaué (*Elaeis oleifera*)

O dendê e o caiaué, duas importantes espécies das palmáceas, apresentam elevado potencial de produção de óleo vegetal. O dendê é originário da África e foi introduzido no Brasil na época da escravidão. Como espécie monóica e de polinização cruzada, ocorreu uma expansão de variabilidade que se diversificou em populações naturais. Além das populações brasileiras, outras fontes de germoplasma provêm de Angola, Malásia, Costa do Marfim, Nova Guiné, Camarões, Indonésia, Nigéria e outros países.

Para fins de seleção, o fruto do dendê é dividido em três partes: casca, mesocarpo e amêndoa ou palmiste. O objetivo da seleção é a maior produção de óleo por hectare e, portanto, a elevação da espessura do mesocarpo e do seu teor de óleo se fazem necessárias. A espessura da casca do fruto é controlada por um loco com dois alelos (D,d) que resultam nos seguintes genótipos: DD: Dura, Dd: Tenera e dd: Pisífera. Estes três tipos são representados no esquema abaixo.



Em geral os híbridos de interesse são do tipo Dura x Tenera e Dura x Pisífera. A inflorescência (cacho) contém flores femininas na base e masculinas na extremidade. A hibridação se faz mediante emasculação das plantas tomadas como femininas, seguindo-se a polinização com pólen coletado nas plantas masculinas.

O caiaué (*E. oleifera*) pertence ao mesmo gênero do dendê mas seu centro de origem é a bacia Amazônica, onde está representado por um grande número de

populações que cobrem grande área e diversos países. As fontes de germoplasma mais importantes provêm da própria Amazônia brasileira e seleções desenvolvidas na Costa Rica, Colômbia, Panamá, Nicarágua e Suriname.

Tanto para o dendê como para o caiaué, o esquema de seleção utilizado tem semelhança ao esquema de seleção recorrente recíproca sugerido por Comstock *et al.* (1949). O esquema geral de cruzamento e seleção assemelha-se ao do coqueiro, já apresentado anteriormente. Investigações recentes têm mostrado um grande potencial para aproveitamento do híbrido interespecífico *Elaeis guineensis* x *Elaeis olerifera* e, para esse fim, estratégias de intercâmbio de germoplasma de caiaué do Brasil e outros países produtores de dendê têm sido incrementadas.

• Repolho (*Brassica oleracea* var. *capitata*)

Existe uma grande variação entre os híbridos intervarietais de repolho com relação ao rendimento, maturação, qualidade etc. A produção de híbridos em repolho torna-se possível graças à existência de um sistema de alelos múltiplos ( $S_1, S_2, S_3, \dots$ ) que conferem auto-incompatibilidade (tipo esporofítica). Assim, um genótipo  $S_1S_2$  não se autofecunda e tampouco cruza com outra planta do mesmo genótipo. O primeiro passo em um programa de obtenção de híbridos é a identificação de linhas (obtidas por autofecundação no estágio de botão), que diferem quanto aos genes de incompatibilidade (ex:  $S_1S_2$  x  $S_3S_4$ ). O cruzamento se dá naturalmente entre duas linhas auto-incompatíveis, sendo que ambas as linhas produzem sementes híbridas (Figura 7). No Brasil já se cultivaram híbridos de origem japonesa (ex. Matsumaki-Riso e Shikidori) e híbridos intervarietais locais (ex. Repolho Louco x var. Sebastião Garcia).

Resultados sobre o potencial de híbridos e variedades de repolho com potencial para o cultivo de verão foram apresentados por Ikuta *et al.* (1965) e são resumidos na Tabela 7. O peso médio de cabeças variou de 464g (Tokinashi-Riso) a 3.222g (Sabauna). Outras características como precocidade e resistência a doenças (*Xanthomonas* sp. e *Pseudomonas* sp.) foram avaliadas e também mostraram grande variabilidade.

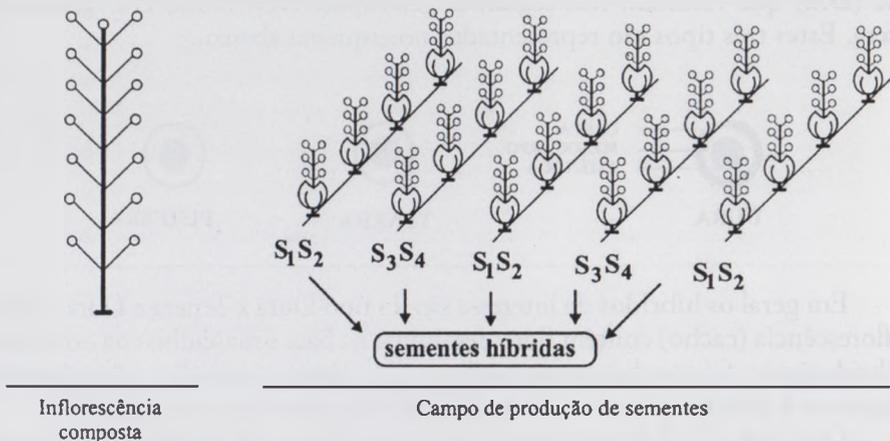


FIGURA 7. Ilustração de um campo de produção de sementes híbridas em repolho.

TABELA 7. Peso médio (g) de cabeças de variedades e híbridos de repolho.

Cultivar	Tipo	Peso*	Cultivar	Tipo	Peso*
BANCHU-RISO	H	630	AKIMAKI-CHU-BOSEI	H	1176
BOSEI-RISO	H	850	AKI-BOSEY	H	1096
SHIKI-RISO	H	474	LOUCO MOGI DAS CRUZES	VB	1414
UJI-ICHIGO	H	1442	UJI-MIDORI	H	1226
NATSUMAKI-BANSHUM	H	978	HAIATORI-GUMARI	H	1538
NATSUMAKI-RISO	H	764	ICHIGO	H	1732
BANKAMARI-SHIGATSUDORI	H	1052	YOSHIN-1	H	1278
SHIKIDORI	H	678	OITA-SHOKAMIKI-ICHIGO	VJ	1214
NATSUMAKI-NIGATSUDORI	H	660	YOSHIN-2	VJ	1300
CHUSEI	H	1310	HATSUAKI-TORI	H	1952
TOKINASHI-RISO	H	464	OITA-SHOKAMAKI-NIGO	VJ	1324
TOKUSHIN	VJ	974	YOSHIN-3	VJ	1384
KUROBA-CHUSEI-B	H	812	SABAUNA	VJ	3222
YOSHUM	H	936	NAMBU-WAKAGOMA	VJ	1258
AKIMAKI-CHUSEI	H	1222	KUKO-109	H	1494
TOP	H	1524	GOMARU	H	1260
MIYOSHI-KAHO	VJ	1214	HAYATORI-GOGO	H	1516
KUKAMOTO-NATSUMAKI	H	1412	AKIMAKI-BOSEI	H	1160
NEW TOP	H	1578	KUKO-103	H	1114
LOUCO-PIRACICABA	VB	1226	KUKAMOTO-KATSUMAKI	H	1048
EKO	H	878	C.M.	H	678
SHINSHU	H	1244	SIM-YOSHIN	VJ	1078
KUROBA-CJUSEI-A	H	808	BOSEI-MARU	H	648
ROKUMARU	H	1424	BOSEI	H	1412
CABBAGE	H	1048	KUKAMOTO-KATSUMAKI-2	H	960
HIGH-CROP	H	1654	YOSHIN-4	H	1390
SHOISHU	H	1402	YOSHIN-5	VJ	1696

H – híbridos de origem japonesa; VJ – variedades de origem japonesa; VB – variedades brasileiras.

\*Peso médio de parcelas com 20 plantas em três repetições. Fonte: Ikuta *et al.* (1965)

#### • Couve-flor (*Brassica oleracea* var. *botrytis*)

Da mesma maneira que o repolho, a couve-flor apresenta sistema de auto-incompatibilidade, o que possibilita a produção de semente híbrida. Pela utilização de plantas auto-incompatíveis, a produção de semente híbrida torna-se um processo economicamente viável pelo seu alto rendimento. Os cruzamentos ocorrem naturalmente nos campos de produção de sementes, as quais são colhidas em ambos os genitores. Na Tabela 8 são apresentados resultados de avaliação de variedades e híbridos de couve-flor.

TABELA 8. Peso médio de "cabeças" (inflorescência) e porcentagem de cabeças boas (CB: tipo aceitável no mercado) em variedades e híbridos de couve-flor.

População	%CB	Peso médio (g)
YAMAGUSHI x PIRACICABA	97,1	871
CAMPINAS x PIRACICABA	90,1	1142
TERESÓPOLIS x PIRACICABA	89,9	936
NAKAMURA x PIRACICABA	88,9	1099
HORÁCIO NEVES x PIRACICABA	84,1	1026
YAMADA x PIRACICABA	66,7	569
PIRACICABA	63,8	400
HOMJO x PIRACICABA	32,0	927

\*Fonte: Disciplina Melhoramento de Hortaliças (Dr. Marcílio Dias). Departamento de Genética, ESALQ/USP.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANDO, A.; RANGEL, P.H.N. Agronomical viewpoints. In: MORISHIMA, H.; MARTINS, P.S. (Ed.) *Investigations of plant genetic resources in the Amazon Basin with the emphasis on the genus *Oryza**. São Paulo: Monbusho; FAPESP, 1994. p.77-78. (Report from 1992/1993 Amazon Project)
- BAIER, A.C. Hibridação em triticale. In: BORÉM, A. (Ed.) *Hibridação artificial de plantas*. Viçosa: Ed. UFV, 1999a. p.499-516.
- BAIER, A.C. Melhoramento do triticale. In: BORÉM, A. (Ed.) *Melhoramento de espécies cultivadas*. Viçosa: Ed. UFV, 1999b. p.573-588.
- BAIER, A.C.; GUSTAFSON, J.P. Breeding strategies for triticale. In: GUEDES-PINTO, H.; DARVEY, N.; CARNIDE, V.P. (Ed.) *Triticale: today and tomorrow*. Dordrecht: Kluwer, 1996. p.563-569. (Developments in Plant Breeding, 5)
- BAIER, A.C.; NEDEL, J.L.; REIS, E.M.; WIETHÖLTER, S. *Triticale: cultivo e aproveitamento*. Passo Fundo: EMBRAPA, CNPT, 1994. 72p. (Documentos, 19).
- BEAL, W.J. *Indian Corn Report Mich. Board Agric.* v.19, p.279-289, 1880.
- CASTIGLIONI, V.B.R.; OLIVEIRA, M.F. Hibridação em girassol. In: BORÉM, A. (Ed.) *Hibridação artificial de plantas*. Viçosa: Ed. UFV, 1999a. p.295-306.
- CASTIGLIONI, V.B.R.; OLIVEIRA, M.F. Melhoramento do girassol. In: BORÉM, A. (Ed.) *Melhoramento de espécies cultivadas*. Viçosa: Ed. UFV, 1999b. p.351-384.
- CASTRO, E.M.; BRESEGUELLO, F.; RANGEL, P.H.N.; MORAES, O.P. Melhoramento do arroz. In: BORÉM, A. (Ed.) *Melhoramento de espécies cultivadas*. Viçosa: Ed. UFV, 1999. p.95-130.
- CLAUSEN, J. *Stages in the evolution of plant species*. Ithaca: Cornell University Press, 1951.
- COCKERHAM, C.C. Implications of genetic variances in a hybrid breeding program. *Crop Science*, v.1, p.47-52, 1961.
- COMSTOCK, R.E.; ROBINSON, H.F.; HARVEY, P.H. A breeding procedure designed to make maximum use of both general and specific combining ability. *Agronomy Journal*, v.41, p.360-367, 1949.
- DARWIN, C. *The effects of cross and self-fertilization in the vegetable kingdom*. New York: Appleton, 1877.
- GUIMARÃES, E.P. Hibridação em arroz. In: BORÉM, A. (Ed.) *Hibridação artificial de plantas*. Viçosa: Ed. UFV, 1999. p.101-119.
- HALLAUER, A.R. Methods used in developing maize inbreds. *Maydica*, v.35, p.1-16, 1990.
- HALLAUER, A.R.; MIRANDA FILHO, J.B. *Quantitative genetics in maize breeding*. Ames: Iowa State University Press, 1995. 468p.
- IKUTA, H.; KAWASAKI, S.; VENCOSKY, R. Ensaio de variedades e híbridos de repolho para o verão. Piracicaba: USP/ESALQ, Depto. de Genética, 1965. 6p. (Publicação Didática)
- JONES, D.F. The effects of inbreeding and crossbreeding upon development. *Connecticut Agricultural Experiment Station Bulletin*, v.207, p.5-100, 1918.
- JONES, H.A.; CLARKE, A.E. Inheritance of male sterility in the onion and the production of hybrid seed. *Proceedings of the American Society for Horticultural Science*, v.43, p.189, 1943.
- KIHARA, H. Triploid watermelon. *Journal of the American Society of Horticultural Science*, v.58, p.217-230, 1951.
- LECLERCQ, P. Une stérilité cytoplasmique chez le tomesol. *Annales de l'Amélioration des Plantes*, v.19, p.99-106, 1969.
- MARINKOVIC, R.; MILLER, J.F. A new cytoplasmic male sterility source from wild *Helianthus annuus*. *Euphytica*, v.82, p.39-42, 1995.
- McKENZIE, K.S.; BOLLIICH, C.N.; RUGTER, J.N.; MOLDENHAUER, K.A.K. Rice. In: FEHR, W.R. (Ed.) *Principles of cultivar development*. New York: Macmillan Publishing, 1987. v.2, p.487-532.

- MILLER, J.F. Sunflower. In: FEHR, W.R. (Ed.) *Principles of cultivar development*. New York: Macmillan Publishing, 1987. v.2, p.626-668.
- MIRANDA FILHO, J.B.; VIÉGAS, P.V. Milho híbrido. In: PATERNIANI, E.; VIÉGAS, G.P. (Ed.) *Melhoramento e produção do milho*. Campinas: Fundação Cargill, 1987. p.277-340.
- MORISHIMA, H. American wild rice as compared with Asian relatives. In: MORISHIMA, H.; MARTINS, P.S. (Ed.) *Investigations of plant genetic resources in the Amazon Basin with the emphasis on the genus *Oryza**. São Paulo: Monbusho; FAPESP, 1994. p.52-57. (Report from 1992/1993 Amazon Project)
- MÜNTZING, A. The evolutionary significance of autopolyploidy. *Hereditas*, v.21, p.263-378, 1936.
- QUINBY, J.R.; SCHERTZ, K.F. Sorghum genetics, breeding, and hybrid seed production. In: WALL, J.S.; ROSS, W.M. (Ed.) *Sorghum production and utilization*. Westport: Avi Publishing, 1970.
- SHULL, A.F. The influence of inbreeding on vigor in *Hydatina senta*. *Biological Bulletin*, v.24, p.1-13, 1912.
- SHULL, G.H. The composition of a field of maize. *American Breeders Association Report*, v.4, p.296-301, 1908.
- SHULL, G.H. A pure-line method of corn breeding. *American Breeders Association Report*, v.5, p.51-59, 1909.
- SOUZA, F.F.; QUEIRÓZ, M.A.; DIAS, R.C.S. Melancia sem sementes: desenvolvimento e avaliação de híbridos triplóides experimentais de melancia. *Biocologia Ciência & Desenvolvimento*, n.9, p.90-95, 1999.
- UNGARO, M.R.G. Estrutura genética de subpopulações (controle e irradiada) em girassol (*Helianthus annuus* L.). Piracicaba: ESALQ/USP, 1993. 133p. Tese, Doutorado.
- VARUGHESE, G.; PFEIFFER, W.H.; PEÑA, R.J. Triticale: a successful alternative crop: Part 1. *Cereal Foods World*, v.41, p.474-482, 1996.
- VIRMANI, S.S.; VIRAKTAMATH, B.C.; CASAL, C.L.; TOLEDO, R.S.; LOPEZ, M.T.; MANALO, J.O. *Hybrid rice breeding manual*. Los Baños: International Rice Research Institute, 1997. 151p.
- VIRMANI, S.S.; SIDDIQ, E.A.; MURALIDHARAN, K. (Ed.) *Advances in hybrid rice technology*. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON HYBRID RICE, 3., Hyderabad, Índia, 1996. *Proceedings*. Manila: International Rice Research Institute, 1998. 443p.
- WELLHAUSEN, E.J. Exotic germplasm for improvement of Corn Belt maize. In: ANNUAL HYBRID CORN INDUSTRY RESEARCH CONFERENCE, 20., Chicago, 1965. *Proceedings*. Washington, American Seed Trade Association, 1965. p.31-45.
- WINGE, O. The chromosomes, their numbers and general importance. *Comptes Rendus des Travaux du Laboratoire Carlsberg*, v.13, p.131-276, 1917.
- XINGGUI, L.; VIRMANI, S.S.; RENCUI, Y. Advances in two-line hybrid rice breeding. In: VIRMANI, S.S.; SIDDIQ, E.A.; MURALIDHARAN, K. (Ed.) *Advances in hybrid rice technology*. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON HYBRID RICE, 3., Hyderabad, Índia, 1996. *Proceedings*. Manila: International Rice Research Institute, 1998. p.89-98.
- YUAN, L.P.; FU, X.Q. *Technology of hybrid rice production*. Rome: FAO, 1995. 84p.