

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JULIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E VETERINÁRIAS
CÂMPUS DE JABOTICABAL**

**POTENCIAL HETERÓTICO DE LINHAGENS S₃ E S₄ DE MILHO
(*Zea mays* L.) PARA OBTENÇÃO DE HÍBRIDOS**

Elizandra Döring Buchweitz
Engenheira Agrônoma

JABOTICABAL – SÃO PAULO – BRASIL
2010

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JULIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E VETERINÁRIAS
CÂMPUS DE JABOTICABAL**

**POTENCIAL HETERÓTICO DE LINHAGENS S₃ E S₄ DE MILHO
(*Zea mays* L.) PARA OBTENÇÃO DE HÍBRIDOS**

Elizandra Döring Buchweitz

Orientador: Prof. Dr. José Roberto Moro

Co-orientador: Dr. Flávio Trevizoli Silveira

Dissertação apresentada à Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – Unesp, Câmpus de Jaboticabal, como parte das exigências para a obtenção do título de Mestre em Agronomia (Genética e Melhoramento de Plantas).

JABOTICABAL – SP

Fevereiro – 2010

B921p Buchweitz, Elizandra Döring
Potencial heterótico de linhagens S₃ e S₄ de milho (*Zea mays* L.)
para obtenção de híbridos. / Elizandra Döring Buchweitz. --
Jaboticabal, 2010
viii, 62 f. : il. ; 28 cm

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista,
Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, 2010
Orientador: José Roberto Moro
Banca examinadora: Herberte Pereira da Silva, Sandra Helena
Unêda-Trevisoli
Bibliografia

1. Linhagens parcialmente endogâmicas. 2. Melhoramento
genético. 3. *Zea mays* L. 4. Heterose. I. Título. II. Jaboticabal-
Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias.

CDU 633.15:631.52

Ficha catalográfica elaborada pela Seção Técnica de Aquisição e Tratamento da Informação –
Serviço Técnico de Biblioteca e Documentação - UNESP, Câmpus de Jaboticabal.



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
CAMPUS DE JABOTICABAL
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E VETERINÁRIAS DE JABOTICABAL

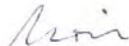
CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO: POTENCIAL HETERÔTICO DE LINHAGENS S_3 E S_4 DE MILHO (*Zea mays* L.) PARA OBTENÇÃO DE HÍBRIDOS.

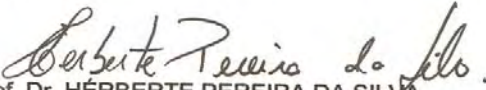
AUTORA: ELIZANDRA DÖRING BUCHWEITZ

ORIENTADOR: Prof. Dr. JOSE ROBERTO MORO

Aprovada como parte das exigências para obtenção do Título de MESTRE em AGRONOMIA (GENÉTICA E MELHORAMENTO DE PLANTAS), pela Comissão Examinadora:


Prof. Dr. JOSE ROBERTO MORO

Departamento de Biol Aplicada A Agrop / Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias de Jaboticabal


Prof. Dr. HÉRBERTE PEREIRA DA SILVA

Empresa Agrogenética Sementes Ltda / São Paulo/SP


Profa. Dra. SANDRA HELENA UNÉDA TREVISOLI

Faculdade de Tecnologia de São Paulo / Jaboticabal/SP

Data da realização: 24 de fevereiro de 2010.

DADOS CURRICULARES DO AUTOR

ELIZANDRA DÖRING BUCHWEITZ - nascida em Canguçu/RS, em três de maio de mil novecentos e setenta e nove, filha de João Carlos Döring (*in memoriam*) e Eli Sell Döring. Em março de 2001, iniciou o Curso de Agronomia na Faculdade Eliseu Maciel da Universidade Federal de Pelotas, Câmpus de Capão do Leão, que concluiu em janeiro de 2007 onde obteve o título de Engenheira Agrônoma. Foi bolsista de iniciação científica da EMBRAPA no ano de 2004. Em julho de 2006 ingressou na empresa Cargill Agrícola S/A, e em março de 2008 iniciou o Programa de Pós-Graduação em Agronomia, área de concentração em Genética e Melhoramento de Plantas em nível de Mestrado, na Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Câmpus de Jaboticabal – SP.

Ao meu querido esposo **Emerson**,
e a minha mãe, **Eli**,
com muito amor.

“O senhor é meu pastor e nada me faltará”. (Sl. 23.1)

AGRADECIMENTOS

À Universidade Estadual Paulista – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – Câmpus de Jaboticabal – SP, pela oportunidade da realização do curso de Mestrado.

Ao CNPq, pela concessão da bolsa de mestrado.

Ao meu esposo, Emerson Zarnott Buchweitz, pelo estímulo, paciência e dedicação.

A minha mãe, Eli Sell Döring, pela força, incentivo, confiança e apoio para concretizar mais esta etapa.

A Pesquisadora Dr. Andréa Mittelman onde tudo começou, pelo carinho, por acreditar, pelo estímulo e principalmente pelo exemplo profissional.

Ao Prof. Dr. José Roberto Moro, pela valiosa orientação, paciência, confiança, amizade e ensinamentos transmitidos.

Ao Pesquisador Dr. Flavio Trevizoli Silveira, pela orientação, incentivo, auxílio na realização deste trabalho, ensinamentos, críticas e sugestões.

Aos professores Dr. Rinaldo Cesar de Paula e Dr. Dilermando Perecin pela contribuição em minha vida profissional.

Ao Dr. Herberto Pereira da Silva e a Prof. Dr. Sandra Helena Unêda-Trevisoli pela disponibilidade de participar na banca de defesa.

Ao Eng. Agr. Frederico Di Salvo pela condução dos experimentos em Goiás.

À empresa Di Solo Sementes Ltda. por ceder a fazenda para condução dos experimentos em Goiás.

Ao Felipe Salazar, pelo auxílio na condução dos experimentos e pelas conversas descontraídas.

As colegas “moretes” Cláudia de Sousa Demétrio, Lidiane Assis Silva e Maria Natália Guindalini Melloni pela amizade e alegria de viver, meu carinho todo especial.

Aos funcionários do Departamento de Biologia Aplicada à Agropecuária, em especial a Márcia Fiorese Mataqueiro, meu carinho todo especial.

Aos colegas da Pós-Graduação, pela atenção e carinho.

A todos que de alguma forma contribuíram para a realização deste projeto, nas suas diversas fases.

Meu sincero “Agradecimento”.

SUMÁRIO

	Página
LISTA DE TABELAS	ii
LISTA DE FIGURAS	v
RESUMO.....	vi
SUMMARY	vii
CAPÍTULO 1 – CONSIDERAÇÕES GERAIS	1
1. Introdução.....	1
2. Revisão de Literatura.....	3
2.1. A origem e o melhoramento genético	3
2.2. O milho híbrido	5
2.3. A obtenção de híbridos.....	7
2.4. Determinação do potencial heterótico	9
2.5. Tipos de híbridos	10
2.6. Híbridos de linhagens endogâmicas.....	12
2.7. Interação genótipo x ambiente	14
CAPÍTULO 2 – POTENCIAL DAS LINHAGENS S_3 E S_4 PARA A OBTENÇÃO DE HÍBRIDOS DE MILHO	16
Resumo	16
1. Introdução	17
2. Material e Métodos	18
2.1. Genótipos	18
2.2. Cruzamentos	19
2.3. Ensaios de híbridos “top crosses”	20
2.4. Análises estatísticas	22
3. Resultados e Discussão	24
4. Conclusões	35
CAPÍTULO 3 – DESEMPENHO DE HÍBRIDOS SIMPLES DE LINHAGENS S_4	36
Resumo	36
1. Introdução.....	37
2. Material e Métodos	39
3. Resultados e Discussão	45
4. Conclusões.....	54
CAPÍTULO 4 – IMPLICAÇÕES	55
REFERÊNCIAS	57

LISTA DE TABELAS

Página

CAPÍTULO 2 – POTENCIAL DAS LINHAGENS S_3 E S_4 PARA A OBTENÇÃO DE HÍBRIDOS DE MILHO

Tabela 1. Linhagens parcialmente endogâmicas S_3 e S_4 obtidas a partir de quatro híbridos simples comerciais de milho utilizadas nos cruzamentos “top crosses”.....	19
Tabela 2. Esquema da análise de variância individual para cada experimento, com as respectivas esperanças dos quadrados médios.....	23
Tabela 3. Resumo das análises de variância de híbridos “top crosses” de linhagens S_3 de milho (TCS_3) para os caracteres altura de planta (AP, em cm), altura de espiga (AE, em cm) e produtividade de grãos (PG, em $kg\ ha^{-1}$). Jaboticabal e Campo Alegre de Goiás, safrinha 2008/2009.....	25
Tabela 4. Resumo das análises de variância de híbridos “top crosses” de linhagens S_4 de milho (TCS_4) para os caracteres altura de planta (AP, em cm), altura de espiga (AE, em cm) e produtividade de grãos (PG, em $kg\ ha^{-1}$). Jaboticabal e Campo Alegre de Goiás, safrinha 2008/2009.....	26
Tabela 5. Resumo das análises de variância conjunta para os híbridos “top crosses” de linhagens S_3 (TCS_3) e para os S_4 (TCS_4) de milho para os caracteres altura de planta (AP, em cm), altura de espiga (AE, em cm) e produtividade de grãos (PG, em $kg\ ha^{-1}$). Jaboticabal e Campo Alegre de Goiás, safrinha 2008/2009.	26
Tabela 6. Médias da altura de planta (AP, em cm), altura de espiga (AE, em cm) e produtividade de grãos (PG, $kg\ ha^{-1}$), de híbridos “top crosses” de linhagens S_3 (TCS_3) de milho e das duas testemunhas comerciais. Jaboticabal e Campo Alegre de Goiás, safrinha 2008/ 2009.....	28
Tabela 7. Médias da altura de planta (AP, em cm), altura de espiga (AE, em cm) e produtividade de grãos (PG, $kg\ ha^{-1}$), de híbridos “top crosses” de linhagens S_4 (TCS_3) de milho e das duas testemunhas comerciais. Jaboticabal e Campo Alegre de Goiás, safrinha 2008/ 2009.....	29
Tabela 8. Comparação da média de desempenho, em porcentagem (%), dos híbridos “top crosses” de linhagens parcialmente endogâmicas S_3 e S_4 , em três classes: $S_4 > S_3$, $S_4 < S_3$ e $S_4 = S_3$, segundo o teste de médias de Scott-Knott a 5% de probabilidade para os caracteres altura de planta (AP), altura de espiga (AE), produtividade de grãos (PG) e índice relativo (IR) nos dois locais e médios. Jaboticabal e Campo Alegre de Goiás, safrinha 2008/ 2009.	30
Tabela 9. Produtividade de grãos (PG, em $kg\ ha^{-1}$), índice relativo (IR, em %) e desvio padrão (em relação à média geral dos híbridos) de híbridos “top crosses” de	

linhagens parcialmente endogâmicas S_3 (TCS ₃) e S_4 (TCS ₄) de milho. Jaboticabal, safrinha 2008/2009.....	31
Tabela 10. Produtividade de grãos (PG, em kg ha ⁻¹), índice relativo (IR, em %) e desvio padrão (em relação à média geral dos híbridos) de híbridos “top crosses” de linhagens parcialmente endogâmicas S_3 (TCS ₃) e S_4 (TCS ₄) de milho. Campo Alegre de Goiás, safrinha 2008/2009.	32

CAPÍTULO 3 – DESEMPENHO DE HÍBRIDOS SIMPLES DE LINHAGENS S_4

Tabela 1. Linhagens parcialmente endogâmicas S_4 obtidas a partir de quatro híbridos simples comerciais de milho utilizadas nos cruzamentos dialelo parciais.	40
Tabela 2. Esquema da análise de variância individual para cada experimento, com as respectivas esperanças dos quadrados médios.....	44
Tabela 3. Resumo da análise de variância de híbridos simples de linhagens parcialmente endogâmicas S_4 de milho do grupo um (G1) para os caracteres altura de planta (AP, em cm), altura de espiga (AE, em cm) e produtividade de grãos (PG, em kg ha ⁻¹). Jaboticabal e Campo Alegre de Goiás, safrinha 2008/2009.	46
Tabela 4. Resumo da análise de variância de híbridos simples de linhagens parcialmente endogâmicas S_4 de milho do grupo dois (G2) para os caracteres altura de planta (AP, em cm), altura de espiga (AE, em cm) e produtividade de grãos (PG, em kg ha ⁻¹). Jaboticabal e Campo Alegre de Goiás, safrinha 2008/2009.	47
Tabela 5. Resumo das análises de variância conjunta para os híbridos simples de linhagens parcialmente endogâmicas S_4 de milho do grupo um (G1) e dois (G2) para os caracteres altura de planta (AP, em cm), altura de espiga (AE, em cm) e produtividade de grãos (PG, em kg ha ⁻¹). Jaboticabal e Campo Alegre de Goiás, safrinha 2008/2009.	48
Tabela 6. Médias da altura de planta (AP, em cm), altura de espiga (AE, em cm) e produtividade de grãos (PG, em kg ha ⁻¹), de híbridos simples de linhagens parcialmente endogâmicas S_4 de milho do grupo 1 e das duas testemunhas comerciais. Jaboticabal e Campo Alegre de Goiás, safrinha 2008/ 2009.....	49
Tabela 7. Médias da altura de planta (AP, em cm), altura de espiga (AE, em cm) e produtividade de grãos (PG, em kg ha ⁻¹), de híbridos simples de linhagens parcialmente endogâmicas S_4 de milho do grupo 2 e das duas testemunhas comerciais. Jaboticabal e Campo Alegre de Goiás, safrinha 2008/ 2009.....	50
Tabela 8. Produtividade de grãos (em kg ha ⁻¹) de híbridos simples de linhagens parcialmente endogâmicas S_4 do grupo um (G1) (Strike x 30F33) de melhor desempenho, para predição de híbridos simples modificados de milho. Jaboticabal (L1) e Campo Alegre de Goiás (L2), safrinha 2008/2009.	52

Tabela 9. Produtividade de grãos (em kg ha ⁻¹) de híbridos simples de linhagens parcialmente endogâmicas S ₄ do grupo dois (G2) (Tork x A2555) de melhor desempenho, para predição de híbridos simples modificados de milho. Jaboticabal (L1) e Campo Alegre de Goiás (L2), safrinha 2008/2009.	53
Tabela 10. Esquema preditivo para obtenção de híbridos simples modificados segundo o desempenho de híbridos simples de linhagens parcialmente endogâmicas S ₄ irmãs.	53

LISTA DE FIGURAS

Página

CAPÍTULO 2 – POTENCIAL DAS LINHAGENS S_3 E S_4 PARA A OBTENÇÃO DE HÍBRIDOS DE MILHO

- Figura 1. Comparação da performance média para altura de planta (AP, em cm) dos híbridos de milho de linhagens parcialmente endogâmicas S_3 e S_4 . Jaboticabal (SP) e Campo Alegre de Goiás (GO), safrinha 2008/2009.....33
- Figura 2. Comparação da performance média para altura de espiga (AE, em cm) dos híbridos de milho de linhagens parcialmente endogâmicas S_3 e S_4 . Jaboticabal (SP) e Campo Alegre de Goiás (GO), safrinha 2008/2009.....33
- Figura 3. Comparação da performance média para produtividade de grãos (PG, em kg ha^{-1}) dos híbridos de milho de linhagens parcialmente endogâmicas S_3 e S_4 . Jaboticabal (SP) e Campo Alegre de Goiás (GO), safrinha 2008/2009.....34

POTENCIAL HETERÓTICO DE LINHAGENS S_3 E S_4 DE MILHO (*Zea mays* L.) PARA OBTENÇÃO DE HÍBRIDOS

RESUMO – A baixa frequência de genes recessivos deletérios e letais e a grande proporção de locos favoráveis já fixados nos híbridos comerciais, associado a uma seleção fenotípica eficiente entre e dentro de linhagens pode permitir a obtenção de híbridos promissores. Em média, são gastos de 8 a 10 anos para que um novo híbrido chegue ao mercado, o que implica diretamente no custo final das sementes. Para reduzir esse tempo é interessante viabilizar a utilização de linhagens parcialmente endogâmicas nos cruzamentos para agilizar o processo de obtenção de híbridos superiores e reduzir os custos da produção de sementes híbridas. Diante da necessidade de identificar híbridos de destaque e de encontrar alternativas que conduzam à redução dos custos e do tempo para a obtenção de sementes híbridas, o objetivo desse trabalho foi avaliar o potencial de linhagens parcialmente endogâmicas de milho com três (S_3) e quatro (S_4) gerações de autofecundação, obtidas de híbridos simples comerciais, com relação à heterose dos híbridos resultantes.

Palavras chaves: capacidade combinatória, endogamia, heterose, linhagens parcialmente endogâmicas

INBRED S_3 AND S_4 LINES HETEROTIC POTENTIAL FOR OBTAINING MAIZE
(*Zea mays* L.) HYBRIDS

SUMMARY –The low frequency of deleterious recessive and lethal genes and the large proportion of favorable loci already set in commercial hybrids combined with an efficient phenotypic selection among and within strains may allow the achievement of promising lines. On average, spending 8 to 10 years for a new hybrid to reach the market, which directly implies the final cost of the seeds. To reduce this time it is interesting to enable the use of partly inbred lines at intersections to expedite the process of obtaining superior hybrids and reduce the costs of producing hybrid seeds. Faced with the need to identify hybrids highlighted and to find alternatives that lead to the reduction of costs and time required for the production of hybrid seeds, the purpose of this study was to evaluate the potential of partly inbred lines of maize with three (S_3) and four (S_4) generations of selfing, obtained from commercial single cross hybrids, with respect to the follow-on hybrid heterosis.

Key words: combining ability, heterosis, inbreeding, partly inbred lines

CAPÍTULO 1 – CONSIDERAÇÕES GERAIS

1. Introdução

O milho (*Zea mays* L.) é o cereal mais produzido no Brasil e no mundo. No Brasil foram produzidos 51,0 milhões de toneladas, na safra 2008/2009, em uma área plantada de 14,1 milhões de hectares (CONAB, 2009).

O milho destaca-se economicamente por ser cultivado em todo território nacional e, por participar de diversas cadeias produtivas, que vão desde a alimentação animal até a indústria de alta tecnologia. Este cereal é o principal componente na alimentação de aves, suínos e bovinos, com cerca de 70% do volume utilizado nas rações.

O Brasil é um dos maiores produtores de milho, mas não se destaca entre os países com maior nível de produtividade. Segundo um levantamento realizado pela CONAB, na safra 2008/2009, a produtividade média de grãos foi de 3.599 kg ha⁻¹. Resultado da diversidade de condições edafoclimáticas, das tecnologias empregadas e do cultivo de subsistência. O cultivo do milho é bastante atrativo para o agricultor, porque agrega diversas vantagens: alta produtividade por hectare, que está relacionado à sua eficiência fotossintética, fácil cultivo (totalmente mecanizável), tecnologia de produção totalmente disponível, necessita de pequeno investimento para a produção comparada a outras culturas, adaptado às nossas condições e principalmente de fácil comercialização. Devido a este motivo, é muito utilizado como cultivo de subsistência por muitos produtores.

A atual produção de sementes de milho híbrido é o resultado de aproximadamente 70 anos de avanços científicos e tecnológicos, desde o lançamento do primeiro híbrido comercial no Brasil, em 1939. Segundo um levantamento realizado pela Associação Paulista de Produtores de Sementes (APPS), o mercado de sementes de milho híbrido teve participação em mais de 70% da área cultivada no Brasil, na safra 2009/2010, evidenciando o grande avanço da moderna agricultura brasileira.

A importância das sementes híbridas para a cultura do milho fica bem evidenciada quando se compara a evolução da área cultivada com sementes híbridas e a produtividade de grãos. Nos últimos seis anos, a área cultivada com sementes híbridas de milho passou de 8,2 milhões de hectares a 10,3 milhões de hectares, e neste mesmo período o aumento de rendimento foi superior a 17% (APPS, 2010).

No mercado de sementes no Brasil, existem atualmente diversos tipos de híbridos sendo, 43,6% simples, 23,2% triplos, 30,4% de duplos e 2,8% de variedades (EMBRAPA, 2009). No geral, as sementes de híbridos simples têm um custo de produção mais elevado porque o parental feminino é uma linhagem endogâmica, portanto de baixa produtividade. Em linhagens elites as médias de produtividade de sementes variam de 2.014 a 3.008 kg ha⁻¹ (KOSHIMA, 2009). Linhagens obtidas de populações e sintéticos obtiveram médias de produtividade de sementes variando de 880 a 2.080 kg ha⁻¹ (SILVEIRA et al., 2006).

Para atender as novas necessidades do mercado de sementes de milho, em plena expansão, os desafios dos programas de melhoramento genético de milho estão focados em continuar produzindo novos híbridos que possam substituir com vantagem os existentes, em menor tempo possível, com maior facilidade e menor custo na produção da semente.

Em média, são gastos de 8 a 10 anos para que um novo híbrido chegue ao mercado, o que implica diretamente no custo final das sementes. Para reduzir esse tempo, alguns estudos têm sido direcionados para viabilizar a utilização de linhagens parcialmente endogâmicas nos cruzamentos (SOUZA JUNIOR, 1992, 1995). Linhagens S₃ possuem em média, 87,50% dos locos em homozigose, portanto a variabilidade genética dentro de linhagens já é baixa (SOUZA JUNIOR, 1992, 2001). Outro trabalho demonstrou que linhagens S₃, produzem em média, 20% a mais do que linhagens S₆ ou S₇ (CABRERA, 2001). Assim, são várias as vantagens do uso de linhagens parcialmente endogâmicas, para a obtenção de híbridos: maior produtividade de sementes, rapidez na obtenção dos híbridos e, conseqüentemente, menor custo para a produção das sementes (CABRERA, 2001, SILVEIRA & MORO, 2009).

Diante da necessidade de identificar híbridos de destaque e de encontrar alternativas que conduza à redução dos custos e do tempo necessário para a obtenção de sementes híbridas, o objetivo desse trabalho foi avaliar o potencial de linhagens parcialmente endogâmicas de milho com três (S_3) e quatro (S_4) gerações de autofecundação, obtidas de híbridos simples comerciais, com relação à heterose dos híbridos resultantes.

2. Revisão de Literatura

2.1. A origem e o melhoramento genético

O milho (*Zea mays* L.) é uma espécie diplóide de polinização cruzada (alógama), pertencente à família das Gramíneas (Poaceae). Estudos arqueológicos indicam que o milho se originou no México. Fósseis de milho, datadas de aproximadamente 7.000 anos, foram descobertos no vale do Tehuacan e na caverna de Guilá Naquitz, em Oaxaca, no México descoberto por Dolores Piperno e K.V. Flannery (MIRANDA FILHO & VIÉGAS, 1987).

Evidências indicam que populações (tribos) indígenas mexicanas iniciaram a domesticação instintivamente aperfeiçoando o milho, submetendo a cultura a um constante processo de melhoramento genético, selecionando as plantas mais vigorosas, produtivas, resistentes as pragas e doenças e com maior adaptabilidade às condições edafoclimáticas. Assim, por meio de um processo de seleção contínuo, uma gramínea com vários colmos, espiguetas pequenas e poucos grãos evoluiu até se transformar na planta de milho atual (MIRANDA FILHO & VIÉGAS, 1987).

O milho híbrido é conceituado como a primeira geração do cruzamento entre linhagens endogâmicas e/ou de variedades de polinização aberta ou qualquer outro tipo de população divergente. Dessa forma, explora uma das mais conhecidas e valiosas

contribuições práticas do melhoramento genético ao ser humano e à agricultura mundial, que é o "vigor de híbrido" (ou heterose), descoberto há 100 anos por George H. Shull (ALLARD, 1960).

Em 1919, Henry A. Wallace, um beneficiador de sementes estadunidense, foi o primeiro melhorista de empresa privada a fazer autofecundações para produzir linhagens e realizou complicados cruzamentos entre linhagens de milho e determinou que os altos rendimentos não eram estáveis. O cultivo de sementes destes híbridos (F_2) daria resultados decepcionantes, assim os agricultores que empregassem o sistema teriam que comprar ano após ano às novas sementes. A visão empresarial de Wallace o levou a constituir a empresa Hi-Bred Corn Company, depois transformada em nossa conhecida Pioneer Hi-Bred - hoje filial DuPont - uma das maiores empresas produtoras de sementes do mundo (MIRANDA FILHO & VIÉGAS, 1987).

O Brasil foi o segundo país a adotar o milho híbrido. Os primeiros trabalhos de melhoramento com milho híbrido foram iniciados em 1932 no Instituto Agronômico de Campinas (IAC), no Estado de São Paulo, com a autofecundação das variedades Cateto, Cristal e Amparo (KRUG et al., 1943; SAWAZAKI & PATERNINANI, 2004). No IAC, KRUG e colaboradores lançaram, em 1939, o primeiro híbrido duplo brasileiro. Em 1935, Gladstone A. Drummond e Antônio Secundino iniciaram seus trabalhos de pesquisas em milho na Universidade Federal de Viçosa (UFV), lançando em 1938, o primeiro híbrido comercial, a partir do cruzamento entre as variedades Cateto e Amarelão. Os trabalhos destes pesquisadores tiveram continuidade e em 1945 foi fundada a primeira companhia particular de sementes brasileira, a Sementes Agrocere S/A, hoje pertencente à multinacional Monsanto (PATERNINANI & CAMPOS, 1999; SOUZA SOBRINHO, 2001).

No Brasil, o milho híbrido rapidamente se dispersou e possibilitou a criação de algumas pequenas companhias de sementes nacionais, que utilizaram principalmente sementes híbridas obtidas pelo IAC e posteriormente, da EMBRAPA (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária). Atraídas pelo mercado potencial de sementes híbridas no país, vieram algumas empresas multinacionais. Essa concorrência permitiu

que houvesse rápido progresso genético devido ao dinamismo na produção de novos híbridos comerciais. Estimativas do progresso genético têm sido obtidas em algumas situações e foram encontrados valores médios de $71,2 \text{ kg ha}^{-1}\text{ano}^{-1}$ (VENCOVSKY & RAMALHO, 2000).

2.2. O milho híbrido

Nos EUA, até por volta de 1930, utilizava-se quase que somente variedades (ditas de "polinização aberta") no qual a produtividade de grãos situava-se em torno de 2.700 kg ha^{-1} . Nas décadas seguintes, ocorreu a introdução do milho híbrido, o que proporcionou uma verdadeira revolução na agricultura mundial.

Para chegar ao desenvolvimento de um novo híbrido é preciso primeiro desenvolver linhagens. A autofecundação é o método tradicional e, ainda hoje, o mais aplicado pelos melhoristas para o desenvolvimento de linhagens endógamas de milho. Este método consiste em autofecundar sucessivamente um híbrido, no qual o pólen de cada planta é coletado da parte masculina (pendão) e depositado sobre a parte feminina (os estigmas ou cabelos) da mesma. Em geral, após seis a sete autofecundações, que levam em torno de três a quatro anos, obtém-se uma nova linhagem.

Sucessivas autofecundações levam à homozigose e conseqüente perda de vigor, das linhagens endogâmicas. Esse fenômeno é denominado de depressão por endogamia, podendo a produtividade das linhagens endogâmicas ser, em média, 68% menor do que a das linhagens não endogâmicas. Em linhagens elites as médias de produtividade de sementes variam de 2.014 a $3.008 \text{ kg. ha}^{-1}$ (KOSHIMA, 2009). SILVEIRA et al. (2006), em estudos com linhagens obtidas de populações e sintéticos obtiveram médias de produtividade de grãos variando de 880 a $2.080 \text{ kg. ha}^{-1}$. Linhagens tradicionais podem ter sua produção reduzida a tal ponto de inviabilizar seu

uso em programas de híbridos (HALLAUER & MIRANDA FILHO, 1988). A altura de plantas é reduzida em 25% e o número de dias para florescimento aumenta em 6,8% com endogamia ou homozigose completa (HALLAUER, 1990). Os efeitos da endogamia dependem do tipo de população base e dos antecedentes de seleção da população que está sendo melhorada. A depressão por endogamia ocorre devido à expressão dos alelos recessivos deletérios ou letais que compõem a carga genética da população e, também, devido à redução dos locos em heterozigose.

Cruzamentos entre linhagens endogâmicas divergentes (geneticamente diferentes), restauram o vigor, o que denominamos de heterose. Várias hipóteses têm sido propostas para explicar a ação gênica responsável pela manifestação da heterose. Uma das hipóteses propõe o efeito de dominância (DAVENPORT, 1908; BRUCE, 1910), que explica a heterose pelo acúmulo, no híbrido, de genes dominantes oriundos de ambos os pais. Nessa teoria, os alelos recessivos com pequeno efeito deletério, acumulados no genoma pela autofecundação de linhagens parentais, atuam de forma complementar quando presentes no híbrido (F_1) das linhagens parentais, portanto, ficariam ocultos nos heterozigotos obtidos em F_1 . Outra hipótese propõe um efeito de sobredominância (SHULL, 1908; EAST, 1908), onde interações alélicas em um loco heterozigoto atuam de forma sinérgica entre os alelos para aumentar o vigor da planta, portanto o vigor apresentado pelas plantas F_1 é devido a união das duas formas alélicas do heterozigoto que é superior à ação separada de qualquer um dos alelos em homozigose.

Além da interação alélica de dominância, também as interações epistáticas são comumente utilizadas para explicar a ocorrência da heterose (GOODHIGHT, 1998; MALUF, 2001). Os estudos genômicos têm possibilitado a inclusão de outra causa da ocorrência da heterose. Há evidências de que linhagens podem diferir no seu conteúdo de locos divergentes e complementares. Quando duas linhagens possuem diferentes conteúdos de DNA, isto é, divergência genética para locos de importância agrônômica, ocorre o vigor híbrido quando elas são cruzadas (FU & DOONER, 2002).

Como o mecanismo genético da heterose ainda não está bem entendido, sabe-se que cruzamentos entre genótipos geneticamente divergentes, proporcionam grande vigor em relação àqueles cruzamentos entre indivíduos semelhantes geneticamente. Tal fato decorre porque a heterose e a capacidade específica de combinação entre dois parentais dependem da existência de dominância no controle do caráter e da presença de dissimilaridade entre os genótipos (FALCONER & MACKAY, 1960; HALLAUER, 1999).

2.3. A obtenção de híbridos

Em um programa de obtenção de híbridos, estão envolvidas pelo menos quatro etapas: a escolha das populações, a obtenção das linhagens, a avaliação da capacidade de combinação das mesmas e o teste extensivo das combinações híbridas obtidas (PATERNIANI & CAMPOS, 1999).

Existem vários métodos que podem ser utilizados para a obtenção de linhagens. O método genealógico utilizando a seleção fenotípica entre e dentro de progênies semeadas no sistema espiga por fileira é o mais utilizado pela maioria dos melhoristas (HALLAUER, 1990; HALLAUER & MIRANDA FILHO, 1988). As plantas a serem autofecundadas são selecionadas fenotipicamente pelo conjunto de características agronômicas desejáveis, enfatizando alta produtividade, sendo que a seleção é conduzida tanto na polinização quanto na colheita, onde as plantas inferiores são descartadas.

O sucesso inicial de um programa de melhoramento de milho é definido na escolha da população base que servirá de origem para a obtenção de linhagens superiores. A utilização de híbridos simples comerciais como fonte de linhagens é uma excelente opção. Tal prática é freqüente nos Estados Unidos (TROYER, 1999). Os híbridos comerciais possuem baixa freqüência de genes deletérios ou letais e grande

proporção de locos favoráveis já fixados, principalmente para alta produtividade. Além disso, já foram testados em vários ambientes passando por um amplo processo de seleção e para resistência às pragas e doenças. Portanto, diversas são as vantagens das linhagens obtidas de híbridos simples comerciais, normalmente mais produtivas e vigorosas e resistentes às variações ambientais (BISON et al., 2003; AMORIN & SOUZA, 2005).

A correlação entre as performances das linhagens e de seus respectivos híbridos são muito baixas para terem algum valor preditivo, isso é, não é possível utilizar as performances das linhagens “per se” para se prever as dos híbridos (HALLAUER & LOPES PEREZ, 1979; SMITH, 1986). Deste modo, a performance de qualquer linhagem depende do efeito heterótico em combinação com outras linhagens. Assim, em qualquer programa que vise à obtenção de híbridos, a avaliação da capacidade combinatória das linhagens é imprescindível. O cruzamento de linhagens que possuem boa capacidade de combinação determina o sucesso do desempenho do híbrido. A capacidade geral de combinação (CGC) é associada principalmente aos efeitos aditivos dos genes, enquanto a capacidade específica de combinação (CEC) é determinada por efeitos de dominância e epistasia (SPRAGUE & TATUM, 1942). Um híbrido simples de milho ideal seria aquele em que todos os seus locos fossem heterozigotos (VENCOVSKY, 1987).

A avaliação de linhagens, com base no seu comportamento em combinações híbridas, é uma das etapas mais importantes e dispendiosas do programa de híbridos. Nos últimos 45 anos, uma das mais significativas mudanças no melhoramento de milho tem sido o incremento no uso do teste de avaliação em gerações precoces de endogamia. BERNARDO (1991), concluiu em seus estudos que a correlação entre *top crosses* de linhagens S_3 e de linhagens endogâmicas S_6 é alta o suficiente para permitir que a seleção das linhagens seja feita de forma efetiva em S_3 . Portanto é comum os melhoristas avaliarem linhagens nas gerações S_1 , S_2 e S_3 , as quais são similares às gerações usadas na seleção recorrente.

Na prática, selecionam-se as melhores progênies S_1 com base nos híbridos S_0 superiores. Assim, na primeira e segunda geração de autofecundação há seleção visual. As melhores progênies S_2 ou S_3 podem ser cruzadas com um testador apropriado, para serem avaliadas quanto à sua capacidade de combinação. A tendência atual do melhorista é continuar com a seleção em gerações avançadas de endogamia para linhagens com capacidade de combinação acima da média, identificadas em gerações precoces de endogamia, isto é, antes de atingir a geração S_6 ou S_7 de endogamia. Evidentemente, quanto mais precoce for realizada a seleção das linhagens, a quantidade de linhagens a serem autofecundadas até atingir a homozigose diminui, aumentando a eficácia do programa de melhoramento, pois permite uma maior concentração de esforços nas linhagens mais promissoras durante as gerações subseqüentes, quando existe maior oportunidade para seleção dentro das linhagens (MIRANDA FILHO & VIÉGAS, 1987).

O teste para capacidade específica de combinação será feito uma vez terminada a fase de seleção com base nos caracteres agrônômicos (VIÉGAS & MIRANDA FILHO, 1987).

2.4. Determinação do potencial heterótico

A segunda fase do programa de melhoramento genético de milho é a mais importante e dispendiosa e está focalizada na obtenção das combinações híbridas e a avaliação destes cruzamentos.

Para avaliar o potencial heterótico entre genótipos de milho os cruzamentos “top cross” e dialélicos são amplamente utilizados em programas de melhoramento de milho para obtenção de híbridos (HALLAUER & MIRANDA FILHO, 1988). Quando são obtidos linhagens de duas populações contrastantes, o esquema de cruzamento dialélico parcial é recomendado (MIRANDAFILHO & VIÉGAS, 1987).

A grande vantagem da utilização do esquema “top cross” é a facilidade na condução dos cruzamentos. Além disso, existe a possibilidade de obter um grande número de combinações híbridas, assim um número elevado de linhagens é avaliado, fornece informações de uso mais imediato e possibilitam a obtenção de híbridos triplos superiores (MIRANDA FILHO & VIÉGAS, 1987). A utilização de híbrido simples como testador é um processo muito aplicado (MIRANDA FILHO & VIÉGAS, 1987).

2.5. Tipos de híbridos

Há diversos tipos de híbridos, e todos são constituídos de linhagens. Alguns foram idealizados para viabilizar a produção econômica de sementes, como é o caso do híbrido duplo criado por DONALD JONES, em 1918. Este pesquisador tentou eliminar um problema de baixa produtividade de sementes das fêmeas dos primeiros híbridos simples, que eram linhagens de baixo rendimento de sementes. Ele utilizou como fêmea o próprio híbrido formado entre duas linhagens, o que rendeu bem mais sementes. Neste tipo de híbrido um pouco do vigor possível foi diminuído, mas viabilizou, na época, a produção econômica de sementes.

Os tipos de híbridos podem ser divididos em duas categorias: híbridos normais e híbridos modificados. Os normais referem-se a híbridos produzidos com linhagens não relacionadas e os modificados a híbridos produzidos com linhagens modificadas, as quais são cruzadas de linhagens aparentadas (SOUZA JUNIOR, 1992).

Na primeira categoria, híbridos normais, basicamente três tipos de híbridos são encontrados comercialmente: híbridos simples, híbridos triplos e híbridos duplos. Os híbridos simples são produzidos mediante o cruzamento de duas linhagens endogâmicas. No geral, a semente tem um custo de produção mais elevado porque o parental feminino é uma linhagem endogâmica, portanto exibe produtividade mais baixa. Os híbridos triplos são formados pelo cruzamento de um híbrido simples (A x B)

com uma terceira linhagem (C), dando origem ao híbrido triplo $[(A \times B) \times C]$. Já os híbridos duplos: são obtidos mediante o cruzamento de dois híbridos simples $[(A \times B) \times (C \times D)]$, ou seja, proveniente do cruzamento entre quatro linhagens.

Os híbridos modificados podem ser subdivididos em híbridos simples modificados e híbridos triplos modificados. Os híbridos simples modificados seguem o mesmo esquema do híbrido simples, utilizando como parental feminino o híbrido formado pelo cruzamento de duas linhagens aparentadas $(A \times A')$ e como parental masculino uma linhagem B, dando origem ao híbrido simples modificado $[(A \times A') \times B]$. Esse procedimento diminui o custo de produção de sementes, é claro que depende do vigor do híbrido empregado como parental feminino (SOUZA JUNIOR, 1992 e 2001). Os híbridos triplos modificados são obtidos de maneira semelhante ao híbrido triplo, substituindo-se apenas a linhagem masculina (C) por um híbrido entre linhagens aparentadas $(C \times C')$. O cruzamento fica esquematizado da seguinte forma: $[(A \times B) \times (C \times C')]$ (SOUZA JUNIOR, 1992).

Além destes híbridos ainda podem ser sintetizados outros três, segundo MIRANDA FILHO E VIÉGAS (1987) que são descritos a seguir:

a) Híbrido “top cross”: obtido do cruzamento entre híbridos x variedades e entre variedades x linhagens. O termo “top cross” também é empregado nos cruzamentos entre linhagens com um testador, que pode ser uma variedade, linhagem ou híbrido, com a finalidade de avaliar a capacidade geral e específica de combinação das linhagens, dependendo se o testador for de base genética ampla ou restrita.

b) Híbrido intervarietal: resultante do cruzamento de duas variedades. Apresenta as vantagens da utilização da heterose sem a necessidade de obtenção de linhagens, possuem uma maior capacidade de adaptação, devido à maior variabilidade genética em relação aos híbridos de linhagens. Possui como desvantagem uma maior desuniformidade das plantas sendo, por isso, pouco utilizados.

c) Híbrido múltiplo: produzido mediante a utilização de seis ou mais linhagens, tem a vantagem de possuir maior variabilidade genética, que pode resultar em maior amplitude de adaptação.

Atualmente, caminham-se para o uso de híbridos com menor número de linhagens, como no caso de híbridos triplos (fêmea HS e macho linhagem), híbridos simples modificados (fêmea HS entre linhagens relacionadas e macho linhagem), e o simples puro (cruzamento entre linhagens apenas). No mercado de sementes no Brasil, na safra 2009/2010 estão disponíveis 54,26% de híbridos simples e 24,48% de híbridos triplos totalizando 78,74% do mercado de sementes (APPS, 2010). Por esta razão, as empresas estimulam e direcionam seus melhoristas (pesquisadores especializados na criação de novos híbridos) a selecionarem linhagens que produzam bons híbridos, mas sem perder de vista características favoráveis à produção econômica de sementes. Assim, além dos híbridos normais e modificados de linhagens completamente homozigotas ($F \cong 1$), atualmente estudos vem tentando viabilizar híbridos de linhagens com endogamia parcial ($0 < F < 1$), que é o enfoque principal deste trabalho.

2.6. Híbridos de linhagens parcialmente endogâmicas

Em média, são gastos de 8 a 10 anos para que um novo híbrido chegue ao mercado, o que implica diretamente no custo final das sementes. Para reduzir esse tempo, no Brasil diversos estudos têm sido direcionados para viabilizar a utilização de linhagens parcialmente endogâmicas nos cruzamentos (MEDINA, 1990; SOUZA JUNIOR 1992, 1995, 1998; ARAÚJO, 2000; SOUZA JUNIOR, 2001; CABRERA, 2001; CARVALHO et al., 2003; AMORIM & SOUZA, 2005). Contudo, nestes 20 anos de estudos o seu emprego comercial ainda não foi exposto.

Existem evidências de que os primeiros híbridos duplos e triplos utilizados no México eram provenientes de linhagens parcialmente endogâmicas S_1 (WELHAUSEN, 1954).

A produção de híbridos a partir de linhagens S_2 é uma alternativa barata e lucrativa para programas em desenvolvimento porque não foram encontradas diferenças significativas na avaliação de híbridos $S_1 \times S_1$ à $S_4 \times S_4$ (MEDINA, 1990).

Em estudos comparativos de cruzamentos de linhagens parcialmente endogâmicas com híbridos de gerações avançadas de homozigose, SOUZA JUNIOR (1992) concluiu que híbridos simples de linhagens S_3 podem ser utilizados, com vantagens, para substituir híbridos duplos e triplos normais. Híbridos modificados podem ser produzidos com linhagens irmãs isolados na geração S_2 de endogamia sendo superiores àqueles obtidos com endogamia parcial.

Híbridos simples obtidos do cruzamento de linhagens S_3 provenientes de duas populações divergentes, BR105 e BR106, mostraram excelentes resultados, pois de 80 híbridos simples 27 híbridos $S_3 \times S_3$ superaram a média das cinco testemunhas e seis híbridos $S_3 \times S_3$ superaram a testemunha superior (SOUZA JUNIOR, 1995).

Na avaliação de 90 progênies S_2 de cada uma das populações de milho BR106 e IAPAR26 nas localidades de Londrina/PR, Ponta Grossa/PR e Rio Verde/GO, verificou-se que a maior média de um híbrido S_2 foi de 9.063 kg ha⁻¹, que foi 15,6% superior à média da testemunha P-3041 (7.838 kg ha⁻¹) e 35,1% superior à média das populações parentais (6.707 kg ha⁻¹) (ARAÚJO, 2000). O autor destacou ainda que a média geral dos híbridos evidencia o grande potencial das populações avaliadas para a exploração de híbridos com endogamia parcial.

No estudo de progênies S_2 derivadas de três híbridos simples comerciais foram obtidos 135 híbridos $S_2 \times S_2$. Na avaliação desses híbridos em dois locais, Lavras/MG e Boa Vista/RR, constatou-se que 17% dos híbridos apresentaram desempenho superior à da testemunha C-333B e 46% superaram a média do híbrido C-435, um híbrido duplo, amplamente utilizado pelos agricultores (CARVALHO et al., 2003)

Foram identificados híbridos de linhagens S_2 com desempenho equivalente ou até mesmo superior aos híbridos comerciais (CARVALHO, 2004). O autor considerou esse tipo de híbrido uma alternativa para reduzir o custo de obtenção das linhagens e de produção de sementes híbridas.

Linhagens S_1 ou S_2 ainda apresentam muita variabilidade genética dentro, o que poderia dificultar sobremaneira a sua manutenção. Já em linhagens S_3 , em que o coeficiente de endogamia é $F = 0,875$, o que significa que, em média, 87,50% dos locos já estão em homozigose, a variabilidade genética dentro de linhagens já é baixa, o que pode viabilizar o uso deste tipo de linhagens para produzir híbridos simples (SOUZA JUNIOR, 1992 e 2001).

Estudos apontam que híbridos de linhagens S_3 de milho possuem elevado potencial produtivo semelhante ou superior às testemunhas comerciais e constituem uma opção aos produtores (CABRERA, 2001; FERREIRA, 2008).

2.7. Interação genótipo x ambiente

Efetivamente, há dois fatores principais que permitem uma boa produtividade: as condições ambientais e a estrutura genética da planta cultivada.

O genótipo refere-se à constituição genética do indivíduo, representada por todos os genes. O ambiente consiste no conjunto de condições edafoclimáticas distribuídas no tempo determinadas pela intensidade, severidade e frequência que ocorrem. O fenótipo é uma característica observada, identificada e individualizada de um indivíduo, de difícil repetição, que é o resultado do efeito do genótipo, do ambiente e da interação genótipo ambiente.

As maiorias dos caracteres de efeitos quantitativos são fortemente influenciadas pelos fatores ambientais, havendo necessidade de conseguir a máxima informação sobre as diferenças genéticas entre as cultivares e suas respostas aos diversos

ambientes, isto chamamos de interação genótipo x ambientes. A interação G x A ocorre quando uma variação ambiental tem efeito sobre genótipos diferentes, ou o inverso, quando um mesmo genótipo responde de maneira diferente a diversos ambientes. Podemos interpretá-la também como parte de um resultado de uma resposta diferenciada a diversos estresses ambientais (RAMALHO et al., 2008).

CAPÍTULO 2 – POTENCIAL DAS LINHAGENS S_3 E S_4 PARA A OBTENÇÃO DE HÍBRIDOS DE MILHO

Resumo - O objetivo deste trabalho foi avaliar o potencial de linhagens parcialmente endogâmicas de milho com três (S_3) e quatro (S_4) gerações de autofecundação, com relação à heterose dos híbridos resultantes. As linhagens foram extraídas dos híbridos comerciais: Tork, Strike, 30F33 e A2555. Sabendo que as linhagens derivadas de 30F33 apresentam CEC com as derivadas do Strike, e as linhagens Tork com as da A2555, realizamos os cruzamentos no esquema “top cross”. Os testadores utilizados foram os híbridos que deram origem às linhagens S_3 e S_4 . Os híbridos triplos obtidos foram avaliados juntamente com os híbridos comerciais DKB 390 e AG 7000, em Jaboticabal/SP e Campo Alegre de Goiás/GO. Foram avaliados os caracteres altura de planta (AP), altura de espiga (AE) e produtividade de grãos (PG). Os ensaios foram conduzidos no delineamento de blocos casualizados com três repetições. No geral, a AP e AE foram inferiores à melhor testemunha. As melhores combinações híbridas foram: STR x 30F001-1(2) e 30F33 x STR 024-2(2) do “top cross” de linhagens S_3 , e Tork x A25051-2(1) do “top cross” de linhagens S_4 , nos dois locais. Observou-se que os híbridos alteram a produtividade com o avanço da geração de autofecundação. No geral, híbridos “top crosses” de linhagens S_4 foram mais produtivos que os híbridos “top crosses” de linhagens S_3 . Para altura de planta e de espiga o desempenho foi uniforme em média ($S_3=S_4$). A produtividade relativa de grãos variou entre e dentro dos híbridos de linhagens aparentadas e o desempenho se manteve constante a partir de S_3 .

Palavras chaves: capacidade combinatória, endogamia, heterose, linhagens parcialmente endogâmicas, *Zea mays*

1. Introdução

A atual produção de sementes de milho híbrido é o resultado de aproximadamente 70 anos de avanços científicos e tecnológicos, desde o lançamento do primeiro híbrido comercial no Brasil, em 1939, até os dias de hoje, evidenciando o grande avanço da moderna agricultura brasileira.

Em um programa de obtenção de híbridos, estão envolvidas pelo menos quatro etapas: a escolha das populações, a obtenção das linhagens, a avaliação da capacidade de combinação das mesmas e o teste extensivo das combinações híbridas obtidas (PATERNIANI & CAMPOS, 1999).

Para chegar ao desenvolvimento de um novo híbrido é preciso antecipadamente desenvolver as linhagens. A autofecundação é o método tradicional e, ainda hoje, o mais aplicado pelos melhoristas para o desenvolvimento de linhagens endógamas de milho. Este método consiste em autofecundar sucessivamente um híbrido, no qual o pólen de cada planta é coletado da parte masculina (pendão) e depositado sobre a parte feminina (os estigmas ou cabelos) da mesma. As plantas a serem autofecundadas são selecionadas fenotipicamente pelo conjunto de características agronômicas desejáveis, enfatizando alta produtividade, sendo que a seleção é realizada tanto na polinização quanto na colheita, onde as plantas inferiores são descartadas. Em geral, após seis a sete autofecundações (três a quatro anos), obtém-se uma nova linhagem.

A utilização de híbridos simples comerciais como fonte de linhagens é uma excelente opção. Tal prática é freqüente nos Estados Unidos (TROYER, 1999). Os híbridos comerciais possuem baixa freqüência de genes deletérios ou letais e grande proporção de locos favoráveis já fixados, principalmente para alta produtividade. Além disso, já foram testados em vários ambientes passando por um amplo processo de estratificação ambiental e ainda por uma seleção para resistência às pragas e doenças. Portanto, diversas são as vantagens das linhagens obtidas a partir de híbridos simples comerciais (BISON et al., 2003; AMORIN & SOUZA, 2005).

Diante da necessidade de se identificar híbridos de destaque e de encontrar alternativas que conduzam à redução dos custos e o tempo necessário para a obtenção de sementes híbridas, o objetivo desse trabalho foi avaliar a diferença existente entre as linhagens parcialmente endogâmicas de milho com três (S_3) e quatro (S_4) gerações de autofecundação, obtidas de híbridos simples comerciais, com relação à heterose dos híbridos resultantes.

2. Material e Métodos

2.1. Genótipos

Para a obtenção das combinações híbridas em esquema “top cross” foram utilizadas vinte linhagens parcialmente endogâmicas de milho com três (S_3) e vinte com quatro (S_4) gerações de autofecundação. As linhagens foram extraídas de quatro híbridos simples comerciais: Tork, Strike, 30F33 e A2555, utilizando o método genealógico, através de sucessivas autofecundações e seleções para alta produção de grãos “per se”. O presente trabalho constitui-se em uma das linhas de pesquisa do programa de melhoramento de milho do Departamento de Biologia Aplicada à Agropecuária da FCAV/UNESP – Jaboticabal/SP (Tabela 1).

Como testadores foram utilizados os quatro híbridos que deram origem às linhagens. Os cruzamentos foram efetuados de acordo com a CEC das linhagens, portanto linhagens derivadas do híbrido comercial Tork foram cruzadas com o testador A2555 e as derivadas desta, cruzadas com o testador Tork. Já as linhagens derivadas do híbrido comercial 30F33 foram cruzadas com o testador Strike e vice versa. Alguns híbridos triplos não foram obtidos pela incompatibilidade de florescimento.

Tabela 1. Linhagens parcialmente endogâmicas S_3 e S_4 obtidas a partir de quatro híbridos simples comerciais de milho utilizadas nos cruzamentos “top crosses”.

Linhagem	Origem	Linhagem	Origem
TO033-2(2)	Tork	30F001-1(2)	30F33
TO033-2(3)	Tork	30F001-2(1)	30F33
A25034-2(1)	A2555	30F012-1(1)	30F33
A25034-2(2)	A2555	30F012-1(2)	30F33
A25034-2(2)1	A2555	30F012-1(3)	30F33
A25034-2(2)2	A2555	30F012-2	30F33
A25034-3	A2555	STR024-2(2)	Strike
A25051-2(1)	A2555	STR024-3(2)	Strike
A25051-2(2)	A2555	STR032-2(1)	Strike
A25051-3	A2555	STR032-4	Strike

2.2. Cruzamentos

A semeadura das linhagens a serem cruzadas foi realizada em agosto de 2008, na área experimental do Departamento de Biologia Aplicada à Agropecuária da FCAV/UNESP, no município de Jaboticabal, São Paulo, Brasil, situado a uma latitude de 21°15'22" S, longitude de 48°18'58" W e altitude de 595 m. De acordo com a classificação de Köppen, o clima da região é do tipo Cwa (subtropical). O solo é um Latossolo Vermelho Escuro – textura média. A área foi antecipadamente preparada em plantio convencional. A adubação foi realizada de acordo com a análise do solo. Os demais tratos culturais adotados foram os recomendados para a cultura do milho (EMBRAPA, 2010).

A semeadura foi em linhas de 5 metros, com espaçamento de 0,90 m entre linhas e, a cada três linhas, foi semeada uma linha do testador para facilitar a execução dos cruzamentos. Os testadores foram semeados com intervalo de sete dias para

favorecer a coincidência do florescimento, levando-se em consideração que são linhagens geneticamente diferentes, e que podem apresentar ciclos distintos. A polinização foi manual e se deu da seguinte forma: antes de aparecer os estigmas (cabelos), as espigas foram protegidas com um pequeno saco plástico. Um ou dois dias depois, quando os estigmas estavam com aproximadamente 5-10 cm, foi coletado o pólen do testador num saco tipo “kraft” com identificação, o qual após a polinização foi fixado ao colmo, protegendo a espiga polinizada até a colheita com as devidas identificações.

2.3. Ensaios de híbridos “top crosses”

Divididos em quatro ensaios, os híbridos “top crosses” de linhagens S_3 (TCS₃) e de linhagens S_4 (TCS₄), juntamente com as testemunhas comerciais DKB 390 e AG7000, ambos da empresa Monsanto, foram avaliados em dois locais: Jaboticabal – área experimental do Departamento de Biologia e Campo Alegre de Goiás - área da Fazenda da Empresa Di Solo Sementes Ltda., no município de Campo Alegre de Goiás, Estado de Goiás, Brasil, situada a uma latitude de 17°37’59” S, longitude de 47°46’42” W e altitude de 877 m. De acordo com a classificação de Köppen, o clima da região é do tipo Aw Megatérmico, com verões chuvosos e invernos secos. O relevo é suave ondulado. O solo é um típico de cerrado. Pela pouca disponibilidade de sementes os híbridos A2555 x TO033-2(2) e 30F33 x STR032-2(1) do TCS₃ e A2555 x TO033-2(2) e Tork x A25034-2(2)1 do TCS₄ não foram testados em Campo Alegre de Goiás.

O delineamento experimental utilizado foi o de blocos casualizados com três repetições. As parcelas experimentais foram representadas por linhas duplas de 5 metros de comprimento. O espaçamento entre linhas foi de 0,90 m e 0,20 m entre plantas. A área foi antecipadamente preparada em plantio convencional com adubação

de 500 kg ha⁻¹ de NPK, da fórmula 10-20-20, de acordo com a análise do solo. A semeadura foi realizada em 04 de março de 2009 em Jaboticabal e 20 de março de 2009 em Campo Alegre de Goiás, colocando-se duas sementes por cova, com auxílio de plantadeiras manuais (matraca).

Três dias após a semeadura, foi aplicado o herbicida pré-emergente (Primestra SC™) na dose de sete litros por hectare. Aos 20 dias após a germinação foi efetuado o desbaste, deixando-se cinco plantas/metro, simulando uma população de 55.555 plantas ha⁻¹. A adubação de cobertura foi realizada em dose única aos 35 dias após a semeadura com 300 kg ha⁻¹ de uréia. Foi efetuado o controle da lagarta-do-cartucho *Spodoptera frugiperda* (J.E. SMITH, 1797) (LEPIDOPTERA: Noctuidae) sempre que necessário com o inseticida químico metomil (Lannate®). Os demais tratos culturais adotados foram os recomendados para a cultura do milho (EMBRAPA, 2010). Sendo que os experimentos foram irrigados em razão da falta de chuvas em volume adequado.

Após o florescimento, cada parcela foi identificada com etiquetas de papel contendo o número da parcela disposta na primeira planta da linha.

Na pré-colheita foram avaliadas as variáveis: altura da planta (AP) e altura da espiga (AE), sendo medidas 10 plantas/parcela do solo até a inserção da folha bandeira e da base do entrenó da espiga principal, respectivamente, utilizando-se uma régua de 3 metros graduada de cinco em cinco centímetros. Após a ocorrência de 100% de florescimento feminino na parcela, a partir desses dados, foi calculada a média para cada parcela, em centímetros (cm). Para o número de plantas por parcela fez-se a contagem de plantas. Na colheita em setembro de 2009, todas as espigas de cada parcela, foram acondicionadas em um sacola de 50 kg, acompanhadas da respectiva etiqueta de identificação e levadas para o laboratório para efetuar a debulha das espigas. Por estes dados se definiu a produtividade de grãos em kg ha⁻¹ (PG) que representa o peso de grãos, em quilos, corrigido para 13% de umidade para um estande de 50 plantas por parcela.

A correção para umidade dos grãos foi efetuada empregando-se a fórmula $PC = P - (P \times U) / 0,87$. Nesta fórmula, U corresponde ao teor de umidade dos grãos, P é o peso de grãos não corrigido e PC o peso corrigido para 13% de umidade. A correção de estande foi realizada segundo a fórmula de ZUBER (1942), $PG = PC(T - 0,3 \times F) / (T - F)$, onde PG = peso de grãos corrigido para teor de umidade e estande, PC = peso corrigido para 13,0% de umidade, T = número total de plantas na parcela (50) e F = número total de plantas perdidas na parcela. Esse ajustamento adiciona 70% do rendimento médio de grãos a cada planta perdida, e considera que 30% são recuperados pelo aumento da produtividade das plantas vizinhas.

Para comparação da média de produtividade de grãos dos híbridos de linhagens S₃ com os híbridos de linhagens S₄ calcularam-se o índice relativo de produtividade de grãos (IR) em relação ao padrão DKB 390, dividindo-se a produtividade de grãos dos tratamentos pela produtividade média de grãos da testemunha DKB 390.

2.4. Análises Estatísticas

Foram realizadas análises de variância individual por ambiente para cada característica avaliada, e posteriormente, a análise conjunta de acordo com RAMALHO et al. (2000).

O modelo matemático, considerando as análises individuais, foi:

$$Y_{ijk} = \mu + r_i + b_{(i)j} + t_k + e_{ijk}$$

em que:

Y_{ijk} : é o valor observado na parcela experimental que recebeu o tratamento k no bloco j da repetição i;

μ : é a média geral do experimento;

r_i : é o efeito da repetição i , sendo $i = 1, 2, 3$;

$b_{(i)j}$: é o efeito do bloco j , dentro da repetição i , sendo $j = 1, 2, \dots, 10$;

t_k : é o efeito do tratamento k , sendo $k = 1, 2, \dots, n$;

e_{ijk} : é o erro experimental da parcela que recebeu o tratamento k no bloco j da repetição i .

O esquema da análise da variância, com as respectivas esperanças dos quadrados médios, é apresentado na Tabela 2.

Tabela 2. Esquema da análise de variância individual para cada experimento, com as respectivas esperanças dos quadrados médios.

Fontes de Variação	GL	QM	E(QM)
Blocos	$r - 1$	QMB	-
Tratamentos (T)	$t - 1$	QMT	-
Híbridos (H)	$h - 1$	QMH	$\sigma_e^2 + r\sigma_G^2$
Testemunhas (Te)	$te - 1$	QMTe	-
H vs. Te	1	QMHvsTe	-
Erro efetivo	$(r - 1)(t - 1)$	QMR	σ_e^2
Total	$rt - 1$	-	-

σ_e^2 : variância do erro experimental;

σ_G^2 : variância genética entre os híbridos.

Nas análises de variância conjunta para cada um dos caracteres, foi considerado como fixo o efeito do genótipo e o efeito do ambiente como sendo aleatório, de acordo com o modelo matemático:

$$Y_{ikjs} = \mu + t_i + l_s + tl_{is} + r_{j(s)} + b_{k(js)} + e_{ikjs}$$

em que:

Y_{ikjs} : é a observação do tratamento i no bloco k , na repetição j , no local s ;

μ : é a média geral dos dois experimentos;

t_i : é o efeito do tratamento i , sendo $i = 1, 2, \dots, n$;

l_s : é o efeito do local s , sendo $s = 1, 2$;

tl_{is} : é o efeito da interação do tratamento i com local s ;

$r_{j(s)}$: é o efeito da repetição j dentro do local s ;

$b_{k(js)}$: é o efeito do bloco k dentro da repetição j e do local s ;

e_{ikjs} : é o efeito do erro efetivo médio.

Foi realizado o Teste de SCOTT-KNOTT (1974) para comparação de médias a 5% de probabilidade.

Para todas as análises estatísticas foi utilizando o programa Genes (CRUZ, 2001).

3. Resultados e Discussão

Nos ensaios de híbridos “top cross” de linhagens parcialmente endogâmicas S_3 (TCS₃) e S_4 (TCS₄), nos dois locais (Jaboticabal e Campo Alegre de Goiás) e na análise conjunta, a precisão experimental avaliada pelo coeficiente de variação (CV) foi boa para todos os caracteres estudados. Ou seja, observou-se CV inferior a 10% o que demonstra confiabilidade nos resultados obtidos (Tabelas 3, 4 e 5). Esses valores podem ser considerados bons para a cultura do milho (SCAPIN et al., 1995).

Na análise de variância para o TCS₃ e TCS₄, os efeitos de híbridos foram altamente significativos ($P \leq 0,01$), para todos os caracteres avaliados, nos dois locais, exceto para altura de espiga em Campo Alegre de Goiás ($P \leq 0,05$) (Tabelas 3 e 4). O contraste híbridos vs. testemunhas para TCS₃ e TCS₄, nos dois locais, foi não significativo ($P > 0,05$), exceto para altura de planta em Jaboticabal ($P \leq 0,01$) e para

altura de espiga em Campo Alegre de Goiás ($P \leq 0,05$) no TCS₃ e para altura de planta ($P \leq 0,01$) e produtividade de grãos ($P \leq 0,05$) em Jaboticabal no TCS₄ (Tabelas 3 e 4).

Tabela 3. Resumo das análises de variância de híbridos “top crosses” de linhagens S₃ de milho (TCS₃) para os caracteres altura de planta (AP, em cm), altura de espiga (AE, em cm) e produtividade de grãos (PG, em kg ha⁻¹). Jaboticabal e Campo Alegre de Goiás, safreira 2008/2009.

F.V.	Jaboticabal				Campo Alegre de Goiás			
	Quadrados médios							
	GL	AP	AE	PG	GL	AP	AE	PG
Blocos	2	331,179	7,391	1,274	2	258,941	146,643	0,070
Tratamentos	19	554,998**	204,665**	2,355**	17	360,064**	109,935**	1,151**
Híbridos	17	473,980**	198,387**	2,331**	15	353,626**	87,845*	1,026**
Testemunhas	1	1148,167**	459,375**	3,895**	1	816,667**	301,042**	3,284**
Hib. vs test.	1	1339,128**	56,680 ^{ns}	1,219 ^{ns}	1	0,032 ^{ns}	250,177*	0,902 ^{ns}
Erro	38	95,056	37,702	0,500	34	72,697	36,471	0,233
C.V.(%)	-	4,25	4,92	8,30	-	5,27	7,06	7,62
MÉDIA	-	227,00	124,72	8.511	-	161,60	85,58	6.339

**Significativo pelo teste F a 1% de probabilidade

*Significativo pelo teste F a 5% de probabilidade

^{ns} não significativo

Na análise de variância conjunta para os híbridos do TCS₃ e do TCS₄, houve efeitos significativos ($P \leq 0,01$) de locais e híbridos para todos os caracteres avaliados. O efeito da interação híbrido x local (H x L) foi significativo para produtividade de grãos ($P \leq 0,01$) nos dois ensaios e para altura de espiga ($P \leq 0,05$) no TCS₃ (Tabela 5). A interação genótipo x ambiente (H x L) significativa pode ser evidenciada porque, os experimentos foram montados na condição climática adversa (safreira) com temperatura, radiação solar e disponibilidade de água decrescente, conduzindo a planta a uma situação de estresse e com uma semeadura tardia (março), ou seja, maior permanência no campo com queda de produtividade. Contudo, neste caso, os híbridos que apresentam boas performances nos dois locais podem ser considerados mais resistentes às variações ambientais.

Tabela 4. Resumo das análises de variância de híbridos “top crosses” de linhagens S₄ de milho (TCS₄) para os caracteres altura de planta (AP, em cm), altura de espiga (AE, em cm) e produtividade de grãos (PG, em kg ha⁻¹). Jaboticabal e Campo Alegre de Goiás, safreira 2008/2009.

F.V.	Jaboticabal				Campo Alegre de Goiás			
	Quadrados médios							
	GL	AP	AE	PG	GL	AP	AE	PG
Blocos	2	64,167	66,959	0,976	2	659,320	310,553	0,143
Tratamentos	20	509,809**	266,044**	1,156**	18	408,038**	154,593*	1,142**
Híbridos	18	429,003**	271,532**	0,952**	16	348,889**	152,803*	1,178**
Testemunhas	1	762,979**	355,278**	4,376**	1	1504,167**	337,500*	1,622 ^{ns}
Hib. vs test.	1	1711,151**	78,023 ^{ns}	1,607*	1	258,285 ^{ns}	0,322 ^{ns}	0,078 ^{ns}
Erro	40	89,273	41,278	0,335	36	130,443	74,037	0,409
C.V.(%)	-	4,07	5,04	6,52	-	6,92	9,76	9,96
MÉDIA	-	231,73	127,40	8.881	-	164,96	88,11	6.418

**Significativo pelo teste F a 1% de probabilidade

*Significativo pelo teste F a 5% de probabilidade

^{ns} não significativo

Tabela 5. Resumo das análises de variância conjunta para os híbridos “top crosses” de linhagens S₃ (TCS₃) e para os S₄ (TCS₄) de milho para os caracteres altura de planta (AP, em cm), altura de espiga (AE, em cm) e produtividade de grãos (PG, em kg ha⁻¹). Jaboticabal e Campo Alegre de Goiás, safreira 2008/2009.

F.V.	Quadrados médios							
	TCS ₃				TCS ₄			
	GL	AP	AE	PG	GL	AP	AE	PG
Blocos/ Locais	4	198,810	83,135	0,540	4	432,698	201,480	0,730
Híbridos (H)	17	705,038**	198,215**	2,246**	18	591,391**	343,383**	1,294**
Locais (L)	1	114047,480**	41125,236**	119,693**	1	123493,031**	42368,762**	158,098**
H x L	15	91,761 ^{ns}	88,039*	1,123**	16	166,203 ^{ns}	71,972 ^{ns}	0,794**
Resíduo	64	84,463	38,235	0,384	68	107,725	57,185	0,349
CV (%)	-	4,66	5,83	8,33	-	5,15	6,93	7,68
Média	-	197,05	106,11	7.442	-	201,43	109,03	7.684

**Significativo pelo teste F a 1% de probabilidade

*Significativo pelo teste F a 5% de probabilidade

^{ns} não significativo

Como os híbridos triplos tiveram desempenho diferente quanto aos caracteres avaliados nos dois locais (interação genótipo x ambiente significativa), os resultados serão discutidos por local (Tabelas 6 e 7).

No TCS₃ a média da produtividade de grãos (PG) dos híbridos variou de 6.461 a 10.241 kg ha⁻¹ em Jaboticabal e de 5.554 a 7.872 kg ha⁻¹ em Campo Alegre de Goiás. Já no TCS₄ a média da produtividade de grãos variou de 7.968 a 9.911 kg ha⁻¹ em Jaboticabal e de 5.220 a 7.717 kg ha⁻¹ em Campo Alegre de Goiás. Este último apresentou produtividade média de grãos menor (cerca de 2.300 kg ha⁻¹). Os híbridos, em geral, apresentaram altura de planta e da espiga inferiores ao híbrido comercial DKB 390 (Tabelas 6 e 7).

Destacaram-se com produtividades próximas à da melhor testemunha comercial, nos dois locais, os seguintes híbridos triplos: STR x 30F001-1(2) e 30F33 x STR 024-2(2) do TCS₃, bem como Tork x A25051-2(1) do TCS₄ (Tabelas 6 e 7). Vale ressaltar que híbridos que possuem um bom desempenho em diferentes condições ambientais apresentam adaptação mais ampla e, portanto, podem ser comercializados em área geográfica maior.

Os híbridos “top crosses” de linhagens S₃ e de S₄, foram comparados segundo as médias de desempenho (Tabelas 6 e 7) e divididos em três classes: S₄>S₃, S₄<S₃ e S₄ = S₃ (Tabela 8). Na tabela 8 pode-se notar que, em média, 61,76% dos híbridos mudam a produtividade de grãos com o avanço da geração de autofecundação. Dos híbridos “top cross” de linhagens S₃, em média, 50% são menos produtivos que os híbridos “top cross” de linhagens S₄, já para altura de planta e espiga o desempenho é em média uniforme (S₃=S₄). As linhagens oriundas da A25051 e da 30F012 foram as que mais contribuíram para este resultado, pois a maioria delas apresenta produtividade de grãos maior em S₄. As distribuições das médias dos híbridos “top cross” de linhagens S₃ e S₄ para altura de planta, altura de espiga e produtividade de grãos estão apresentados, respectivamente, nas Figuras 1 a 3. Para a comparação das médias de produtividade de grãos dos híbridos de linhagens S₃ com os híbridos de linhagens S₄, utilizou-se também o índice relativo de produtividade de grãos (IR) em

Tabela 6. Médias da altura de planta (AP, em cm), altura de espiga (AE, em cm) e produtividade de grãos (PG, em kg ha⁻¹), de híbridos “top crosses” de linhagens S₃ (TCS₃) de milho e das duas testemunhas comerciais. Jaboticabal e Campo Alegre de Goiás, safrinha 2008/ 2009.

Cod.	Híbridos	Jaboticabal			Campo Alegre de Goiás		
		AP	AE	PG	AP	AE	PG
1	A2555 x TO033-2(2)	216,39b	125,84b	8.776b	149,58b	81,25b	5.902b
3	A2555 x TO033-2(3)*	207,22b	114,17c	7.257d	-	-	-
5	TORK x A25034-2(1)	213,33b	120,00c	8.354c	149,17b	82,50b	6.562b
7	TORK x A25034-2(2)	231,95a	126,39b	8.662b	167,08a	87,92b	6.361b
10	TORK x A25034-3	207,22b	114,17c	6.461d	152,08b	80,42b	6.611b
12	TORK x A25051-2(1)	212,22b	116,94c	8.180c	144,58b	76,67b	5.797b
14	TORK x A25051-2(2)	221,95b	122,78c	8.157c	148,75b	81,67b	6.136b
16	TORK x A25051-3	239,44a	142,22a	8.106c	171,67a	91,25a	5.904b
18	STR x 30F001-1(2)	228,06a	115,00c	9.591a	160,83b	82,08b	7.872a
20	STR x 30F001-2(1)	229,72a	117,22c	8.777b	160,42b	79,58b	5.968b
22	STR x 30F012-1(1)	247,78a	137,50a	8.913b	157,50b	80,83b	5.554b
24	STR x 30F012-1(2)	235,28a	130,28b	8.641b	170,42a	87,08b	6.264b
26	STR x 30F012-1(3)	231,39a	134,44a	8.830b	166,25a	87,08b	6.165b
28	STR x 30F012-2	241,67a	128,89b	7.886c	169,58a	90,83a	6.313b
30	30F33 x STR024-2(2)	233,61a	126,94b	9.560a	160,83b	83,33b	7.106a
32	30F33 x STR024-3(1)	239,72a	130,28b	8.416c	173,33a	86,67b	5.605b
34	30F33 x STR032-2(1)*	238,05a	126,39b	7.537d	-	-	-
36	30F33 x STR032-4	239,44a	121,39c	10.241a	183,33a	97,92a	6.573b
Média híbridos		228,58	125,05	8.463	161,59	84,82	6.293
38	DKB 390	226,67a	130,56b	9.744a	173,33a	98,75a	7.444a
39	AG 7000	199,00b	113,06c	8.133c	150,00b	84,58b	5.965b
Média testemunhas		212,83	121,81	8.939	161,67	91,67	6.704
Média geral		227,00	124,72	8.511	161,60	85,58	6.339

Médias seguidas da mesma letra não diferem significativamente pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade;

*Híbridos não testados em Campo Alegre de Goiás pela insuficiência de sementes.

Tabela 7. Médias da altura de planta (AP, em cm), altura de espiga (AE, em cm) e produtividade de grãos (PG, em kg ha⁻¹), de híbridos “top crosses” de linhagens S₄ (TCS₃) de milho e das duas testemunhas comerciais. Jaboticabal e Campo Alegre de Goiás, safrinha 2008/ 2009.

Cod.	Híbridos	Jaboticabal			Campo Alegre de Goiás		
		AP	AE	PG	AP	AE	PG
02	A2555 x TO033-2(2)*	227,78b	128,89b	9.208a	-	-	-
04	A2555 x TO033-2(3)	223,33b	117,78c	7.968b	151,25b	78,33b	6.400b
06	TORK x A25034-2(1)	210,83c	117,22c	8.122b	146,67b	76,25b	6.132b
08	TORK x A25034-2(2)-1*	235,56a	142,78a	9.169a	-	-	-
09	TORK x A25034-2(2)-2	231,11a	127,50b	8.585b	165,83a	94,58a	7.378a
11	TORK x A25034-3	210,28c	114,45c	8.192b	169,17a	85,00b	6.030b
13	TORK x A25051-2(1)	235,00a	138,61a	9.238a	174,58a	92,50a	7.717a
15	TORK x A25051-2(2)	221,39b	122,50c	8.819b	144,17b	72,92b	5.759b
17	TORK x A25051-3	252,22a	149,16a	9.207a	180,83a	99,58a	6.407b
19	STR x 30F001-1(2)	235,83a	130,28b	8.721b	154,17b	90,00a	6.393b
21	STR x 30F001-2(1)	239,44a	116,94c	9.303a	171,25a	87,50a	5.923b
23	STR x 30F012-1(1)	223,89b	120,28c	8.663b	165,83a	89,58a	6.913a
25	STR x 30F012-1(2)	242,50a	133,89b	9.656a	178,75a	95,83a	6.596b
27	STR x 30F012-1(3)	253,61a	136,94a	9.911a	166,67a	87,92a	6.616b
29	STR x 30F012-2	233,89a	132,50b	9.259a	176,25a	94,58a	6.431b
31	30F33 x STR024-2(2)	240,56a	120,56c	8.724b	166,25a	87,92a	6.999a
33	30F33 x STR024-3(1)	247,22a	129,45b	8.844b	172,50a	90,83a	5.595b
35	30F33 x STR032-2(1)	232,78a	122,78c	8.049b	163,75a	90,83a	6.385b
37	30F33 x STR032-4	237,78a	125,00c	8.111b	168,75a	83,33b	5.220b
Média híbridos		233,42	127,76	8.829	165,69	88,09	6.405
38	DKB 390	226,94b	131,67b	10.227a	174,58a	95,83a	7.046a
39	AG 7000	204,39c	116,28c	8.519b	142,91b	80,83b	6.006b
Média testemunhas		215,67	123,97	9.373	158,75	88,33	6.526
Média geral		231,73	127,40	8.881	164,96	88,11	6.418

Médias seguidas da mesma letra não diferem significativamente pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade;

*Híbridos não testados em Campo Alegre de Goiás pela insuficiência de sementes.

Tabela 8. Comparação da média de desempenho, em porcentagem (%), dos híbridos “top crosses” de linhagens parcialmente endogâmicas S_3 e S_4 , em três classes: $S_4 > S_3$, $S_4 < S_3$ e $S_4 = S_3$, segundo o teste de médias de Scott-Knott a 5% de probabilidade para os caracteres altura de planta (AP), altura de espiga (AE), produtividade de grãos (PG) e índice relativo (IR) nos dois locais e médios. Jaboticabal e Campo Alegre de Goiás, safrinha 2008/ 2009.

Classe	Jaboticabal				Campo Alegre de Goiás				Média			
	AP	AE	PG	IR	AP	AE	PG	IR	AP	AE	PG	IR
$S_4 > S_3$	10,50	15,79	73,68	57,89	33,33	60,00	20,00	66,67	20,59	35,30	50,00	61,76
$S_4 < S_3$	10,50	15,79	15,79	31,58	0,00	6,67	6,67	33,33	5,88	11,76	11,76	32,35
$S_4 = S_3$	79,00	68,42	10,53	10,53	66,67	33,33	73,33	0,00	73,53	52,94	38,24	5,89

relação ao padrão DKB 390. Assim, pode-se observar que em média 94,11% dos híbridos mudam a produtividade relativa de grãos com o avanço da geração de autofecundação e, em média, 61,76% dos híbridos “top crosses” de linhagens S_4 foram mais produtivos (Tabelas 8, 9 e 10). Este resultado está associado, provavelmente, à segregação genética que ocorre durante o desenvolvimento da linhagem. Linhagens S_3 apresentam, em média, 87,50% dos locos em homozigose e, em S_4 , 93,75%, de modo que, esta pequena proporção da variabilidade genética para características quantitativas pode contribuir para esta maior produtividade em S_4 (Fehr, 1983).

Sabendo-se que a condução de um programa de melhoramento para obtenção de híbridos é um processo dinâmico, as necessidades de mercado ou dos clientes influenciam fortemente na condução do programa. Assim sendo, a utilização de linhagens S_3 na obtenção de híbridos poderia ser uma alternativa para os programas de melhoramento objetivando desenvolver híbridos com maior rapidez e com problemas de baixa produtividade nas linhagens genitoras. Como os híbridos “top crosses” de linhagens S_4 foram mais produtivos que os híbridos “top crosses” de linhagens S_3 e a alta produtividade de grãos é o fator mais importante a ser considerado, linhagens S_4 podem ser mais promissoras para a obtenção de híbridos. O problema da integridade genética das linhagens parcialmente endogâmicas, que pode ocorrer durante as várias gerações de produção de sementes também deve ser levado em conta.

Tabela 9. Produtividade de grãos (PG, em kg ha⁻¹), índice relativo (IR, em %) e desvio padrão (em relação à média geral dos híbridos) de híbridos “top crosses” de linhagens parcialmente endogâmicas S₃ (TCS₃) e S₄ (TCS₄) de milho. Jaboticabal, safrinha 2008/2009.

COD	Híbridos	TCS ₃			TCS ₄		
		PG	IR	Desvio	PG	IR	Desvio
01	A2555 x TO033-2(2)	8.776b	90,07	2,72	9.208a	90,03	3,20
03	A2555 x TO033-2(3)	7.257d	74,48	-12,87	7.968b	77,92	-8,91
05	TORK x A25034-2(1)	8.354c	85,74	-1,61	8.122b	79,42	-7,41
07	TORK x A25034-2(2)	8.662b	88,89	1,54	9.169a	89,67	2,84
09	TORK x A25034-2(2)2	-	-	-	8.585b	83,94	-2,89
10	TORK x A25034-3	6.461d	66,30	-21,05	8.192b	80,10	-6,73
12	TORK x A25051-2(1)	8.180c	83,95	-3,40	9.238a	90,32	3,49
14	TORK x A25051-2(2)	8.157c	83,72	-3,63	8.819b	86,23	-0,60
16	TORK x A25051-3	8.106c	83,19	-4,16	9.207a	90,02	3,19
18	STR x 30F001-1(2)	9.591a	98,43	11,08	8.721b	85,27	-1,56
20	STR x 30F001-2(1)	8.777b	90,07	2,72	9.303a	90,95	4,12
22	STR x 30F012-1(1)	8.913b	91,47	4,12	8.663b	84,70	-2,13
24	STR x 30F012-1(2)	8.641b	88,68	1,33	9.656a	94,41	7,58
26	STR x 30F012-1(3)	8.830b	90,62	3,27	9.911a	96,91	10,08
28	STR x 30F012-2	7.886c	80,93	-6,42	9.259a	90,54	3,71
30	30F33 x STR024-2(2)	9.560a	98,12	10,77	8.724b	85,30	-1,53
32	30F33 x STR024-3(1)	8.416c	86,37	-0,98	8.844b	86,48	-0,35
34	30F33 x STR032-2(1)	7.537d	77,36	-9,99	8.049b	78,70	-8,13
36	30F33 x STR032-4	10.241a	105,10	17,75	8.111b	79,31	-7,52
38	DKB 390	9.744a	100,00	12,65	10.227a	100,00	13,15
39	AG 7000	8.133c	83,47	-3,88	8.519b	83,30	-3,53
Média Geral		8.511±137	87,35±1,40	-	8.8807± 99	86,83±0,97	-

Médias seguidas da mesma letra não diferem significativamente pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade;

Tabela 10. Produtividade de grãos (PG, em kg ha⁻¹), índice relativo (IR, em %) e desvio padrão (em relação à média geral dos híbridos) de híbridos “top crosses” de linhagens parcialmente endogâmicas S₃ (TCS₃) e S₄ (TCS₄) de milho. Campo Alegre de Goiás, safreina 2008/2009.

COD	Híbridos	TCS ₃			TCS ₄		
		PG	IR	Desvio	PG	IR	Desvio
02	A2555 x TO033-2(2)	5.902b	79,28	-5,87	-	-	-
04	A2555 x TO033-2(3)*	-	-	-	6.400b	90,82	-0,27
06	TORK x A25034-2(1)	6.562b	88,15	3,00	6.132b	87,03	-4,06
08	TORK x A25034-2(2)	6.361b	85,45	0,30	-	-	-
09	TORK x A25034-2(2)-2	-	-	-	7.378a	104,68	13,59
11	TORK x A25034-3	6.611b	88,81	3,66	6.030b	85,58	-5,51
13	TORK x A25051-2(1)	5.797b	77,88	-7,27	7.717a	109,51	18,42
15	TORK x A25051-2(2)	6.136b	82,42	-2,73	5.759b	81,74	-9,35
17	TORK x A25051-3	5.904b	79,31	-5,84	6.407b	90,93	-0,16
19	STR x 30F001-1(2)	7.872a	105,7	20,55	6.393b	90,73	-0,36
21	STR x 30F001-2(1)	5.968b	80,17	-4,98	5.923b	84,04	-7,05
23	STR x 30F012-1(1)	5.554b	74,61	-10,54	6.913a	98,11	7,02
25	STR x 30F012-1(2)	6.264b	84,14	-1,01	6.596b	93,61	2,52
27	STR x 30F012-1(3)	6.165b	82,81	-2,34	6.616b	93,90	2,81
29	STR x 30F012-2	6.313b	84,81	-0,34	6.431b	91,27	0,18
31	30F33 x STR024-2(2)	7.106a	95,47	10,32	6.999a	99,35	8,26
33	30F33 x STR024-3(1)	5.605b	75,30	-9,85	5.595b	79,40	-11,69
35	30F33 x STR032-2(1)*	-	-	-	6.385b	90,62	-0,47
37	30F33 x STR032-4	6.573b	88,30	3,15	5.220b	74,08	-17,01
38	DKB 390	7.444a	100,00	14,85	7.046a	100,00	8,91
39	AG 7000	5.965b	80,13	-5,02	6.006b	85,24	-5,85
Média Geral		6.339±98	85,15±1,32	-	6.418±105	91,09±1,50	-

Médias seguidas da mesma letra não diferem significativamente pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade;

*Híbridos não testados em Campo Alegre de Goiás pela insuficiência de sementes.

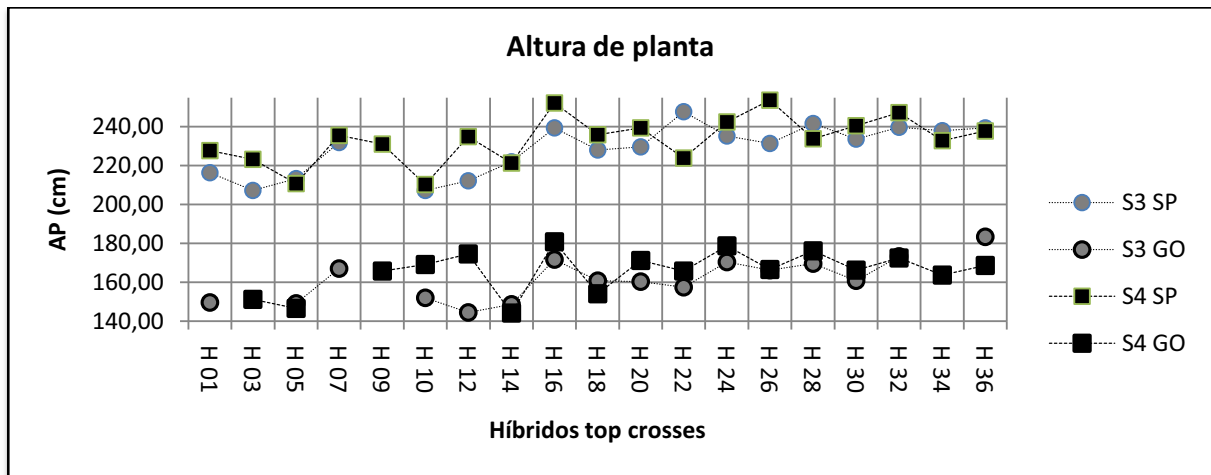


Figura 1. Comparação da performance média para altura de planta (AP, em cm) dos híbridos de milho de linhagens parcialmente endogâmicas S_3 e S_4 . Jaboticabal (SP) e Campo Alegre de Goiás (GO), safreina 2008/2009.

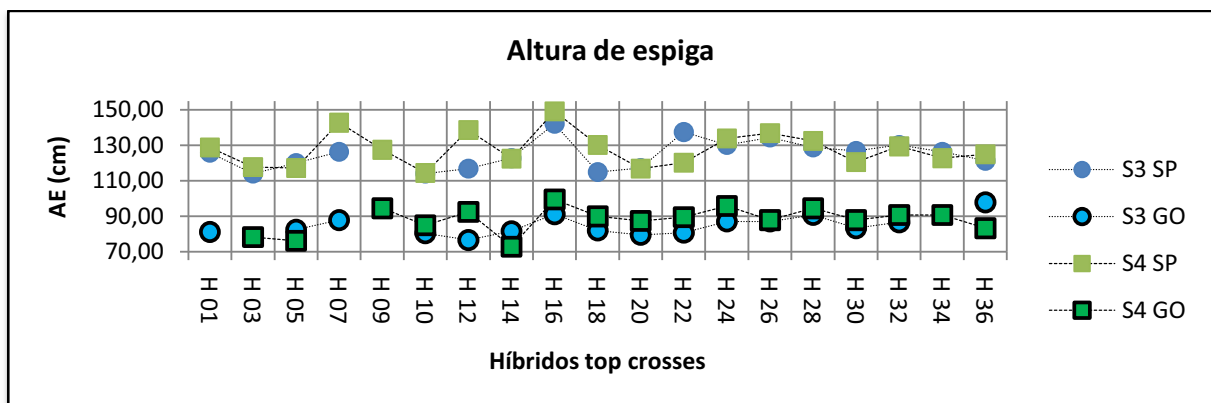


Figura 2. Comparação da performance média para altura de espiga (AE, em cm) dos híbridos de milho de linhagens parcialmente endogâmicas S_3 e S_4 . Jaboticabal (SP) e Campo Alegre de Goiás (GO), safreina 2008/2009.

Nas Tabelas 9 e 10 percebe-se que os híbridos de linhagens derivadas do híbrido simples 30F33 apresentaram o melhor desempenho médio, provavelmente o híbrido que originou estas linhagens possui maior frequência de locos em heterozigose e que nos locos que estão fixados, a maior proporção deve ser homozigótica para os alelos favoráveis a produtividade. Nestas mesmas Tabelas observa-se também que a produtividade relativa de grãos, na maioria, varia entre e dentro dos híbridos “top crosses” para linhagens aparentadas dentro da geração de autofecundação. O

desempenho, na maior parte destes híbridos, se mantém constante com o avanço da geração de autofecundação.

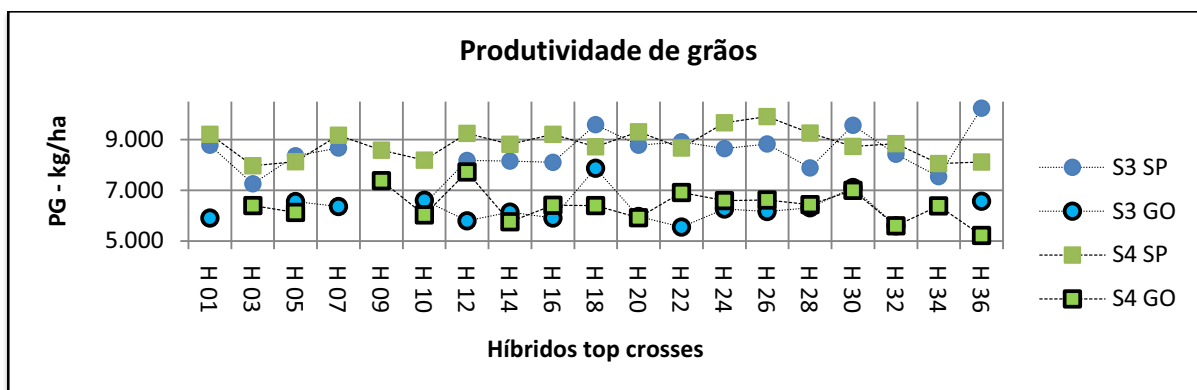


Figura 3. Comparação da performance média para produtividade de grãos (PG, em kg ha⁻¹) dos híbridos de milho de linhagens parcialmente endogâmicas S₃ e S₄. Jaboticabal (SP) e Campo Alegre de Goiás (GO), safreira 2008/2009.

Como na maioria dos híbridos triplos de linhagens parcialmente endogâmicas, deste estudo o desempenho se mantém constante a partir de S₃, e não há diferenças para a sua capacidade de combinação com o testador contrastante, podemos inferir que a variabilidade genética é baixa, portanto a produtividade de grãos é fixada nesta geração. Este resultado provavelmente está associado à menor frequência de genes deletérios e letais das linhagens, pois as linhagens genitoras dos híbridos comerciais de empresas passaram provavelmente por vários ciclos de seleção e recombinação, portanto com menor frequência de genes recessivos deletérios e letais. Percebe-se que, quando se autofecundam, os híbridos comerciais, a partir da terceira geração de autofecundação, há a obtenção de um número maior de linhagens fenotipicamente superiores, porque as sucessivas gerações de autofecundação reduziram ainda mais a presença de genes deletérios ou letais. Linhagens S₃ possuem em média 87,50% dos locos em homozigose, portanto a variabilidade genética dentro de linhagens já é baixa e quase não há diferenças fenotípicas entre plantas e a sendo que a produtividade de grãos já é fixada nesta geração.

O impacto mais imediato é que o uso de híbridos comerciais como fonte de linhagens, torna o programa de melhoramento mais eficiente, permitindo que se elimine

precocemente genótipos de desempenho inferior, agilizando o processo de obtenção de híbridos superiores. Como não há uniformidade entre e dentro dos híbridos de linhagens aparentadas, pode-se concluir ainda que a seleção entre e dentro das linhagens é uma opção atrativa, como estratégia para obtenção de híbridos superiores e também para reduzir o tempo e os custos da produção de sementes híbridas.

4. Conclusões

Híbridos de linhagens S_3 e S_4 de milho têm elevado potencial produtivo, semelhante ou superior às testemunhas comerciais.

Diante da necessidade de obter híbridos de destaque, as melhores combinações híbridas foram: STR x 30F001-1(2) e 30F33 x STR 024-2(2) do “top cross” de linhagens S_3 , e Tork x A25051-2(1) do “top cross” de linhagens S_4 , nos dois locais.

Os híbridos mudam a produtividade com o avanço da geração de autofecundação. Híbridos “top crosses” de linhagens S_4 foram mais produtivos que os híbridos “top crosses” de linhagens S_3 . Para altura de planta e de espiga o desempenho é em média uniforme ($S_3=S_4$).

Linhagens S_3 podem ser utilizadas na obtenção de híbridos quando os programas de melhoramento necessitam desenvolver híbridos com maior rapidez e com problemas de baixa produtividade nas linhagens genitoras.

Linhagens S_4 podem ser utilizadas para a obtenção de híbridos quando a alta produtividade de grãos é o fator mais importante a ser considerado.

Foi possível observar diferenças entre e dentro dos híbridos de linhagens aparentadas para produtividade relativa de grãos com o avanço da geração de autofecundação e que o desempenho desses híbridos se manteve constante a partir da terceira geração de autofecundação.

CAPÍTULO 3 – DESEMPENHO DE HÍBRIDOS SIMPLES DE LINHAGENS S_4

Resumo - O objetivo desse trabalho foi avaliar o potencial heterótico entre as linhagens parcialmente endogâmicas de milho com quatro (S_4) gerações de autofecundação, obtidas de quatro híbridos simples comerciais: Tork, Strike, 30F33 e A2555, do programa de melhoramento da FCAV/UNESP Jaboticabal, São Paulo/SP, com relação à heterose dos híbridos resultantes. Sabendo que as linhagens derivadas de 30F33 apresentam CEC com as derivadas do Strike e as linhagens Tork com as da A2555 realizaram-se os cruzamentos no esquema dialelo parcial. Os híbridos simples obtidos foram avaliados juntamente com os híbridos comerciais DKB 390 e AG 7000, em Jaboticabal/SP e Campo Alegre de Goiás/GO. Os ensaios foram conduzidos em delineamento de blocos casualizados com três repetições. Foram avaliados os caracteres altura de planta (AP), altura de espiga (AE) e produtividade de grãos (PG). No geral, a AP e AE foram inferiores à melhor testemunha. As melhores combinações híbridas foram: 30F001-3 x STR024-2(2), 30F012-2 x STR024-2(2) do dialelo parcial de linhagens S_4 da combinação 30F33 x Strike, e TO004-1(1) x [A25034-2(2), A25051-2(1)], TO004-1(2) x [A25034-2(2), A25051-3], TO033-2(2) x [A25051-2(1), A25051-2(2)] do dialelo parcial de linhagens S_4 da combinação Tork x A2555, nos dois locais. A elevada produtividade de grãos dos híbridos simples de gerações avançadas (S_4) garante o elevado potencial heterótico entre as linhagens do programa de melhoramento de milho. Levando em conta o desempenho das linhagens aparentadas nos híbridos simples ($S_4 \times S_4$), parece promissor a obtenção de híbridos simples de linhagens irmãs para obtenção de híbridos simples modificados.

Palavras-chave: capacidade combinatória, endogamia, heterose, híbridos simples modificados, linhagens parcialmente endogâmicas, *Zea mays*

1. Introdução

Conceitualmente, o milho híbrido explora uma das mais conhecidas e valiosas contribuições práticas do melhoramento genético ao ser humano e à agricultura mundial, que é o "vigor de híbrido" (ou heterose), descoberto há 100 anos por George H. SHULL (1908,1909). A heterose refere-se ao aumento na expressão dos caracteres (restauração do vigor) no cruzamento específico entre linhagens endogâmicas divergentes (geneticamente diferentes) e é função da existência de efeitos de dominância e sobredominância (FALCONER & MACKAY, 1996).

As linhagens são pouco produtivas em geral, pois as sucessivas autofecundações levam à homozigose e conseqüente depressão por endogamia. Em linhagens elites as médias de produtividade de sementes variam de 2.014 a 3.008 kg ha⁻¹(KOSHIMA, 2009). Em estudos com linhagens obtidas de populações e sintéticos obtiveram-se médias de produtividade de sementes variando de 880 a 2.080 kg ha⁻¹ (SILVEIRA et al., 2006). Os efeitos da endogamia dependem do tipo de população base e dos antecedentes de seleção da população que está sendo melhorada. A depressão por endogamia ocorre devido à redução dos locos em heterozigose, em grande parte em função da dominância para caracteres de baixa herdabilidade, e à maior expressão dos alelos recessivos deletérios ou letais ou subletais que compõem a carga genética da população.

Por centenas de anos, o melhoramento de milho foi realizado de forma empírica, mas, como ciência tem menos de um século. Sendo assim, suas pesquisas têm evoluído rapidamente e estão se presenciando algumas das mudanças na forma de se fazer melhoramento. Atualmente, caminham-se para o uso de híbridos com menor número de linhagens, como no caso de híbridos triplos (fêmea HS e macho linhagem), híbridos simples modificados (fêmea HS entre linhagens relacionadas e macho linhagem), e o simples puro (cruzamento entre linhagens apenas). Por esta razão, as empresas estimulam e direcionam seus melhoristas (pesquisadores especializados na criação de novos híbridos) a selecionarem linhagens que produzam bons híbridos, mas

sem perder de vista características favoráveis à produção econômica de sementes. É neste ponto que as pesquisas vêm focando, buscando alternativas que podem auxiliar os melhoristas a produzir novos híbridos que possam substituir com vantagem os existentes, a reduzir o número de ciclos, a aumentar a efetividade da seleção e facilitar a obtenção de sementes, conseqüentemente, reduzir o tempo e os custos da produção de sementes híbridas.

O foco principal do melhorista é aumentar a frequência dos alelos desejáveis (RUSSEL, 1975), conseqüentemente obter genótipos superiores e que respondam favoravelmente quando cultivados em diferentes ambientes.

A utilização de híbridos simples comerciais como fonte de linhagens é uma excelente opção. Tal prática é freqüente nos Estados Unidos (TROYER, 1999). Os híbridos comerciais possuem baixa frequência de genes deletérios ou letais e grande proporção de locos favoráveis já fixados, principalmente para alta produtividade. Além disso, já foram testados em vários ambientes passando por um amplo processo de seleção e para resistência às pragas e doenças. Portanto, diversas são as vantagens das linhagens obtidas de híbridos simples comerciais, normalmente mais produtivas e vigorosas e resistentes às variações ambientais (BISON et al., 2003; AMORIN & SOUZA, 2005).

SOUZA JUNIOR (1992) comparou híbridos produzidos de linhagens homozigóticas com híbridos produzidos com linhagens parcialmente endogâmicas e com os híbridos de linhagens modificadas, isto é, híbridos produzidos com cruzamentos envolvendo linhagens aparentadas. Concluiu que híbridos simples de linhagens S_3 podem ser utilizados, com vantagens, para substituir híbridos duplos e triplos normais e híbridos modificados podem ser produzidos com linhagens irmãs isoladas na geração S_2 de endogamia; híbridos modificados são superiores àqueles obtidos com endogamia parcial sendo superiores àqueles obtidos com endogamia parcial. SOUZA JUNIOR (1995) estudou a possibilidade de produzir híbridos simples de linhagens S_3 e obteve excelentes resultados.

Para avaliar o potencial heterótico entre genótipos de milho, uma excelente alternativa é a utilização de cruzamentos dialélicos, amplamente utilizados em programas de melhoramento de milho para obtenção de híbridos (HALLAUER & MIRANDA FILHO, 1988). Quando são obtidos linhagens de duas populações contrastantes, o esquema de cruzamento dialélico parcial é recomendado (MIRANDA FILHO & VIÉGAS, 1987).

Tendo em vista a necessidade de identificar híbridos de destaque e de encontrar alternativas que conduzam à redução dos custos e o tempo necessário para a obtenção de sementes híbridas, o objetivo desse trabalho foi avaliar o potencial heterótico entre linhagens parcialmente endogâmicas de milho com quatro (S_4) gerações de autofecundação, obtidas de híbridos simples comerciais, com base no seu comportamento em combinações híbridas.

2. Material e Métodos

Vinte e quatro linhagens parcialmente endogâmicas de milho com quatro (S_4) gerações de autofecundação, foram cruzadas em esquema dialelo parcial. As linhagens foram extraídas de quatro híbridos simples comerciais: Tork, Strike, 30F33 e A2555. As linhagens pertencem ao programa de melhoramento de milho do Departamento de Biologia Aplicada à Agropecuária da FCAV/UNESP – Jaboticabal/SP (Tabela 1).

Os cruzamentos foram efetuados de acordo com a CEC das linhagens (estudos prévios), dividindo esses cruzamentos em dois grupos: grupo 1 (G1) – as cinco linhagens provenientes do híbrido comercial 30F33 foram cruzadas com as seis linhagens derivadas do híbrido comercial Strike e no grupo 2 (G2) – as seis linhagens derivadas do híbrido comercial Tork foram cruzadas com as sete linhagens provenientes do híbrido comercial A2555.

Tabela 1. Linhagens parcialmente endogâmicas S_4 obtidas a partir de quatro híbridos simples comerciais de milho utilizadas nos cruzamentos dialelo parciais.

Linhagem	Origem	Linhagem	Origem
TO004-1(1)	Tork	A25051-3	A2555
TO004-1(2)	Tork	30F001-2(1)	30F33
TO004-2(1)	Tork	30F001-2(2)	30F33
TO004-2(2)	Tork	30F001-3	30F33
TO004-2(3)	Tork	30F012-1(3)	30F33
TO033-2(2)	Tork	30F012-2	30F33
A25034-1	A2555	STR024-2(2)	Strike
A25034-2(2)2	A2555	STR024-3(1)	Strike
A25034-3	A2555	STR024-3(2)	Strike
A25051-1(2)	A2555	STR032-1	Strike
A25051-2(1)	A2555	STR032-2(1)	Strike
A25051-2(2)	A2555	STR032-4	Strike

A semeadura das linhagens a serem cruzadas foi realizada em agosto de 2008, na área experimental do Departamento de Biologia Aplicada à Agropecuária da FCAV/UNESP, no município de Jaboticabal, São Paulo, Brasil, situado a uma latitude de 21°15'22" S, longitude de 48°18'58" W e altitude de 595 m. De acordo com a classificação de Köppen, o clima da região é do tipo Cwa (subtropical). O solo é um Latossolo Vermelho Escuro – textura média. A área foi antecipadamente preparada em plantio convencional. A adubação foi realizada de acordo com a análise do solo. Os demais tratos culturais utilizados foram os recomendados para a cultura do milho (EMBRAPA, 2010).

Para a obtenção das F_1 's foram semeadas linhas de 10 metros (50 plantas), espaçadas de 0,90 m entre linhas e 0,20 m entre plantas. A cada três linhas fêmeas foi semeada uma linha macho para facilitar a execução dos cruzamentos. Para favorecer a coincidência do florescimento adotou-se o esquema "split" de sete dias, isto é, as linhas machos foram semeados com intervalo de sete dias. A semeadura, das linhas fêmeas e machos em momentos diferentes, são necessários porque as linhagens são geneticamente diferentes, portanto apresentam ciclos distintos.

A polinização foi manual e se deu da seguinte forma: antes de aparecer os estigmas (cabelos), as espigas foram protegidas com um pequeno saco plástico. Um ou dois dias depois, quando os estigmas estavam com aproximadamente 5-10 cm, foi coletado o pólen do macho num saco tipo “kraf” com identificação do mesmo, o qual após a polinização foi fixado ao colmo, protegendo a espiga polinizada até a colheita com as devidas identificações.

Divididos em quatro ensaios, os híbridos simples de linhagens parcialmente endogâmicas S₄ (G1 e G2), juntamente com as testemunhas comerciais DKB 390 e AG7000, ambos da empresa Monsanto, foram avaliados em dois locais: Jaboticabal – área experimental da FCAV/UNESP e Campo Alegre de Goiás - área da Fazenda da Empresa Di Solo Sementes Ltda., no município de Campo Alegre de Goiás, Estado de Goiás, Brasil, situado a uma latitude de 17°37’59” S, longitude de 47°46’42” W e altitude de 877 m. De acordo com a classificação de Köppen, o clima da região é do tipo Aw Megatérmico, com verões chuvosos e invernos secos. O relevo é suave ondulado. O solo é um típico de cerrado. Pela pouca disponibilidade de sementes, alguns híbridos simples não foram testados nos dois locais.

O delineamento experimental utilizado foi o de blocos casualizados com três repetições. As parcelas experimentais foram representadas por linhas duplas de 5 metros de comprimento. O espaçamento entre linhas foi de 0,90 m e 0,20 m entre plantas. A área foi antecipadamente preparada em plantio convencional com adubação de 500 kg ha⁻¹ de NPK, da fórmula 10-20-20, de acordo com a análise do solo. A semeadura foi realizada em 04 de março de 2009 em Jaboticabal e 20 de março de 2009 em Campo Alegre de Goiás, colocando-se duas plantas por cova, com auxílio de plantadeiras manuais (matraca).

Três dias após a semeadura, aplicou-se o herbicida de pré-emergência (Primestra SC), na dose de sete litros por hectare. Aos 20 dias após a germinação efetuou-se o desbaste, deixando apenas uma planta por cova, ou seja, cinco plantas/metro, simulando deste modo uma população de 55.555 plantas ha⁻¹. A adubação de cobertura foi efetuada em dose única aos 35 dias após o plantio com 300

kg ha⁻¹ de uréia. Foi efetuado o controle da lagarta-do-cartucho *Spodoptera frugiperda* (J.E. SMITH, 1797) (LEPIDOPTERA: Noctuidae) sempre que necessário com o inseticida químico metomil (Lannate®). Os demais tratos culturais adotados foram os recomendados para a cultura do milho (EMBRAPA, 2010). Sendo que os experimentos foram irrigados em razão da falta de chuvas em volume adequado.

Após o florescimento, cada parcela foi identificada com etiquetas de papel contendo o número da parcela disposta na primeira planta da linha.

Na pré-colheita foram avaliadas as variáveis: altura da planta (AP) e altura da espiga (AE), sendo medidas 10 plantas/parcela do solo até a inserção da folha bandeira e da base do entrenó da espiga principal, respectivamente, utilizando-se uma régua de 3 metros graduada de cinco em cinco centímetros, após a ocorrência de 100% de florescimento feminino na parcela, a partir desses dados, foi calculada a média para cada parcela, em centímetros (cm); número de plantas por parcela fez-se a contagem de plantas. Na colheita em setembro de 2009, todas as espigas de cada parcela, foram acondicionadas em uma sacola de 50 kg, acompanhadas da respectiva etiqueta de identificação e levadas para o laboratório para efetuar a debulha das espigas. Por estes dados se definiu a produtividade de grãos em kg ha⁻¹ (PG) que representa o peso de grãos, em quilos, corrigido para 13% de umidade para um estande de 50 plantas por parcela.

A correção para umidade dos grãos foi efetuada empregando-se a fórmula $PC = P - (P \times U) / 0,87$. Nesta fórmula, U corresponde ao teor de umidade dos grãos, P é o peso de grãos não corrigido e PC o peso corrigido para 13% de umidade. A correção de estande foi realizada segundo a fórmula de ZUBER (1942), $PG = PC(T - 0,3 \times F) / (T - F)$, onde PG = peso de grãos corrigido para teor de umidade e estande, PC = peso corrigido para 13,0% de umidade, T = número total de plantas na parcela (50) e F = número total de plantas perdidas na parcela. Esse ajustamento adiciona 70% do rendimento médio de grãos a cada planta perdida, e considera que 30% são recuperados pelo aumento da produtividade das plantas vizinhas.

Foram realizadas análises de variância individual por ambiente para cada caráter avaliado, e posteriormente, a análise conjunta de acordo com RAMALHO et al. (2000), utilizando-se o programa Genes (CRUZ, 2001).

O modelo matemático, considerando as análises individuais, foi:

$$Y_{ijk} = \mu + r_i + b_{(i)j} + t_k + e_{ijk}$$

em que:

Y_{ijk} : é o valor observado na parcela experimental que recebeu o tratamento k no bloco j da repetição i;

μ : é a média geral do experimento;

r_i : é o efeito da repetição i, sendo i = 1, 2, 3;

$b_{(i)j}$: é o efeito do bloco j, dentro da repetição i, sendo j = 1, 2, ..., 10;

t_k : é o efeito do tratamento k, sendo k = 1, 2, ..., n;

e_{ijk} : é o erro experimental da parcela que recebeu o tratamento k no bloco j da repetição i.

O esquema da análise da variância, com as respectivas esperanças dos quadrados médios, é apresentado na Tabela 2.

Nas análises de variância conjunta para cada um dos caracteres, foi considerado como fixo o efeito do genótipo e o efeito do ambiente como sendo aleatório, de acordo com o modelo matemático:

$$Y_{ikjs} = \mu + t_i + l_s + tl_{is} + r_{j(s)} + b_{k(js)} + e_{ikjs}$$

em que:

Y_{ikjs} : é a observação do tratamento i no bloco k, na repetição j, no local s;

μ : é a média geral dos dois experimentos;

t_i : é o efeito do tratamento i, sendo i = 1, 2, ..., n;

l_s : é o efeito do local s , sendo $s = 1, 2$;

tl_{is} : é o efeito da interação do tratamento i com local s ;

$r_{j(s)}$: é o efeito da repetição j dentro do local s ;

$b_{k(js)}$: é o efeito do bloco k dentro da repetição j e do local s ;

e_{ikjs} : é o efeito do erro efetivo médio.

Tabela 2. Esquema da análise de variância individual para cada experimento, com as respectivas esperanças dos quadrados médios.

Fontes de Variação	GL	QM	E(QM)
Blocos	$r - 1$	QMB	-
Tratamentos (T)	$t - 1$	QMT	-
Híbridos (H)	$h - 1$	QMH	$\sigma_e^2 + r\sigma_G^2$
Testemunhas (Te)	$te - 1$	QMTe	-
H vs. Te	1	QMHvsTe	-
Erro efetivo	$(r - 1)(t - 1)$	QMR	σ_e^2
Total	$rt - 1$	-	-

σ_e^2 : variância do erro experimental;

σ_G^2 : variância genética entre os híbridos.

Foi realizado o Teste de SCOTT-KNOTT (1974) para comparação de médias a 5% de probabilidade.

Para todas as análises estatísticas foi utilizando o programa Genes (CRUZ, 2001).

3. Resultados e Discussão

Nos ensaios de híbridos simples de linhagens parcialmente endogâmicas S₄ G1 e G2, nos dois locais (Jaboticabal e Campo Alegre de Goiás), e na análise conjunta, a precisão experimental avaliada pelo coeficiente de variação (CV) foi boa para todos os caracteres estudados. Ou seja, observou-se CV inferior a 10% que demonstram confiabilidade nos resultados obtidos (Tabelas 03, 04 e 05). Esses valores podem ser considerados bons para a cultura do milho (SCAPIN et al., 1995).

Entre os 28 híbridos simples avaliados, resultantes do dialelo parcial do grupo um (G1), houve efeitos significativos para produtividade de grãos em Jaboticabal ($P \leq 0,01$) e Campo Alegre de Goiás ($P \leq 0,05$). Entre as testemunhas, nos dois locais, ocorreram diferenças significativas ($P \leq 0,01$) para todos os caracteres avaliados, exceto produtividade de grãos ($P \leq 0,05$) em Campo Alegre de Goiás. Para o contraste híbridos vs. testemunhas houve efeitos significativos para altura de planta em Jaboticabal ($P \leq 0,01$) e Campo Alegre de Goiás ($P \leq 0,05$), bem como produtividade de grãos em Jaboticabal ($P \leq 0,05$) (Tabela 03).

Analizando os 39 híbridos simples oriundos do dialelo parcial do grupo dois (G2), foram detectados efeitos de híbridos significativos ($P \leq 0,01$) para todos os caracteres avaliados nos dois locais. Neste ensaio podemos observar que entre as testemunhas houve diferença altamente significativa ($P \leq 0,01$) para altura de planta e produtividade de grãos em Campo Alegre de Goiás. No contraste híbridos vs. testemunhas houve diferença significativa para altura de espiga em Campo Alegre de Goiás ($P \leq 0,01$) e Jaboticabal ($P \leq 0,05$) (Tabela 04).

Na análise de variância conjunta para os híbridos simples do G1 e G2, houve efeitos significativos ($P \leq 0,01$) de locais e híbridos para todos os caracteres avaliados, exceto de híbridos para o caráter altura de planta no G1. O efeito da interação híbrido x local (H x L) foi significativo para altura de planta ($P \leq 0,01$), altura de espiga ($P \leq 0,05$) e

para produtividade de grãos ($P \leq 0,05$) em ambos os grupos (Tabela 5). A interação genótipo x ambiente (H x L) significativa pode ser explicada porque, os experimentos foram montados na condição climática adversa (safrinha) com temperatura, radiação solar e disponibilidade de água decrescente, conduzindo à planta a uma situação de estresse e com uma semeadura tardia (março), ou seja, maior permanência no campo com queda de produtividade. Contudo, neste caso, os híbridos que apresentam excelentes performances nos dois locais podem ser considerados mais resistentes às variações ambientais.

Tabela 3. Resumo da análise de variância de híbridos simples de linhagens parcialmente endogâmicas S_4 de milho do grupo um (G1) para os caracteres altura de planta (AP, em cm), altura de espiga (AE, em cm) e produtividade de grãos (PG, em kg ha^{-1}). Jaboticabal e Campo Alegre de Goiás, safrinha 2008/2009.

F.V.	Quadrados médios							
	Jaboticabal				Campo Alegre de Goiás			
	GL	AP	AE	PG	GL	AP	AE	PG
Blocos	2	4,759	28,123	0,478	2	400,287	108,998	1,502
Tratamentos	29	413,209**	143,229**	1,095**	28	205,565*	110,196*	0,879*
Híbridos	27	186,751 ^{ns}	96,598 ^{ns}	0,990**	26	165,524 ^{ns}	85,948 ^{ns}	0,854*
Testemunhas	1	2062,760**	1387,760**	3,063**	1	937,500**	731,510**	2,296*
Hib. vs test.	1	4878,003**	157,749 ^{ns}	1,965*	1	514,692*	119,333 ^{ns}	0,093 ^{ns}
Erro	58	171,835	66,532	0,397	56	118,497	53,213	0,462
C.V. (%)	-	5,46	6,45	6,77	-	5,96	7,51	9,95
MÉDIA	-	239,84	126,41	9.310	-	182,69	97,16	6.829

**Significativo pelo teste F a 1% de probabilidade

*Significativo pelo teste F a 5% de probabilidade

^{ns} não significativo

Tabela 4. Resumo da análise de variância de híbridos simples de linhagens parcialmente endogâmicas S₄ de milho do grupo dois (G2) para os caracteres altura de planta (AP, em cm), altura de espiga (AE, em cm) e produtividade de grãos (PG, em kg ha⁻¹). Jaboticabal e Campo Alegre de Goiás, safinha 2008/2009.

F.V.	Quadrados médios							
	Jaboticabal				Campo Alegre de Goiás			
	GL	AP	AE	PG	GL	AP	AE	PG
Blocos	2	26,426	57,721	0,666	2	646,171	430,405	0,438
Tratamentos	40	320,136**	270,888**	1,524**	36	356,520**	180,150**	1,315**
Híbridos	38	332,872**	280,020**	1,595**	34	342,255**	169,067**	1,233**
Testemunhas	1	150,000 ^{ns}	58,594 ^{ns}	0,309 ^{ns}	1	846,093**	204,167 ^{ns}	4,190**
Hib. vs test.	1	6,299 ^{ns}	136,152*	0,039 ^{ns}	1	351,980 ^{ns}	532,976**	1,232 ^{ns}
Erro	80	44,146	29,916	0,434	72	100,063	61,858	0,444
C.V. (%)	-	3,02	4,41	7,57	-	6,24	9,25	9,50
MÉDIA	-	220,25	123,90	8.698	-	160,26	85,00	7.015

**Significativo pelo teste F a 1% de probabilidade

*Significativo pelo teste F a 5% de probabilidade

^{ns} não significativo

Como os híbridos simples tiveram desempenho diferente quanto aos caracteres avaliados nos dois locais (interação genótipo x ambiente significativa), os resultados serão discutidos por local (Tabelas 6 e 7).

No G1 a média da produtividade de grãos (PG) dos híbridos simples variou de 7.838 a 10.021 kg ha⁻¹ em Jaboticabal e de 5.336 a 8.246 kg ha⁻¹ em Campo Alegre de Goiás. Já no G2 a média de produtividade de grãos variou de 7.200 a 10.243 kg ha⁻¹ em Jaboticabal e de 5.258 a 8.367 kg ha⁻¹ em Campo Alegre de Goiás. Este último apresentou produtividade média de grãos menor (cerca de 2.082 kg ha⁻¹). Os híbridos, em geral, apresentaram altura de planta e da espiga inferiores ao híbrido comercial DKB 390 (Tabelas 6 e 7).

Tabela 5. Resumo das análises de variância conjunta para os híbridos simples de linhagens parcialmente endogâmicas S₄ de milho do grupo um (G1) e dois (G2) para os caracteres altura de planta (AP, em cm), altura de espiga (AE, em cm) e produtividade de grãos (PG, em kg ha⁻¹). Jaboticabal e Campo Alegre de Goiás, safinha 2008/2009.

F.V.	Quadrados médios							
	G1				G2			
	GL	AP	AE	PG	GL	AP	AE	PG
Blocos/ Local	4	196,777	72,107	1,169	4	334,152	240,327	0,442
Híbridos (H)	27	206,610 ^{ns}	127,554**	1,020**	38	518,297**	363,397**	2,069**
Locais (L)	1	140912,941**	36938,289**	243,976**	1	201654,524**	84952,988**	152,908**
H x L	26	144,902 ^{ns}	53,801 ^{ns}	0,823*	34	135,015**	75,881*	0,703*
Resíduo	106	142,240	57,406	0,432	144	68,743	45,222	0,403
CV (%)	-	5,59	6,76	8,14	-	4,33	6,40	8,02
Média	-	213,11	112,07	8,077	-	191,65	105,13	7,916

**Significativo pelo teste F a 1% de probabilidade

*Significativo pelo teste F a 5% de probabilidade

^{ns} não significativo

Tabela 6. Médias da altura de planta (AP, em cm), altura de espiga (AE, em cm) e produtividade de grãos (PG, em kg ha⁻¹), de híbridos simples de linhagens parcialmente endogâmicas S₄ de milho do grupo 1 e das duas testemunhas comerciais. Jaboticabal e Campo Alegre de Goiás, safrinha 2008/ 2009.

Híbridos	Jaboticabal			Campo Alegre de Goiás		
	AP	AE	PG	AP	AE	PG
30F001-2(1) x STR024-2(2)	228,33a	119,58b	8.869b	169,17a	89,17b	7.467a
30F001-2(1) x STR024-3(1)	238,75a	122,08b	9.162b	195,00a	102,50a	7.012a
30F001-2(1) x STR024-3(2)	246,25a	130,83a	9.317a	186,67a	92,08b	6.145a
30F001-2(1) x STR032-2(1)	236,25a	126,67b	9.075b	172,50a	92,08b	6.800a
30F001-2(1) x STR032-4	252,50a	130,00a	9.685a	176,67a	99,58a	7.058a
30F001-2(2) x STR024-2(2)*	242,08a	126,67b	9.084b	-	-	-
30F001-2(2) x STR024-3(1)	249,58a	134,58a	9.773a	197,92a	104,17a	6.665a
30F001-2(2) x STR024-3(2)	243,33a	118,75b	8.525b	191,67a	102,50a	6.854a
30F001-2(2) x STR032-1	249,17a	121,67b	9.913a	188,75a	93,75b	6.898a
30F001-2(2) x STR032-2(1)	241,25a	129,17a	8.311b	193,33a	100,00a	7.100a
30F001-2(2) x STR032-4	245,83a	125,83b	9.276a	187,08a	100,00a	6.522a
30F001-3 x STR024-2(2)	242,08a	123,33b	10.021a	177,92a	88,33b	8.246a
30F001-3 x STR024-3(1)	248,75a	132,50a	9.722a	178,75a	99,17a	6.628a
30F001-3 x STR024-3(2)	249,17a	122,50b	8.984b	181,25a	88,75b	7.110a
30F001-3 x STR032-1	230,00a	116,67b	9.373a	178,33a	92,50b	7.215a
30F001-3 x STR032-2(1)	233,75a	122,50b	9.394a	185,00a	98,33a	6.560a
30F012-1(3) x STR024-2(2)	230,83a	125,42b	9.047b	182,50a	98,75a	7.529a
30F012-1(3) x STR024-3(1)	242,92a	134,58a	9.902a	195,00a	106,25a	6.989a
30F012-1(3) x STR024-3(2)	248,75a	130,00a	9.903a	188,33a	98,75a	6.789a
30F012-1(3) x STR032-1	247,50a	132,08a	9.480a	182,08a	98,33a	6.869a
30F012-1(3) x STR032-2(1)	225,42a	120,42b	7.838b	184,17a	98,92a	6.898a
30F012-1(3) x STR032-4	249,58a	136,67a	9.940a	185,42a	105,00a	6.731a
30F012-2 x STR024-2(2)	245,83a	132,50a	9.702a	179,17a	95,83b	7.421a
30F012-2 x STR024-3(1)	252,92a	134,58a	9.716a	171,25a	92,08b	6.449a
30F012-2 x STR024-3(2)	247,08a	125,00b	8.768b	182,92a	89,17b	5.336a
30F012-2 x STR032-1	231,39a	119,03b	9.034b	182,92a	96,67a	6.667a
30F012-2 x STR032-2(1)	236,25a	131,67a	8.144b	182,50a	102,50a	6.597a
30F012-2 x STR032-4	235,00a	124,17b	9.625a	174,17a	90,42b	6.080a
Média híbridos	241,80	126,76	9.271	183,35	96,84	6.838
DKB 390	230,83a	136,67a	10.578a	186,25a	112,50a	7.328a
AG 7000	193,75a	106,25b	9.149b	161,25a	90,42b	6.091a
Média testemunhas	212,29	121,46	9.863	173,75	101,46	6.709
Média geral	239,84	126,41	9.310	182,69	97,15	6.829

Médias seguidas da mesma letra não diferem significativamente pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade;

* Híbridos não testados em Campo Alegre de Goiás pela insuficiência de sementes.

Tabela 7. Médias da altura de planta (AP, em cm), altura de espiga (AE, em cm) e produtividade de grãos (PG, em kg ha⁻¹), de híbridos simples de linhagens parcialmente endogâmicas S₄ de milho do grupo 2 e das duas testemunhas comerciais. Jaboticabal e Campo Alegre de Goiás, safinha 2008/ 2009.

Híbridos	Jaboticabal			Campo Alegre de Goiás		
	AP	AE	PG	AP	AE	PG
TO004-1(1) x A25034-1	210,83d	116,25c	8.407b	172,50a	92,08a	6.973a
TO004-1(1) x A25034-2(2)	236,25a	141,25a	10.243a	167,08a	85,42a	8.043a
TO004-1(1) x A25034-3	227,08b	126,25c	9.634a	157,08b	80,83b	7.496a
TO004-1(1) x A25051-1(2)	205,00d	112,92d	7.939c	137,50c	71,67b	7.163a
TO004-1(1) x A25051-2(1)	226,67b	132,08b	10.093a	163,75b	82,92b	7.525a
TO004-1(1) x A25051-3	231,25a	139,58a	9.821a	167,08a	95,00a	6.899a
TO004-1(2) x A25034-1	212,92c	116,67c	8.631b	176,67a	93,33a	7.414a
TO004-1(2) x A25034-2(2)	238,75a	142,08a	9.404a	170,83a	95,00a	7.454a
TO004-1(2) x A25034-3	221,25c	123,33c	8.262b	154,17b	82,08b	7.913a
TO004-1(2) x A25051-1(2)	215,00c	118,33c	9.030a	146,25c	80,83b	6.975a
TO004-1(2) x A25051-2(1)	223,75b	130,00b	8.597b	170,83a	86,67a	8.159a
TO004-1(2) x A25051-2(2)	217,50c	123,75c	9.116a	163,33a	92,92a	7.154a
TO004-1(2) x A25051-3	231,67a	142,08a	9.147a	176,25a	99,58a	8.367a
TO004-2(1) x A25034-1	207,92d	107,92d	7.200c	-	-	-
TO004-2(1) x A25034-2(2)	220,00c	124,58c	8.565b	158,33b	80,42b	6.983a
TO004-2(1) x A25034-3	214,58c	118,33c	7.509c	155,42b	78,75b	5.258b
TO004-2(1) x A25051-1(2)	197,50d	110,00d	8.292b	136,25c	67,08b	5.951b
TO004-2(1) x A25051-2(1)	207,92d	119,58c	7.739c	-	-	-
TO004-2(1) x A25051-2(2)	208,75d	117,50c	8.415b	142,08c	75,42b	6.192b
TO004-2(1) x A25051-3	230,00b	135,00b	8.579b	150,42b	86,25a	6.836a
TO004-2(2) x A25034-1	208,61d	105,97d	7.735c	160,42b	78,75b	7.510a
TO004-2(2) x A25034-2(2)	224,58b	125,83c	8.781b	166,67a	89,17a	6.766a
TO004-2(2) x A25034-3	219,58c	119,58c	8.693b	165,42a	82,92b	7.491a
TO004-2(2) x A25051-1(2)	214,58c	118,75c	8.037c	141,25c	77,50b	6.553b
TO004-2(2) x A25051-2(1)	217,08c	120,00c	9.152a	153,33b	84,17b	7.157a
TO004-2(2) x A25051-2(2)	204,17d	112,92d	8.704b	-	-	-
TO004-2(2) x A25051-3	227,50b	128,75b	8.698b	160,00b	89,58a	7.186a
TO004-2(3) x A25034-1	222,08b	121,67c	7.963c	160,00b	80,42b	7.044a
TO004-2(3) x A25034-2(2)	218,75c	123,33c	8.757b	170,00a	93,75a	6.755a
TO004-2(3) x A25034-3	236,25a	129,58b	8.822b	158,75b	81,25b	6.421b
TO004-2(3) x A25051-1(2)	211,67d	112,08d	7.480c	147,92c	73,33b	6.078b
TO004-2(3) x A25051-2(1)	219,58c	122,92c	8.823b	157,92b	82,92b	7.058a
TO004-2(3) x A25051-2(2)	210,42d	120,83c	9.546a	156,25b	77,08b	6.824a
TO033-2(2) x A25034-1	225,42b	121,25c	7.898c	168,33a	87,50a	6.253b
TO033-2(2) x A25034-2(2)	239,58a	140,00a	8.607b	174,58a	90,83a	6.987a
TO033-2(2) x A25051-1(2)	214,58c	112,92d	9.246a	-	-	-
TO033-2(2) x A25051-2(1)	235,42a	131,25b	9.051a	164,17a	88,33a	7.653a
TO033-2(2) x A25051-2(2)	220,00c	121,67c	9.954a	157,08b	78,75b	7.089a
TO033-2(2) x A25051-3	233,33a	135,83b	8.829b	166,25a	94,17a	6.830a
Média híbridos	220,20	123,66	8.702	159,83	84,48	7.040
DKB 390	226,25b	131,67b	8.846b	179,58a	100,00a	7.410a
AG 7000	216,25c	125,42c	8.392b	155,83b	88,33a	5.739b
Média testemunhas	221,25	128,54	8.619	167,71	94,17	6.574
Média geral	220,25	123,90	8.698	160,26	85,00	7.015

Médias seguidas da mesma letra não diferem significativamente pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade;

* Híbridos não testados em Campo Alegre de Goiás pela insuficiência de sementes.

As combinações híbridas do G1, no geral, apresentaram um excelente desempenho. Em Jaboticabal, dos 28 híbridos simples testados, 16 apresentaram em média, a mesma produtividade de grãos que a testemunha DKB 390 e em Campo Alegre de Goiás não houve diferença entre híbridos e testemunhas. Destacaram-se com produtividades próximas à da melhor testemunha comercial, nos dois locais, os seguintes híbridos simples: 30F001-2(1) x STR 032-4, 30F001-2(2) x STR024-3(1), 30F001-2(2) x STR032-4, 30F001-3 x STR024-2(2), 30F001-3 x STR024-3(1), 30F001-3 x STR032-2(1), 30F012-1(3) x STR 024-3(1), 30F012-1(3) x STR032-4, 30F012-2 x STR024-2(2), 30F012-2 x STR024-3(1) e 30F012-2 x STR032-4. Dentro desse grupo dois merecem destaque especial: 30F001-3 x STR024-2(2), por apresentar em Jaboticabal a maior média de produção ($10.021 \text{ kg.ha}^{-1}$) e em Campo Alegre de Goiás (8.246 kg.ha^{-1}) média superior à melhor testemunha DKB 390 (7.328 kg.ha^{-1}) e o 30F012-2 x STR024-2(2) (7.421 kg.ha^{-1}) que em Campo Alegre de Goiás também apresentou produtividade de grãos superior ao híbrido comercial DKB 390 (Tabela 6).

No geral, os híbridos simples do G2, apresentaram excelente performance. Dentre os 39 híbridos simples avaliados em Jaboticabal, 13 híbridos apresentaram produtividade de grãos superiores à melhor testemunha e 10 híbridos em Campo Alegre de Goiás. Além disso, 28 combinações apresentaram produtividade de grãos próximos à melhor testemunha. Dos híbridos simples destacaram-se com produtividades próximas à da melhor testemunha comercial, nos dois locais, os seguintes híbridos simples: TO004-1(1) x [A25034-2(2); A25051-2(1); A25051-3], TO004-1(2) x [A25034-2(2); A25051-2(2); A25051-3], TO004-2(2) x A25051-2(1), TO004-2(3) x A25051-2(2) e TO033-2(2) x [A25051-2(1); A25051-2(2)] (Tabela 7).

Vale ressaltar que, híbridos simples que possuem um bom desempenho sobre diferentes condições ambientais apresentam adaptação mais ampla e, portanto, podem ser comercializados em área geográfica maior.

Destacaram-se com excelente potencial heterótico as seguintes linhagens: STR024-2(2) do G1 e TO004-1(1) e TO004-1(2) do G2. Das 13 melhores combinações no G2, quatro tiveram a participação da linhagem TO004-1(1) e quatro da linhagem

TO004-1(2), sendo que estas também apresentaram um desempenho satisfatório nos híbridos “top cross” (Tabelas 6 e 7).

SOUZA JUNIOR (1992) comparou diversos tipos de híbridos que potencialmente poderiam apresentar performances superiores. Em seu trabalho concluiu que híbridos modificados são superiores àqueles obtidos com endogamia parcial. Nas Tabelas 8 e 9 percebe-se que há possibilidade de produzir híbridos simples modificados a partir das linhagens aparentadas. Está prática tem o intuito de explorar a heterose entre as linhagens irmãs, aumentando a produção de sementes pela obtenção do híbrido simples, o qual será utilizado como genitor feminino no cruzamento com as linhagens que apresentaram um excelente desempenho em ambas as combinações híbridas $S_4 \times S_4$ das linhagens irmãs. Com isso espera-se reduzir os custos de produção de sementes híbridas.

Tabela 8. Produtividade de grãos (em kg ha⁻¹) de híbridos simples de linhagens parcialmente endogâmicas S_4 do grupo um (G1) (Strike x 30F33) de melhor desempenho, para predição de híbridos simples modificados de milho. Jaboticabal (L1) e Campo Alegre de Goiás (L2), safreinha 2008/2009.

Dialelo	30F001-2(1)		30F001-2(2)		30F001-3		30F012-1(3)		30F012-2	
STR024-2(2)	-	-	-	-	10.021a	8.246a	-	-	9.702a	7.421a
STR024-3(1)	-	-	9.773a	6.665a	9.722a	6.628a	9.902a	6.989a	9.716a	6.449a
STR024-3(2)	-	-	-	-	-	-	9.903a	6.789a	-	-
STR032-1	-	-	9.913a	6.898a	9.373a	7.215a	9.480a	6.869a	-	-
STR032-2(1)	-	-	-	-	9.394a	6.560a	-	-	-	-
STR032-4	9.685a	7.058a	9.276a	6.522a	-	-	9.940a	6.731a	9.625a	6.080a
Locais	L1	L2	L1	L2	L1	L2	L1	L2	L1	L2

Médias seguidas da mesma letra não diferem significativamente pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade;

Na Tabela 10 percebe-se que, levando-se em consideração o desempenho dos híbridos simples (Tabelas 8 e 9), pode-se obter sete híbridos de linhagens irmãs no G1 e nove no G2, pelo qual poderão ser formados 19 híbridos simples modificados.

Tabela 9. Produtividade de grãos (em kg ha⁻¹) de híbridos simples de linhagens parcialmente endogâmicas S₄ do grupo dois (G2) (Tork x A2555) de melhor desempenho, para predição de híbridos simples modificados de milho. Jaboticabal (L1) e Campo Alegre de Goiás (L2), safreira 2008/2009.

Dialelo	TO004-1(1)		TO004-1(2)		TO033-2(2)	
A25034-2(2)	10.243a	8.043a	9.404a	7.454a	-	-
A25034-3	9.634a	7.496a	-	-	-	-
A25051-1(2)	-	-	9.030a	6.975a	9.246a	-
A25051-2(1)	10.093a	7.525a	-	-	9.051a	7.653a
A25051-2(2)	-	-	9.116a	7.154a	9.954a	7.089a
A25051-3	9.821a	6.899a	9.147a	8.367a	-	-
Locais	L1	L2	L1	L2	L1	L2

Médias seguidas da mesma letra não diferem significativamente pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade;

Tabela 10. Esquema preditivo para obtenção de híbridos simples modificados segundo o desempenho de híbridos simples de linhagens parcialmente endogâmicas S₄ irmãs.

Genitor masculino	Genitor feminino (HS)
----- Grupo 1 -----	
30F001-3	01 - STR024-2(2) x STR024-3(1) 02 - STR032-1 x STR032-2(1)
STR032-1	03 - 30F001-2(2) x 30F001-3
STR024-3(1)	03 - 30F001-2(2) x 30F001-3
30F012-2	01 - STR024-2(2) x STR024-3(1)
STR032-4	04 - 30F001-2(1) x 30F001-2(2) 05 - 30F012-1(3) x 30F012-2
30F012-1(3)	06 - STR024-3(1) x STR024-3(2) 07 - STR032-1 x 032-4
----- Grupo 2 -----	
TO033-2(2)	08 - A25051-1(2) x A25051-2(1) 09 - A25051-1(2) x A25051-2(2) 10 - A25051-2(1) x A25051-2(2)
A25034-2(2)	11 - TO004-1(1) x TO004-1(2)
A25051-3	11 - TO004-1(1) x TO004-1(2)
TO004-1(1)	12 - A25034-2(2) x A25034-3 13 - A25051-2(1) x A25051-3
TO004-1(2)	09 - A25051-1(2) x A25051-2(2) 14 - A25051-1(2) x A25051-3 15 - A25051-2(2) x A25051-3

4. Conclusões

Híbridos simples de linhagens S_4 de milho têm elevado potencial produtivo, semelhante ou superior às testemunhas comerciais.

A elevada produtividade de oito híbridos simples nos dois locais garante o elevado potencial heterótico entre as linhagens do programa de melhoramento de milho.

As linhagens STR024-2(2), TO004-1(1) e TO004-1(2) são as que se destacaram, mostrando grande potencial para serem utilizadas no programa de melhoramento de milho.

Para a obtenção de híbridos simples modificados utilizando-se linhagens irmãs S_4 , e levando-se em conta o desempenho dos híbridos simples ($S_4 \times S_4$) é possível obter sete híbridos simples do G1 e nove no G2, pelo qual poderão ser formados 19 híbridos simples modificados.

CAPÍTULO 4 – IMPLICAÇÕES

Este trabalho foi proposto para estudar o potencial das linhagens parcialmente endogâmicas com três (S_3) e quatro (S_4) gerações de autofecundação, obtidas de híbridos simples comerciais, com relação à heterose dos híbridos resultantes.

Observa-se que durante a revisão bibliográfica, há diversos estudos com a utilização de linhagens parcialmente endogâmicas, mas não se encontrou trabalhos com o mesmo foco na literatura que permitissem comparar os resultados obtidos neste trabalho.

A baixa frequência de genes recessivos deletérios e letais e a grande proporção de locos favoráveis já fixados nos híbridos comerciais, associado a uma seleção fenotípica eficiente entre e dentro das linhagens pode permitir a obtenção de linhagens promissoras. Este processo torna o programa de melhoramento mais eficiente, permitindo que se eliminem precocemente genótipos de desempenho inferior, agilizando o processo de obtenção de híbridos superiores.

O maior impacto deste trabalho condiz às diferenças encontradas no potencial heterótico das linhagens com o avanço da geração de autofecundação. De acordo com os resultados obtidos neste trabalho o uso de linhagens parcialmente endogâmicas poderia ser promissor. Assim, a utilização de linhagens S_3 na obtenção de híbridos poderia ser uma alternativa para os programas de melhoramento que necessitam desenvolver híbridos com maior rapidez e com problemas de baixa produtividade nas linhagens genitoras. Como os híbridos “top crosses” de linhagens S_4 foram mais produtivos que os híbridos “top crosses” de linhagens S_3 as linhagens S_4 poderiam ser utilizadas para a obtenção de híbridos quando a alta produtividade de grãos é o fator mais importante a ser considerado.

De acordo com os resultados obtidos, parece promissor também a possibilidade de produzir híbridos simples modificados a partir de linhagens aparentadas. Esta prática teria o intuito de explorar a heterose entre as linhagens irmãs, aumentando a produção

de sementes pela obtenção do híbrido simples, o qual será utilizado como genitora no cruzamento com as linhagens que apresentaram um excelente desempenho em ambas as combinações híbridas $S_4 \times S_4$ das linhagens irmãs. Com isso, espera-se reduzir os custos de produção de sementes híbridas.

A condução de um programa de melhoramento para obtenção de híbridos é um processo dinâmico. As necessidades de mercado ou dos clientes influenciam fortemente na condução do programa. Desta forma, o projeto inicial com uma visão futurista é transformado pelos melhoristas que atuam fazendo “correções de rumo”, baseados nas necessidades de mercado. Portanto, esta pesquisa buscou alternativas que podem auxiliar os melhoristas a produzir novos híbridos que possam substituir com vantagem os existentes, a reduzir o número de ciclos, a aumentar a efetividade da seleção e facilitar a obtenção de sementes, conseqüentemente, reduzir o tempo e os custos da produção de sementes híbridas.

REFERÊNCIAS

- ALLARD, R.W. **Principles of plant breeding**. 2.ed. New York: John Wiley, 1960. 485p.
- AMORIN, E.P.; SOUZA, J.C. Híbridos de milho inter e intrapopulacionais obtidos a partir de populações S_0 de híbridos simples comerciais. **Bragantia**, Campinas, v.64, p.561-567, 2005.
- ARAÚJO, P.M. de. **Dialelo parcial circulante interpopulacional e cruzamento “top-cross” na avaliação de linhagens parcialmente endogâmicas de milho (*Zea mays* L.)**. Piracicaba: ESALQ/USP, 2000. 170p. Tese (Doutorado em Genética e Melhoramento de Plantas).
- APPS, 2010. Evolução da oferta e demanda de sementes de milho no Brasil. Disponível em: www.apps.agr.br. Acesso em: 02 de fevereiro de 2010.
- BERNARDO, R. Correlation between testcross performance of lines at early and late selfing generations. **Theoretical and Applied Genetics**, Berlin, v.82, n.1, p.17-21, 1991.
- BISON, O.; RAMALHO, M.A.P.; RAPOSO, F.V. Potencial de híbridos simples de milho para extração de linhagens. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 27, n.2, p.348-355, 2003.
- BRUCE, L.T. The mendelian theory of heredity and the argumentation of vigor. **Science**, v.32, p.627-628, 1910.
- CABRERA, A.C. **Uso de linhagens parcialmente endogâmicas S_3 para a produção de híbridos simples de milho**. Piracicaba: ESALQ/USP, 2001. 123p. Tese (Doutorado em Genética e Melhoramento de Plantas).

- CARVALHO, A.D.F. de; SOUZA, J.C.; RIBEIRO, P.H.E. Desempenho de híbridos de linhagens parcialmente endogâmicas de milho em regiões dos Estados de Roraima e Minas Gerais. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v.27, n.5, p.985-990, 2003.
- CARVALHO, A.D.F. de. **Capacidade de combinação de linhagens parcialmente endogâmicas obtidos de híbridos comerciais de milho**. Lavras: UFLA, 2004. 55p. Dissertação (Mestrado em Genética e Melhoramento de Plantas).
- CONAB. Ministério da Agricultura e Abastecimento. Companhia Nacional de Abastecimento. Acompanhamento da safra brasileira: grãos, sexto levantamento, março/2008 – Brasília: Conab, 2008. Disponível em: www.conab.gov.br. Acesso em: 19 dezembro 2009.
- CRUZ, C.D. GENES software – versão Windows. Viçosa: UFV, 2001. 642p.
- DAVENPORT, C.B. Degeneration, albinism and inbreeding. **Science**, v.28, p.454-455, 1908.
- EAST, E.M. Inbreeding in corn. **Connecticut Agricultural Experimental Station Report**, Connecticut, v.1907, p.419-428, 1908.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Cultivo do milho – cultivares**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2010. Disponível em: <http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/>. Acesso em: 12 jan. 2010.
- FALCONER, D.S.; MACKAY, T.F.C. **Introduction to quantitative genetics**. London: Longman Malaysia, 1996. 463p.
- FEHR, W.R. **Applied plant breeding**. Ames, 1983. v.4, sp.
- FERREIRA, E.A. **Desempenho de híbridos de linhagens parcialmente endogâmicas de milho em top crosses, em três locais do estado de São Paulo**. Campinas: IAC, 2008. 88p. Dissertação (Mestrado em Agricultura Tropical – Genética, Melhoramento Vegetal e Biotecnologia).

- FU, H.; DOONER, H.K. Intraspecific violation of genetic colinearity and its implications in maize. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, Washington, v.99, n.14, p.9573-9578, 2002.
- GOODHIGHT, C.J. Epistasis and the effect of founder events on the additive genetic variance. **Evolution**, Lawrence, 42, n.2, p.441-454, 1998.
- HALLAUER, A.R.; LOPES-PEREZ, E. Comparisons among testers for evaluating lines of corn. In.: ANNUAL CORN AND SORGHUM RESEARCH CONFERENCE, 34, Washington, 1979. **Proceedings**, Washington, p.57-75, 1979.
- HALLAUER, A.R.; MIRANDA FILHO, J.B. **Quantitative genetics in maize breeding**. 2.ed. Ames: Iowa States University Press, 1988. 468p.
- HALLAUER, A.R. Methods used in developing maize inbreds. **Maydica**, Bergamo, v.35, n.1, p.1-16, 1990.
- HALLAUER, A.R. Heterosis: what have we learned, what have we done and where are we headed? In: COORS, J.G.; PANDEY, S. (Eds.). **Genetic and exploitation of heterosis in crop**. Madison: ASA/CSSA/SSSA, 1999. Cap. 45, p. 483-492.
- JONES, D.F. The effects of inbreeding and crossbreeding upon development. **Bulletin of the Connecticut Agricultural Experimental Station**, Connecticut, v. 207, p. 5-100, 1918.
- KOSHIMA, F.A.T. **Estabilidade e adaptabilidade para caracteres de produção em linhagens de milho**. Jaboticabal: FCAV/UNESP 2009. 80p. Dissertação (Mestrado em Genética e Melhoramento de Plantas).
- KRUG, C.A.; VIÉGAS, G.P.; PAOLIERI, L. Híbridos comerciais de milho. **Bragantia**, Campinas, v.3, p.367-551, 1943.

- MALUF, W.R. Heterose e emprego de híbridos F₁ em hortaliças. In: NASS, L.L.; VALOIS, A.C.C.; MELO, I.S.; VALADARES, M.C. (Eds.) **Recursos genéticos e melhoramento: plantas**. Rondonópolis: Fundação MT, 2001. p. 650-671.
- MEDINA, S.A.V. **Avaliação de híbridos simples de milho (*Zea mays* L.) obtidos de linhagens com diferentes graus de endogamia**. Piracicaba: ESALQ/USP, 1990. 210p. Dissertação (Mestrado em Genética e Melhoramento de Plantas).
- MIRANDA FILHO, J.B.; VIÉGAS, G.P. Milho Híbrido. In: PATERNIANI, E.; VIÉGAS, G.P. (Eds.) **Melhoramento e produção do milho**. 2ed. Campinas: Fundação Cargill, 1987. Cap.7, p. 275-340.
- PATERNIANI, E.; CAMPOS, M.S. Melhoramento do milho. In BORÉM, A. (Ed.). **Melhoramento de espécies cultivadas**. Viçosa: UFV, 1999. p. 429-485.
- RAMALHO, M.A.P.; FERREIRA, D.F.; OLIVEIRA, A.C. de. **Experimentação em genética e melhoramento de plantas**. Lavras: UFLA, 2000. 326p.
- RUSSEL, W.A. **Melhoramento de populações de milho como fontes de linhagens**. Campinas: Fundação Cargill, 1975. 58p.
- RAMALHO, M.A.P.; SANTOS, J.B.; PINTO, C.A.B.P. **Genética na Agropecuária**. Lavras: UFLA, 2008. 464p.
- SAWAZAKI, E.; PATERNIANI, E.E.A.G.Z. Evolução dos cultivares de milho no Brasil. In: GALVÃO, J.C.C.; MIRANDA, G.V. **Tecnologias de produção do milho**. 20.ed. Viçosa: UFV, v.1, 2004. p.13-53.
- SCAPIN, C.A.; CARVALHO, C.G.P.; CRUZ, C.D. Uma proposta de classificação dos coeficientes de variação para a cultura do milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.30, n.5, p. 683-686, 1995.
- SHULL, G.H. The composition of a field of maize. **American Breeders' Magazine**, Washington, v.4. p. 296-301, 1908.

- SHULL, G.H. A pure-line method in corn breeding. **American Breeders' Magazine**, Washington, v.5, p.51-59, 1909.
- SHULL, G.H. Hybridization methods in corn breeding. **American Breeders' Magazine**, Washington, v.1, n.2, p. 98-107, 1910.
- SILVEIRA, F.T.; JUNQUEIRA, B.G.; SILVA, P.C.da; MORO, J.R. Comportamento de linhagens elites de milho para resistência aos enfezamentos. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, Sete Lagoas, v.5, n.3, p.431-442, 2006.
- SILVEIRA, F.T.; MORO, J.R. Utilização de linhagens parcialmente endogâmicas S_3 para a obtenção de híbridos simples de milho. **Revista Biociências**, Taubaté, v.15, p.10-14, 2009.
- SMITH, O.S. Covariance between line per se and testcross performance. **Crop Science**, Madison, v.26, p. 540-543, 1986.
- SCOTT, A.J.; KNOTT, M. A cluster analysis method for grouping means in the analysis of variance. **Biometrics**, Washington, v.30, n.3, p.507-512, 1974.
- SOUZA JUNIOR, C.L. Interpopulation genetic variances and hybrid breeding programs. **Revista Brasileira de Genética**, Ribeirão Preto, v. 15, p. 643-656, 1992.
- SOUZA JUNIOR, C.L. Avaliação de híbridos de linhagens S_3 de milho. In: CONGRESSO NACIONAL DE MILHO E SORGO, 20. Goiânia, 1994. **Centro-Oeste: cinturão de milho e sorgo no Brasil**; resumos. Goiânia: ABMS/EMGOPA/EMBRAPA, CNPMS/UFG/EMATER-GO, 1995. p.95.
- SOUZA JÚNIOR, C.L. **Variâncias genéticas interpopulacionais e suas relações com a obtenção e seleção de híbridos**. Piracicaba: USP/ESALQ, 1998. 140p. Tese (Livre docência).

- SOUZA JÚNIOR, C.L. Melhoramento de espécies alógamas. In: NASS, L.L.; VALOIS, A.C.C.; MELO, I.S.; VALADARES, M.C. (Eds.) **Recursos genéticos e melhoramento: plantas**. Rondonópolis: Fundação MT, 2001. p.159-200.
- SOUZA SOBRINHO, F. de. **Divergência genética de híbridos simples e alternativas para a obtenção de híbridos duplos de milho**. Lavras: UFLA, 2001. 96p. Tese (Doutorado em genética e melhoramento de plantas).
- SPRAGUE, G.F.; TATUM, L.A. General vs. specific combining ability in single crosses of corn. **Journal of American Society of Agronomy**, Madison, v.34, n.10, p. 923-932, 1942.
- TROYER, A.F. Background of U.S. hybrid corn. **Crop. Science**, Madison, v.39, n.3, p.601-626, 1999.
- VENCOVSKY, R. Herança quantitativa. In: PATERNIANI, E.; VIÉGAS, G. **Melhoramento e produção do milho**. 2ed. Campinas: Fundação Cargill, 1987. p.135-214.
- VENCOVSKY, R.; RAMALHO, M.A.P. Contribuição do melhoramento de plantas no Brasil. In: PATERNIANI, e. (Ed.). **Agricultura brasileira e pesquisa agropecuária**. Brasília: EMBRAPA comunicação para transferência de tecnologia, 2000. p.57-89.
- WELHAUSEN, E.J. Modern corn breeding and production in Mexico. **Phytopatology**, v.44, p.391-395, 1954.
- ZUBER, M.S. Relative efficiency of incomplete block designs using corn uniformity data. **Journal of the American Society of Agronomy**, v.34, p.30-47, 1942.