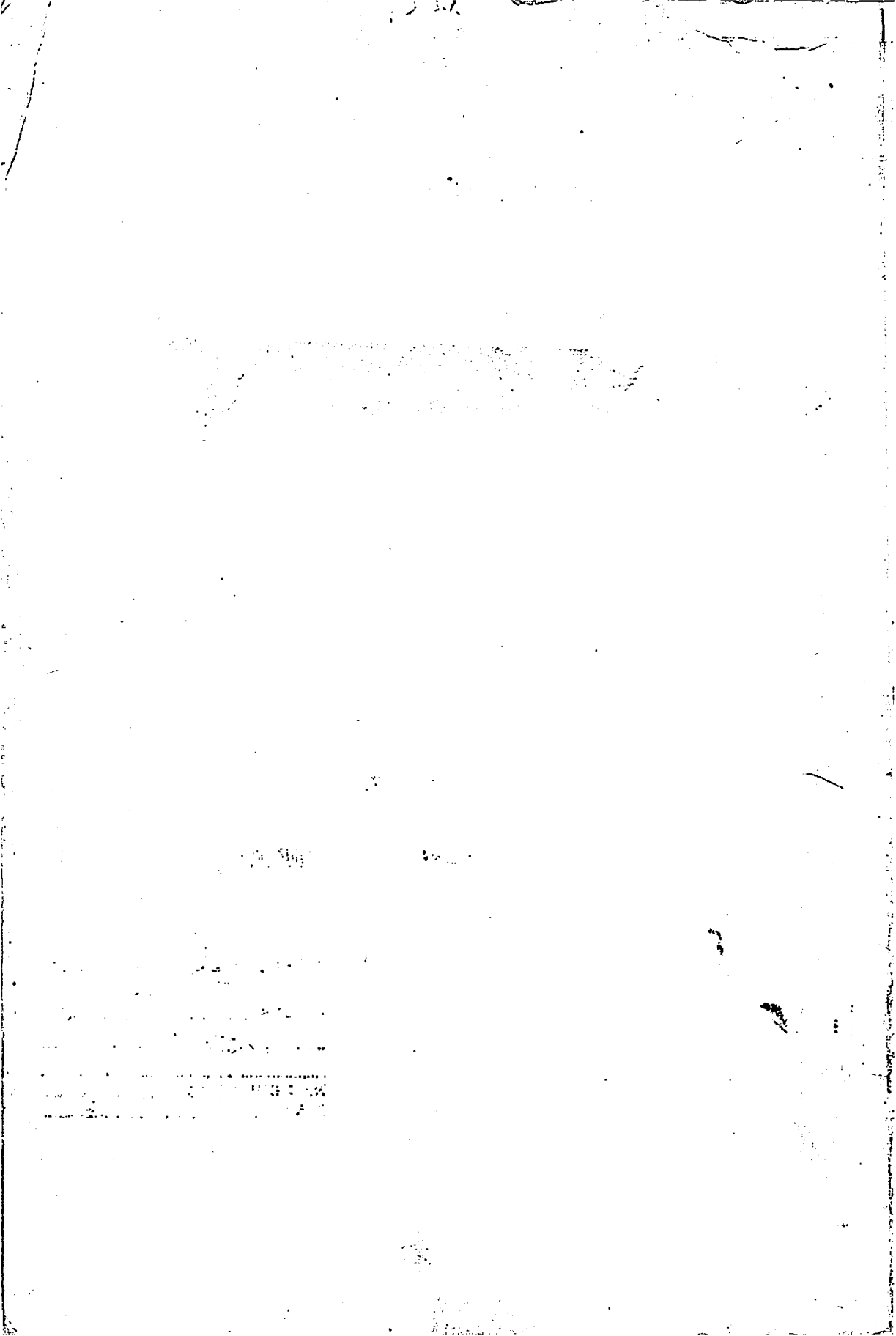


**HETEROSE NA QUALIDADE FISIOLÓGICA
DE SEMENTES DE MILHO.**

MAXIMILIAN DE SOUZA GOMES

1999



49537

MFN 32717

MAXIMILIAN DE SOUZA GOMES

HETEROSE NA QUALIDADE FISIOLÓGICA DE SEMENTES DE MILHO

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Curso de Mestrado em Agronomia, área de concentração Fitotecnia, para obtenção do título de "Mestre".

Orientadora

Prof.^a Dr.^a Édila Vilela de Resende Von Pinho

Universidade Federal de Lavras, II. Título

CDD-633.1251
-631.251

LAVRAS
MINAS GERAIS - BRASIL
1999

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

Gomes, Maximilian de Souza

Heterose na qualidade fisiológica de sementes de milho / Maximilian de
Souza Gomes. – Lavras : UFLA, 1999.

78 p. : il.

Orientador: Édila Vilela de Resende Von Pinho.

Dissertação (Mestrado) – UFLA.

Bibliografia.

1. Milho. 2. Heterose. 3. Semente. 4. Germinação. 5. Vigor. 6. Isoenzima. 7.
Capacidade combinatória. I. Universidade Federal de Lavras. II. Título.

CDD-633.1521

-631.521

MAXIMILIAN DE SOUZA GOMES

**HETEROSE NA QUALIDADE FISIOLÓGICA DE SEMENTES DE
MILHO**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Curso de Mestrado em Agronomia, área de concentração Fitotecnia, para obtenção do título de "Mestre".

APROVADA em 19 de março de 1999.

Prof. Dr. Renzo Garcia Von Pinho

UFLA

Prof.ª Dr.ª Maria das Graças G. C. Vieira

UFLA


Prof.ª Dr.ª Edila Vilela de Resende Von Pinho
UFLA
(Orientadora)

**LAVRAS
MINAS GERAIS - BRASIL**

**Aos meus pais (Waldenor e Gildéia),
irmãos, avó, cunhados e sobrinhos,
pelo amor, carinho, apoio e amizade,**

OFEREÇO.

**A minha esposa Renata,
pelo amor, ajuda, incentivo,
e compreensão.**

DEDICO.

AGRADECIMENTOS

A Deus, pela constante presença e amparo em toda a minha vida.

À Universidade Federal de Lavras (UFLA), pela oportunidade de realização do curso.

À Coordenadoria de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela concessão da bolsa de estudos.

À professora Édila Vilela de Resende Von Pinho, pela amizade, dedicação, compreensão e excelente orientação.

Ao professor e co-orientador, Renzo Garcia Von Pinho, pela amizade, dedicação e auxílio.

À professora Maria das Graças Guimarães Carvalho Vieira, pelo apoio, amizade e colaboração.

Aos professores Maria Laene Moreira de Carvalho, Ruben Delly Veiga e Renato Mendes Guimarães, pelas sugestões durante a condução desse estudo.

Aos funcionários do Laboratório de Análise de Sementes (DAG-UFLA), Andréia, Elza, Dinara e Maria de Lourdes, pela amizade e ajuda na realização desse trabalho.

À secretária da pós-graduação Neuzi, por todo auxílio.

Aos funcionários da Biblioteca Central da UFLA, pelo apoio e colaboração.

Aos amigos do curso de pós-graduação, em especial ao colega Anderson dos Santos Imolesi, pelo auxílio, incentivo e amizade.

Aos estudantes Éder e Lourenço, pela ajuda e amizade.

A todos que de alguma forma contribuíram para a realização deste trabalho.

SUMÁRIO

	Página
LISTA DE TABELAS.....	i
LISTA DE FIGURAS.....	iv
RESUMO.....	v
ABSTRACT.....	vi
1 INTRODUÇÃO.....	1
2 REFERENCIAL TEÓRICO.....	3
2.1 Heterose.....	3
2.2 Parâmetros para determinar a qualidade de sementes de milho.....	8
2.3 Cruzamentos dialélicos	15
2.4 Correlação.....	16
3 MATERIAL E MÉTODOS.....	18
3.1 Avaliação da qualidade fisiológica.....	19
3.1.1 Teste de germinação.....	19
3.1.2 Índice de velocidade da germinação.....	20
3.1.3 Crescimento de plântulas.....	21
3.1.4 Envelhecimento artificial.....	21
3.1.5 Teste de frio.....	21
3.1.6 Teste de condutividade elétrica.....	22
3.1.7 Emergência em canteiro.....	22
3.1.8 Índice de velocidade de emergência.....	22
3.2 Procedimento Estatístico.....	23
3.3 Heterose.....	23
3.4 Análise eletroforética.....	24
3.4.1 Extração das isoenzimas e análise eletroforética.....	24

3.5 Estudo das capacidades geral e específica de combinação e dos efeitos recíprocos.....	24
3.6 Correlações genótípicas.....	27
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	28
4.1 Qualidade fisiológica.....	28
4.2 Análise da capacidade de combinação.....	56
4.2.1 Estimativas dos efeitos de capacidade geral de combinação	58
4.2.2 Estimativas dos efeitos de capacidade específica de combinação....	61
4.2.3 Estimativas dos efeitos recíprocos	64
4.3 Correlação.....	66
5 CONCLUSÕES.....	69
6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	70

LISTAS DE TABELAS

Tabela		Página
1	Características das linhagens utilizadas.....	18
2	Esquema da análise de variância segundo o Método 1 de Griffing (1956).....	26
3	Resumo da análise de variância dos dados obtidos no teste de germinação (GER), índice de velocidade de germinação(IVG), crescimento de parte aérea (CPPA) e radícula (CPR), condutividade elétrica (CE), teste de frio (TF), envelhecimento artificial (EA), emergência em canteiro (EC) e índice de velocidade de emergência (IVE) dos híbridos e linhagens UFLA-MG, 1999.....	29
4	Resultados médios obtidos do teste de germinação (GER), índice de velocidade de germinação(IVG), crescimento de plântulas da parte aérea (CPPA) e radícula (CPR), condutividade elétrica (CE), teste de frio (TF), envelhecimento artificial (EA), emergência em canteiro (EC) e índice de velocidade de emergência (IVE) dos híbridos e linhagens UFLA-MG, 1999.....	30
5	Resultados médios da porcentagem de germinação de sementes de diferentes híbridos e linhagens de milho, e da heterose em relação à média dos pais (M.P. = 100%). UFLA, Lavras – MG, 1999.	31
6	Resultados médios do índice de velocidade de germinação, de diferentes híbridos e linhagens de milho, e da heterose em relação à média dos pais (M.P.=100%). UFLA, Lavras-MG, 1999.	33
7	Resultados médios do comprimento da parte aérea (cm) de plântulas de diferentes híbridos e linhagens de milho, e da heterose em relação à média dos pais (M.P. = 100%). UFLA, Lavras – MG, 1999.	35

8	Resultados médios do comprimento da radícula (cm) de plântulas de diferentes híbridos e linhagens de milho, e da heterose em relação à média dos pais (M.P. = 100%). UFLA, Lavras - MG, 1999.	36
9	Resultados médios da condutividade elétrica (µmhos/cm/g de sementes), de diferentes híbridos e linhagens de milho, e da heterose em relação à média dos pais (M.P.=100%). UFLA, Lavras-MG, 1999.	48
10	Resultados médios de vigor de sementes de diferentes híbridos e linhagens de milho (%), obtidos pelo teste de frio, e da heterose em relação à média dos pais (M.P. = 100%). UFLA, Lavras - MG, 1999.	50
11	Resultados médios de vigor de sementes de diferentes híbridos e linhagens de milho (%), obtidos pelo teste de envelhecimento artificial, e da heterose em relação à média dos pais (M.P. = 100%). UFLA, Lavras - MG, 1999.	52
12	Resultados médios de vigor de sementes de diferentes híbridos e linhagens de milho (%), obtidos pelo teste de emergência em canteiro, e da heterose em relação à média dos pais (M.P.=100%). UFLA, Lavras-MG, 1999.....	54
13	Resultados médios do índice de velocidade de emergência, de diferentes híbridos e linhagens de milho, e da heterose em relação à média dos pais (M.P.=100%). UFLA, Lavras-MG, 1999.	55
14	Quadrados médios das capacidades geral e específica de combinação e dos efeitos recíprocos e estimativas dos componentes quadráticos para os testes de germinação (GERM), índice de velocidade de germinação (IVG), comprimento de parte aérea (CPPA) e raiz (CPR), condutividade elétrica (CE), teste de frio (TF), testes de envelhecimento artificial (EA), emergência em canteiro (EC) e índice de velocidade de emergência (IVE). UFLA, Lavras-MG, 1999.....	57

- 15 Estimativas dos efeitos de capacidade geral de combinação(G_i) e desvio padrão (DP) da diferença entre duas linhagens para os os testes de germinação (GERM), índice de velocidade de germinação(IVG), comprimento de parte aérea (CPPA) e raiz (CPR), condutividade elétrica (CE), teste de frio (TF), testes de envelhecimento artificial (EA), emergência em canteiro (EC) e índice de velocidade de emergência (IVE). UFLA, Lavras-MG, 1999..... 59
- 16 Estimativas dos efeitos da capacidade específica de combinação (S_{ij}) e dos desvios padrão (DP) das diferenças entre efeitos de dois híbridos, para os os testes de germinação (GERM), índice de velocidade de germinação(IVG), comprimento de parte aérea (CPPA) e raiz (CPR), condutividade elétrica (CE), teste de frio (TF), testes de envelhecimento artificial (EA), emergência em canteiro (EC) e índice de velocidade de emergência (IVE). UFLA, Lavras-MG, 1999..... 63
- 17 Estimativas dos efeitos recíprocos (R_{ij}) e de seus desvios padrão (DP), para os os testes de germinação (GERM), índice de velocidade de germinação(IVG), comprimento de parte aérea (CPPA) e raiz (CPR), condutividade elétrica (CE), teste de frio (TF), testes de envelhecimento artificial (EA), emergência em canteiro (EC) e índice de velocidade de emergência. (IVE). UFLA, Lavras-MG, 1999..... 65
- 18 Estimativa dos coeficientes de correlação genotípica (r_G) entre os testes de germinação (GERM), índice de velocidade de germinação(IVG), comprimento de parte aérea (CPPA) e raiz (CPR), condutividade elétrica (CE), teste de frio (TF), testes de envelhecimento artificial (EA), emergência em canteiro (EC) e índice de velocidade de emergência (IVE), para o conjunto de trinta e seis tratamentos componentes do dialelo. UFLA, Lavras-MG, 1999..... 67

LISTA DE FIGURAS

Figura		Página
1	Padrões isoenzimáticos de sementes de milho das linhagens e seus híbridos e híbridos recíprocos submetidas a diferentes períodos de envelhecimento artificial, reveladas para esterase. UFLA, Lavras-MG, 1999.	38 e 39
2	Padrões isoenzimáticos de sementes de milho das linhagens e seus híbridos e híbridos recíprocos submetidas a diferentes períodos de envelhecimento artificial, reveladas para malato desidrogenase. UFLA, Lavras-MG, 1999.	41 e 42
3	Padrões isoenzimáticos de sementes de milho das linhagens e seus híbridos e híbridos recíprocos submetidas a diferentes períodos de envelhecimento artificial, reveladas para catalase. UFLA, Lavras-MG, 1999.	43 e 44
4	Padrões isoenzimáticos de sementes de milho das linhagens e seus híbridos e híbridos recíprocos submetidas a diferentes períodos de envelhecimento artificial, reveladas para fosfatase ácida. UFLA, Lavras-MG, 1999. ...	46 e 47

RESUMO

GOMES, Maximilian de Souza. Heterose na qualidade fisiológica de sementes de milho. Lavras-MG, UFLA, 1999. 78p. (Dissertação-Mestrado em Fitotecnia).

Este trabalho teve como objetivo, verificar o efeito da heterose na qualidade fisiológica de sementes de milho. Sementes de seis linhagens, provenientes do programa de melhoramento de milho da Universidade Federal de Lavras, UFLA, e dos seus respectivos híbridos simples e híbridos simples recíprocos foram produzidos na área experimental da UFLA, constituindo um dialelo completo. A avaliação da qualidade fisiológica foi realizada no Laboratório de Análise de Sementes da UFLA, através do teste de germinação, testes de vigor e testes bioquímicos. Para a análise do dialelo, foi utilizado o método 1 de Griffing (1956), com o qual foram estimados os efeitos das capacidades geral (CGC) e específica (CEC) de combinação e efeitos recíprocos. Foram também estimados os coeficientes de correlação genotípica entre os diferentes testes utilizados. Os resultados permitiram concluir que sementes híbridas de milho apresentam qualidade fisiológica superior quando comparadas à das linhagens, evidenciando a expressão da heterose na qualidade fisiológica de sementes. A capacidade geral e específica, assim como os efeitos recíprocos, foram significativos, sendo que, a magnitude dos componentes quadráticos evidenciou a maior importância dos efeitos não aditivos para a maioria dos testes utilizados para a avaliação da qualidade fisiológica. Em programas de desenvolvimento de híbridos, a avaliação da qualidade fisiológica das sementes das linhagens e dos seus respectivos híbridos deve ser levada em consideração como uma característica de seleção.

* Comitê Orientador: Dr^a. Édila Vilela de Resende Von Pinho - UFLA (Orientadora), Dr. Renzo Garcia Von Pinho - UFLA e Dr^a Maria das Graças Guimarães Carvalho Vieira - UFLA.

ABSTRACT

GOMES , Maximilian de Souza. Heterosis in the physiological quality of corn seeds. Lavras: UFLA, 1999. 78p. (Dissertation - Master Program in Plant Science).*

This work was designed to verify the effect of heterosis on the physiological quality of corn seeds. Seeds of six lines coming from the corn breeding program of Universidade Federal de Lavras, UFLA, and of their respective simple hybrids and reciprocal simple hybrids were produced in the experimental area of the UFLA, making up a complete diallel. The evaluation of the physiological quality was performed in the Seed Analysis Laboratory of the UFLA, through germination tests, vigor tests and biochemical tests. For the analysis of the diallel, Griffing's method 1 (1956) was utilized, where the effects of the general (GCC) and specific (SCC) combining capacity and reciprocal effects were estimated. Also, the coefficients of genotypic correlation among the different tests utilized were estimated. The results enabled to conclude that the hybrid corn seeds presented superior physiological quality as compared to those of the lines, stressing in this way the expression of heterosis on the physiological quality of seeds. Both general and specific capacity, as well as the reciprocal effects, were significant, being that, the magnitude of the quadratic components pointed out the greatest importance of the non-additive effects for most tests utilized for the evaluation of the physiological quality. In hybrid development programs, evaluation of the physiological quality of the seeds of the lines and their respective hybrids, should be taken into account as a selection characteristic.

* Guidance Committee: Dr^a. Édila Vilela de Resende Von Pinho - UFLA (Major Professor), Dr. Renzo Garcia Von Pinho - UFLA e Dr^a Maria das Graças Guimarães Carvalho Vieira - UFLA.

1 INTRODUÇÃO

A qualidade da semente é de fundamental importância para o sucesso do cultivo de qualquer espécie vegetal, uma vez que a semente é responsável por grande parte do rendimento de uma cultura, além de representar um baixo custo em relação ao custo total da produção.

Na cultura do milho (*Zea mays* L.), a demanda por sementes híbridas, com alta qualidade, tem aumentado significativamente nos últimos anos, devido, principalmente, à alta competitividade do mercado, fazendo com que as empresas produtoras de sementes adotem, muitas vezes, padrões de qualidade mais rígidos do que os estabelecidos por órgãos oficiais.

O sucesso da performance dos híbridos de milho é resultado do efeito heterótico alcançado pelo cruzamento de linhagens que possuem boa capacidade combinatória. Em geral, o principal efeito esperado está relacionado com o aumento do rendimento.

Apesar de vários caracteres agronômicos serem melhorados e explorados através da heterose, o efeito desta sobre a qualidade fisiológica de sementes de milho não está totalmente elucidado.

Alguns autores têm procurado estudar as bases da heterose, ou vigor híbrido, por meio do envolvimento de hormônios, como as auxinas e giberelinas e através dos sistemas enzimáticos envolvidos no processo de germinação.

Recentemente, técnicas envolvendo proteínas e isoenzimas têm sido utilizadas na avaliação de alterações bioquímicas nas sementes. Apesar de existirem ainda necessidades de muitos estudos nessa área, as técnicas eletroforéticas têm-se mostrado promissoras para a avaliação da qualidade das sementes, por requererem pequena quantidade de amostras e permitirem análise

simultânea de diversos lotes, além de conferirem rápida separação com alta resolução.

A manifestação da heterose nos híbridos, para características relacionadas com qualidade fisiológica de sementes, indica a viabilidade da obtenção de cultivares híbridas com sementes de alta qualidade, e o estudo da capacidade combinatória possibilitará ao melhorista identificar as melhores combinações híbridas, tanto para aproveitamento imediato na forma de híbridos F_1 comerciais como para a escolha de materiais com maiores possibilidades de gerarem híbridos superiores.

Assim, torna-se importante o conhecimento do efeito da heterose na qualidade fisiológica de sementes de milho, pois vem auxiliar o melhorista na busca de linhagens e híbridos de milho com sementes de melhor qualidade.

Este trabalho foi realizado com os seguintes objetivos:

Estimar o efeito da heterose na qualidade fisiológica de sementes de 6 linhagens de milho e de seus respectivos híbridos e híbridos recíprocos através de testes de germinação, vigor e de testes bioquímicos;

Avaliar a capacidade geral e específica de combinação, bem como efeitos recíprocos utilizando linhagens e híbridos de milho, para características relacionadas com a qualidade fisiológica das sementes;

Estimar os coeficientes de correlação genotípica entre as diferentes características utilizadas para avaliação da qualidade fisiológica das sementes.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Heterose

A introdução do milho híbrido, por volta de 1920, constituiu-se num dos maiores impulsos à agricultura moderna. No Brasil, a produção de sementes híbridas de milho desenvolveu-se, principalmente, na região centro-sul, favorecendo a ampliação do número e capacidade produtiva das companhias privadas produtoras de sementes. Atualmente, vários híbridos comerciais adaptados para diferentes regiões são recomendados aos agricultores, após ensaios conduzidos em todo o território nacional (Ferreira Filho e Peres, 1988; Von Pinho, 1995).

Existem duas teorias através das quais procura-se explicar o tipo de ação gênica responsável pela manifestação da heterose. A primeira, proposta por Davenport (1908), Bruce (1910) e Keeble e Pellew (1910), explica a heterose pelo acúmulo, no híbrido, de genes dominantes provenientes de ambos os pais. A teoria da sobredominância foi proposta concomitantemente por Shull (1908) e East (1908) e explica a heterose pela própria condição heterozigótica dos locos que controlam o caráter. Assim, em cada loco, a condição heterozigótica seria superior a qualquer dos homozigotos. A endogamia conduz a um fenômeno inverso ao da heterose, ou seja, perda de vigor, a qual pode ser explicada por ambas as teorias, da dominância ou da sobredominância. Alguns experimentos foram conduzidos a fim de se obter evidências a favor de uma ou de outra teoria, no entanto, os resultados não apresentaram evidências para a exclusão de uma ou de outra hipótese.

O híbrido apresenta, na maioria das vezes, acréscimos em relação a uma série de caracteres quando comparado à média dos parentais (Hageman et al.,

1967; Fakorede e Agbana, 1983). A heterose foi empregada por Shull, em 1909, para expressar os efeitos benéficos da hibridação, ou seja, o maior vigor da geração F₁ em relação à média dos pais ou ao pai mais produtivo (Hallauer e Miranda Filho, 1981). Na cultura do milho, a idéia sugerida por Shull (1909), para obtenção de linhas puras e a sua utilização na produção de sementes híbridas, expressando a heterose, é válida até hoje (Miranda Filho e Viegas, 1987).

Em geral, o principal efeito esperado da heterose está relacionado com o aumento do rendimento. Contudo, uma série de caracteres agronômicos são melhorados e explorados pela heterose (Allard, 1971).

As bases da heterose, ou vigor híbrido, para qualidade fisiológica de sementes não estão totalmente elucidadas. No entanto, o envolvimento de hormônios, como as auxinas (Tafari, 1966) e giberelinas (Rood et al., 1983 e 1990), parece evidente. Resultados de pesquisa têm indicado que o controle da síntese de α -amilase, e subsequente hidrólise das reservas de sementes, apresentam uma ligação entre as giberelinas e a heterose em milho (Paleg, 1965).

Resultados obtidos por Rood et al. (1983 e 1990) sugerem que as linhagens de milho são menos vigorosas que seus híbridos descendentes, em parte, em função da deficiência de giberelinas; houve uma correlação positiva entre o teor de giberelinas, encontrado nas plântulas, e os aumentos da taxa de crescimento, da área foliar e da altura de plantas de milho. O autor cita, ainda, a deficiência de giberelinas como uma das causas da depressão endogâmica.

Ashby (1930) levantou a hipótese de que híbridos não diferem de seus parentais em relação à taxa de crescimento e que o maior crescimento do embrião híbrido é resultado de alguns processos que ocorrem entre a fertilização e a maturidade, que dão uma vantagem para o híbrido devido ao maior tamanho de seu embrião. Essas teorias foram aceitas em parte por alguns pesquisadores e

contestada por vários outros. Yamada et al. (1985) estudou as hipóteses de Ashby e verificou que o embrião híbrido F_1 foi sempre maior que o de seus parentais, no entanto, o autor comenta que a heterose é manifestada como um complexo bioquímico, fisiológico e/ou genético, influenciando na taxa de crescimento e que estas implicações para análise genética da heterose requerem mais estudos.

Uma outra explicação para o maior vigor, observado em plântulas híbridas de milho, é a maior eficiência do sistema enzimático envolvido no processo de germinação. Entretanto, em alguns trabalhos, isto não tem sido verificado. Hageman et al. (1967) não observou diferenças na atividade das enzimas triosefosfato, desidrogenase, aldolase e glicose-6-fosfato desidrogenase entre plântulas provenientes de sementes híbridas e de suas linhagens parentais.

Rood e Larsen (1988), investigando o envolvimento da amilase na heterose em plântulas de milho, verificou que após 48 horas de embebição, a atividade da amilase nas plântulas híbridas foi significativamente maior do que a de suas linhagens parentais.

Causse et al. (1995) estudaram as enzimas sacarose fosfato sintetase (SPS) e a ADP glucose pirofosforilase no desenvolvimento de plântulas de milho. Os resultados mostraram relação entre a atividade da SPS e crescimento vegetativo inicial nas plântulas de milho. A maior atividade da SPS, que ocorreu nas plântulas híbridas, foi correlacionada com a maior produção de matéria seca. Não houve diferença significativa na atividade da ADP glucose pirofosforilase dos híbridos e das linhagens.

Vários autores têm mostrado que o vigor híbrido em relação à taxa de crescimento e potencial de produção podem estar associados com a alta atividade fisiológica e bioquímica das plantas F_1 híbridas (Srivastava, 1983 e Mc Daniel, 1986).

Em uma série de experimentos, Mino (1980) e Mino e Inoue (1980; 1986; 1988; 1989; 1994) reportaram que o vigor híbrido, manifestado pela rápida germinação e crescimento vigoroso de plântulas, está associado com altas taxas de metabolismo de RNA, proteínas e DNA nos embriões. Nessa mesma linha de raciocínio, esses autores estudaram o metabolismo de lipídios e proteínas na germinação de sementes de milho e analisaram o metabolismo da glicose no crescimento de plântulas de milho híbrido. Os resultados indicam que o alto metabolismo de proteínas e lipídios encontrados no embrião faz com que haja um crescimento mais vigoroso das células do eixo embrionário e induz a rápida germinação das sementes híbridas (Mino e Inoue, 1988). Em relação ao metabolismo da glicose os resultados mostram que a rápida ativação da função metabólica no embrião, após o começo da absorção de água, é devido à heterose manifestada no híbrido F_1 , e é um dos fatores chave no mecanismo pelo qual o híbrido expressa esse vigor híbrido no processo de germinação.

Nebiolo et al. (1983), em um estudo sobre metabolismo de RNA em protoplastos isolados de plântulas de milho híbridos e seus parentais, sugerem que o híbrido pode ter vantagens na taxa de síntese de DNA e RNA.

Szundy e Kovacs (1981) investigaram a velocidade e porcentagem de germinação de sementes de milho em condições subótimas. Foi observado que a porcentagem de heterose foi um fator importante na germinação das sementes. Foi observado também que a porcentagem de emergência das plântulas das linhagens foi sempre menor que a das híbridas. Esses resultados colaboram os encontrados em outros trabalhos (Sarkissian et al., 1964; Sinha e Khanna, 1975 e Mino, 1980).

Bdliya e Burris (1988) estudaram o vigor e injúria causada na secagem de sementes de linhagens de milho e de seus respectivos híbridos. Foi observado que os efeitos aditivos e maternal foram mais importantes do que os efeitos não aditivos e recíprocos para tolerância à injúria causada na secagem.

Resultados obtidos por Maryam e Jones (1983) indicaram superioridade da qualidade fisiológica de sementes híbridas de milho, em relação às sementes de suas linhagens parentais, quanto ao número de sementes germinadas e quanto à velocidade de emergência. Com objetivos semelhantes, Pesey (1970) estudou a tolerância ao frio de híbridos duplos e simples e de suas respectivas linhagens parentais. Maior emergência, sob baixas temperaturas, foi observada nos híbridos duplos, seguidos pelos híbridos simples e pelas linhagens. O autor atribuiu este fato à constituição gênica do embrião e às características do endosperma e do pericarpo das sementes. Outro aspecto abordado, neste trabalho, foi o da existência de efeito maternal, no grau de tolerância às baixas temperaturas, sobre a germinação e velocidade de emergência nas plântulas híbridas; assim, plântulas híbridas descendentes do parental feminino com baixa tolerância ao frio também apresentaram esta característica. O efeito materno na porcentagem de germinação, sob baixas temperaturas, também foi constatado por Eagles e Hardacre (1978).

Burris (1977), estudando os efeitos do local de produção e do efeito maternal no vigor de plântulas de milho híbrido, verificou que ambos tiveram efeitos altamente significativos para o teste de germinação e para o peso seco da parte aérea e da raiz.

Barla-Szabo et al. (1989) investigaram o controle genético do vigor de sementes utilizando seis linhagens em um dialelo completo. Para o cálculo do vigor, foram avaliados o comprimento, peso seco e peso fresco das plântulas e o teste de embebição em diferentes temperaturas. Foram encontradas diferenças significativas entre o vigor das sementes das linhagens testadas, e ocorreu uma predominância dos genes de efeito aditivo, no entanto, os efeitos gênicos não aditivos, apesar de sua menor magnitude, também foram importantes.

Odiemah (1989) estudou o controle genético associado a características relacionadas com a qualidade de sementes em milho. A qualidade fisiológica foi

estimada por meio dos testes de germinação, condutividade elétrica, envelhecimento artificial, teste frio e teste de embebição em diferentes temperaturas. O pesquisador observou que a heterose ocorreu para todos os caracteres, e que a herança desses caracteres foi devido principalmente aos genes de efeito aditivos e parcialmente devido aos genes de efeito não aditivos.

Rahman et al. (1994) realizaram um estudo para elucidar o controle genético de características das raízes de plântulas de milho. Foi observado que as magnitudes relativas dos efeitos gênicos de dominância foram maiores do que os efeitos aditivos. Resultados semelhantes também foram obtidos por McConnel e Gardner (1979), para emergência de plântulas, crescimento e produção de grãos.

2.2 Parâmetros para determinar a qualidade de sementes de milho

A qualidade da semente é fator a ser considerado em qualquer programa de produção agrícola, visto que as características agrônômicas das cultivares obtidos pela pesquisa chegam aos agricultores por meio da semente. Esta pode ser analisada sob aspectos genéticos, físicos, fisiológicos e sanitários.

O controle da qualidade é fundamental para o produtor de sementes, pois permite detectar falhas nas diferentes etapas da produção, orienta decisões e é uma garantia do produto. No caso do milho, a procura por avaliações eficientes e rápidas, tem aumentado significativamente, principalmente de vigor. Busca-se complementar o teste de germinação com testes mais sensíveis, que possibilitem selecionar os melhores lotes para comercialização e forneçam, com precisão, os dados para a semeadura (Dias e Barros, 1995).

O teste padrão de germinação é utilizado para a avaliação da qualidade fisiológica das sementes de milho. No entanto, não oferece indicação segura do desempenho da semente, nas condições de campo, por propiciar condições

ótimas às sementes e, com isso, permitir que sementes com avançado grau de deterioração originem plântulas consideradas como "normais" (Popinigis, 1985).

Em programas de melhoramento de milho, o teste de frio tem se mostrado eficiente para a seleção de linhagens e híbridos tolerantes às condições de baixa temperatura (Maryam e Jones, 1983; Hope et al. 1992). Schell et al. (1991) relataram que os híbridos podem apresentar comportamento diferente quanto à tolerância ao frio devido, principalmente, às diferenças no teor de ATP no embrião. O teste de frio também tem sido amplamente utilizado para avaliar o vigor de sementes de milho (Fratin, 1987). No teste de frio, a combinação de baixa temperatura com alta umidade é utilizada para permitir apenas a sobrevivência das sementes vigorosas, uma vez que as condições utilizadas podem reduzir a velocidade de germinação e favorecer o desenvolvimento de microrganismos prejudiciais (Marcos Filho et al., 1987).

Ênfase tem sido dada, também, à utilização do teste de envelhecimento artificial para avaliação do vigor de sementes, por ser de fácil condução e aplicável em várias espécies, além de produzir informações consistentes (Odiemah, 1991). O princípio básico deste teste é o de que o processo de deterioração, nas condições do teste, é similar ao que ocorre em condições normais de armazenamento, porém com velocidade de deterioração aumentada.

Trabalho desenvolvido por Odiemah (1991) mostrou resposta diferencial de dez híbridos de milho, quanto ao vigor, com o emprego do teste de envelhecimento artificial. Neste trabalho, híbridos com sementes de melhor qualidade foram os mais produtivos. O autor explica que a diferença na qualidade de sementes entre os híbridos foi devida, em parte, a causas genéticas.

Segundo Lin (1988), o envelhecimento artificial de sementes, utilizando altas temperaturas e umidades, permite que mudanças na qualidade, que usualmente levariam meses ou anos, ocorram em poucos dias ou semanas.

Outro teste que tem sido utilizado para a avaliação do vigor de sementes de várias espécies, inclusive a de milho, é o teste de condutividade elétrica (Tekrony, 1983; Herter e Burris, 1989; Bruggink et al., 1991). Neste teste, a qualidade das sementes é avaliada mediante a leitura da condutividade elétrica na solução de embebição de sementes. O valor da condutividade, função da quantidade de lixiviados na solução, está diretamente relacionado com a integridade das membranas celulares (Vieira, 1994). Assim, as sementes mais deterioradas liberam maiores quantidades de exsudatos, incluindo açúcares, ácidos orgânicos, aminoácidos, proteínas, substâncias inorgânicas e íons (Marcos Filho et al., 1987). No entanto, Von Pinho (1995) observou baixa relação entre o vigor genético dos híbridos estudados e a integridade de membranas, concluindo que não seria seguro selecionar genótipos de milho, de alta qualidade fisiológica das sementes, utilizando o referido teste.

O teste padrão de germinação e testes de vigor têm sido utilizados na tentativa de elucidar os efeitos da heterose sobre a qualidade fisiológica das sementes (Maryam e Jones, 1983; Szindy e Kovacs, 1981; Burris, 1977; Barla-Szabo et al., 1989 e Odiemah, 1989).

Sabe-se que a deterioração manifesta-se de diferentes formas, razão pela qual vários testes de vigor têm sido propostos, uma vez que um teste não consegue avaliar, isoladamente, todos os fatores que podem afetar o estabelecimento das plântulas no campo. Avaliações da deterioração das sementes têm sido realizadas utilizando testes fisiológicos e por meio de observações de alterações bioquímicas ou metabólicas (McDonald Jr., 1980; Bewley e Black, 1985).

Alterações bioquímicas podem ser avaliadas pela técnica de eletroforese. A eletroforese é uma técnica bioquímica relativamente simples, rápida e de alto valor informativo, que consiste na separação de macromoléculas ionizadas de acordo com suas cargas elétricas, formas e pesos moleculares, através da

migração em meio suporte e tampões adequados sob a influência de um campo elétrico. Moléculas com carga negativa migram para pólo positivo e moléculas com carga positiva migram para pólo negativo (Alfenas et al., 1991; Westermeier et al., 1993).

Uma grande vantagem dessa técnica é a reprodutibilidade de resultados, o que é conseguido desde que os extratos sejam preparados de um modo comum, a partir de órgãos comparáveis em um mesmo estágio de desenvolvimento, e que sejam submetidos à eletroforese de uma maneira idêntica (Verneti, 1983).

A eletroforese tem se tornado uma ferramenta bastante útil para estudos nas diversas áreas. As bandas expressas em gel indicam a atividade de uma enzima, constituindo os zimogramas (Mandarino e Vidaurre, 1995). Essa técnica também tem sido utilizada por alguns autores para estudar a expressão de isoenzimas em sementes híbridas e de linhagens com o objetivo de elucidar o efeito da heterose na qualidade fisiológica de sementes (Rood e Larsen, 1988).

Dentre as proteínas, as enzimas desempenham um importante papel em relação ao vigor de sementes e mudanças na sua atividade podem ser um indicativo da perda de qualidade.

A análise eletroforética de isoenzimas pode ser utilizada para detecção de ligação gênica entre caracteres de herança mono ou poligênica, identificação, seleção indireta e avaliação de germoplasmas (Tankley e Orton, 1983) e estudos de bioquímica e fisiologia de plantas (Scandalios, 1974).

O termo isoenzimas foi primeiramente introduzido por Market e Moller (1959) para referir-se às múltiplas formas moleculares de uma enzima, com afinidade para substratos idênticos ou similares, que ocorrem em um organismo.

As isoenzimas podem se originar de três diferentes formas: a) diferentes alelos de um mesmo locus; b) múltiplos loci codificando para uma mesma

enzima e c) modificações pós translacionais e formação de isoenzimas secundárias (Bonde, Micales e Peterson, 1993).

A análise da variação isoenzimática aproxima-se da variação genética, uma vez que os polipeptídeos são dependentes das seqüências de nucleotídeos nos seus genes codificantes.

Em milho, algumas isoenzimas tais como fosfatase ácida, álcool desidrogenase, α -amilase, β -amilase, catalase, esterase, malato desidrogenase e peroxidase, variam sua expressão com o desenvolvimento ou estágio metabólico (Scandalios, 1974).

Esterases são um complexo e heterogêneo grupo de enzimas que hidrolizam ésteres de acordo com a reação: $R-COOR + HOH \leftrightarrow R-COOH + ROH$. Schwartz (1960) relatou diferenças qualitativas de esterases em milho, trabalhando com α -naftil-acetato como substrato e com fast blue RR como corante. O autor descreveu três locos distintos para esterase em milho (est 1, est 2 e est 3) e seus trabalhos têm sido enfocados para estudos genéticos do loco est 1. Schwartz (1960) mostrou que há 7 alelos no loco est 1, sendo que cada alelo apresenta uma banda com mobilidade eletroforética característica. Schwartz, Fuchsman e McGrath (1965) classificaram esses alelos como E^F , E^L , E^N , E^R , E^S , E^T , E^W , sendo que a maioria dos estudos genéticos tem sido feito usando os alelos E^F , E^N e E^S . Endo e Schwartz (1966) relataram que algumas esterase $E1$ estão presentes no endosperma das sementes de milho em formação, na plúmula e em baixa concentração na radícula das plântulas.

Bilia (1992) verificou, em sementes de milho com oito meses de armazenamento, a supressão da atividade da esterase da posição R_4 . Segundo a autora, tal fato pode ser explicado pela inibição, por compostos orgânicos e carbamatos, da síntese da esterase da região R_4 , com a deterioração da semente. Satters et al. (1994), trabalhando com sementes de soja, observaram a perda de

77% da atividade de duas esterases após 48 h de envelhecimento e o aumento da atividade total desta enzima com envelhecimento.

A enzima malato desidrogenase está presente em uma variedade de plantas, catalisando a reação $\text{MALATO} + \text{NAD}^+ \leftrightarrow \text{OXALACETATO} + \text{ADH}^+ + \text{H}^+$. Apresenta importantes funções fisiológicas dentro da célula, como enzima do ciclo de Krebs, além de atuar como papel central na maioria das rotas bioquímicas da célula. É também integrante da malato, que transfere equivalentes reduzidos sobre as membranas das mitocôndrias, podendo participar da fixação de gás carbônico em plantas superiores.

Segundo Rocha e Ting (1970), a MDH exibe poucas mudanças qualitativas durante o curso de desenvolvimento de um organismo. Essas isoenzimas são encontradas em associação a uma grande quantidade de organelas subcelulares, apresentando diferenças na regulação da atividade em vários sítios (Scandalios, 1974). O total de MDH ativa tende a aumentar durante o estágio inicial de desenvolvimento da planta de milho, sendo que este aumento é devido à síntese de novo e muito pouco a um mecanismo ativador (Scandalios, 1974).

Mdhs específicas têm sido encontradas em associação com glioxissomas (gmdh) e mitocôndrias (mmdh). Em milho, ocorre a mdh mitocondrial, sugerindo que esta enzima é sintetizada nos ribossomas do citoplasma e posteriormente incorporada dentro da mitocôndria (Scandalios, 1974). Satters et al. (1994), em estudos com sementes de soja, observaram que a atividade da isoenzima malato desidrogenase foi a menos afetada pelos tratamentos de envelhecimento.

A fosfatase ácida participa em reações de hidrólise de ésteres, podendo atuar sobre fosfolipídeos de membrana, provocando a peroxidação destes lipídeos. Stuber et al. (1988) relataram a presença do loco *acp 1*, como o mais freqüente, além disso, os mesmos autores relataram a ocorrência de um loco

acp 4, de resolução pouco consistente nos géis e de ocorrência em algumas populações de milho. Rajagopal e Sen-Mandi (1992) observaram alta atividade desta enzima em embriões de sementes de arroz envelhecidas artificialmente quando comparadas com embriões de sementes envelhecidas naturalmente e não envelhecidas. Estes resultados contradizem os obtidos com cevada (Cauhan et al. 1985) e soja (Jen e Sung, 1994; Cauhan et al. 1985), nos quais a atividade da fosfatase ácida decresceu com o aumento do envelhecimento.

Trabalhando com sementes de milho, Basavarajappa, Shetty e Prakash (1991) obtiveram resultados conflitantes em relação ao aumento de peroxidação de lipídios e diminuição de atividade da enzima fosfatase ácida.

Segundo Basavarajappa, Shetty e Prakash (1991), a diminuição na atividade de enzimas removedoras de peróxido pode tornar a semente mais sensível aos efeitos de O^2 e radicais livres sobre ácidos graxos insaturados de membrana e a produção de produtos de peroxidação de lipídeos secundários. Alguns autores (Nkang, 1988; Basavarajappa et al., 1991; Jeng e Sung 1994) verificaram, em sementes envelhecidas artificialmente, um declínio na atividade de enzima "scavenger" como a catalase, removedoras de peróxidos, com o aumento do tempo de envelhecimento.

Drochioiu et al. (1993), pesquisando a atividade da enzima catalase em sementes de milho em várias condições de envelhecimento forçado, verificou que a atividade desta enzima decresceu à medida que a umidade relativa, temperatura e tempo de armazenamento aumentaram.

Brandão Jr. (1996), estudando a eletroforese de proteína e isoenzimas, na avaliação da qualidade de sementes de milho, concluiu que os sistemas enzimáticos, fosfatase ácida e peroxidase, podem atuar como marcadores bioquímicos para a avaliação da deterioração de sementes de milho, enquanto a enzima sorbitol desidrogenase possibilita a detecção de estágios iniciais de deterioração.

2.3 Cruzamentos dialélicos

Em um programa de melhoramento visando a produção de híbridos é fundamental o estudo da capacidade de combinação das linhagens disponíveis e da heterose manifestada por seus híbridos. A análise de cruzamentos dialélicos é uma boa maneira de obter essas informações.

As técnicas envolvendo cruzamentos dialélicos têm sido amplamente utilizadas em estudos referentes à herança quantitativa. Schmidt, citado por Hinkelmann (1977), introduziu o termo dialelo para identificar todos os possíveis cruzamentos entre um grupo de animais, fêmeas e machos, considerando também o cruzamento teste como forma de cruzamento dialélico.

De forma geral, cruzamentos dialélicos correspondem a todos os cruzamentos possíveis entre um grupo de n linhagens, variedades ou populações. A análise dos dados se baseia em tabelas dialélicas que, nos dialelos completos, contém dados relativos aos n tipos parentais e aos $n(n-1)/2$ híbridos entre eles, além dos respectivos híbridos recíprocos. Estes estudos têm sido utilizados pelos geneticistas para obter melhores informações sobre a natureza da ação gênica para os caracteres de importância na agricultura e evolução (Kempthorne, 1956), e pelos melhoristas para estimar a capacidade de combinação de linhagens em cruzamentos visando a posterior seleção de materiais promissores (Hayes e Johnson, 1939; Gardner e Eberhart, 1966).

Os conceitos definidos por Sprague e Tatum (1942) de capacidade geral de combinação (CGC), usada para caracterizar o comportamento médio de uma linhagem, cultivar ou outro material genético em uma série de combinações híbridas, e de capacidade específica de combinação (CEC), utilizada para caracterizar os casos nos quais certas combinações se apresentam relativamente piores ou melhores do que poderia se esperar com base no comportamento

médio dos respectivos parentais, deram margem ao desenvolvimento dos cruzamentos dialélicos.

Atualmente, a metodologia de análise dos cruzamentos dialélicos é baseada em três procedimentos básicos, desenvolvidos por Hayman (1954), complementados pelo mesmo autor em anos subsequentes; Griffing (1956); e Gardner e Eberhart (1966).

A utilização da metodologia apresentada por Hayman (1954) é possível apenas com linhagens puras, sendo, por isso, utilizada largamente em plantas autógamas.

A análise de Griffing (1956), fundamentada em um modelo estatístico, é amplamente utilizada em espécies alógamas e autógamas. A metodologia é aplicável para quatro tipos de tabelas dialélicas, ou seja, uma completa (incluindo os parentais, seus híbridos e recíprocos) e outras três tabelas incompletas em relação à primeira, com cálculos da análise da variância, segundo dois modelos (fixo e aleatório), e estimativa de efeitos de capacidade geral e específica de combinação.

As metodologias de Gardner e Eberhart (1966) e Griffing (1956) distinguem-se da apresentada por Hayman (1954), basicamente por serem assentadas em análise de componentes de médias de tabelas dialélicas.

2.4 Correlação

A ocorrência de correlação genética pode ser devida à pleiotropia ou à ligação entre genes que são responsáveis por duas características. No caso da correlação genética advinda da pleiotropia, ela é permanente e expressa o efeito total de todos os genes em segregação que afetam simultaneamente ambas características (Falconer, 1981). Alguns genes podem aumentar o valor fenotípico de duas características, causando uma correlação positiva, e outros

genes aumentam uma e reduzem outra característica, causando uma correlação negativa.

A correlação resultante da ligação gênica é transitória, devido à possibilidade de ocorrência de recombinantes; portanto, quanto mais próximos estiverem os genes no cromossomo, menor a probabilidade de ocorrência de recombinantes e maior será a correlação entre as características (Tavares, 1993).

Relações entre testes para análise da qualidade fisiológica de sementes podem ser estudadas para prever o comportamento dos materiais, possibilitando a redução no número de testes e a seleção simultânea de mais de uma característica de interesse.

3 MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi conduzido na área experimental e no Laboratório de Análise de Sementes do Departamento de Agricultura da Universidade Federal de Lavras (UFLA), localizada no município de Lavras, na região Sul de Minas Gerais, latitude 21° 14' S, Longitude 40° 17' W e 918,80 m de altitude. Foram utilizadas seis linhagens e trinta híbridos de ciclos super-precoce, precoce e normal do programa de melhoramento de milho da UFLA. Na tabela 1 encontra-se a descrição das linhagens utilizadas na pesquisa.

TABELA 1 – Características das linhagens utilizadas.

Linhagem	Ciclo	Grão	Porte
UFLA 1	Normal	Semi-duro	Alto
UFLA 2	Super-precoce	Semi-duro	Médio
UFLA 3	Precoce	Duro	Baixo
UFLA 4	Precoce	Semi-duro	Alto
UFLA 5	Precoce	Duro	Baixo
UFLA 6	Precoce	Duro	Médio

Inicialmente, foi instalado um campo para produção das sementes das linhagens e híbridos. Este campo foi composto de vinte linhas de cinco metros para cada linhagem, sendo semeado em duas épocas diferentes para garantir a coincidência no florescimento. Para prevenir cruzamentos indesejados, as espigas foram protegidas com sacos plásticos, antes da emissão dos estilo-estigmas. Quando os estilo-estigmas estavam receptivos, foram realizadas

manualmente as autofecundações e os cruzamentos desejados. Foram realizados todos os cruzamentos possíveis entre as linhagens, de modo a formar um dialelo completo.

Após a colheita e secagem, as espigas foram debulhadas manualmente e as sementes, após expurgo, foram classificadas quanto ao tamanho. Nesta classificação, foram eliminadas sementes que passaram pela peneira 18.

A avaliação da qualidade fisiológica das sementes foi realizada pelos testes de germinação, velocidade de germinação, crescimento de plântulas, envelhecimento artificial, teste de frio, condutividade elétrica, emergência em campo, velocidade de emergência e testes bioquímicos.

Anteriormente à instalação dos testes, as sementes foram tratadas com os fungicidas Tecto 600[®], na dosagem de 40 g/100 kg de sementes, e Captan[®], na dosagem de 120 g/100 kg de sementes.

Foi efetuada a determinação do grau de umidade pelo método da estufa $105^{\circ} \pm 3^{\circ}\text{C}$ durante 24 horas, utilizando-se duas repetições para cada tratamento, conforme prescrições das Regras para Análise de Sementes (Brasil, 1992). Os resultados foram expressos em porcentagem média por tratamento.

3.1 Avaliação da qualidade fisiológica

3.1.1 Teste de germinação

O teste de germinação foi realizado com 4 repetições de 50 sementes por tratamento. A semeadura foi realizada em papel toalha, marca Germitest, na forma de rolo, umedecido com água na quantidade de 2,5 vezes o peso do papel. A seguir, as sementes foram colocadas para germinar em aparelho previamente regulado à temperatura de 30°C . As avaliações foram feitas aos 4 e 7 dias após a

semeadura, segundo as prescrições contidas nas Regras Internacionais para Análise de Sementes, ISTA, (1996).

3.1.2 Velocidade de germinação

A velocidade de germinação foi determinada utilizando-se 4 repetições de 50 sementes por amostra, anotando-se diariamente, a partir do 4º dia após a semeadura, o número de plântulas que atingiram o mínimo de 4 cm de parte aérea e 10 cm de radícula, até a estabilização do processo.

Posteriormente, foi determinado um índice de vigor para cada amostra através da fórmula de Edmond e Drapala (1958), citado por Vieira e Carvalho (1994).

$$M = \frac{(N1 \times G1) + (N2 \times G2) + \dots + (Nn \times Gn)}{G1 + G2 + \dots + Gn}$$

em que:

M – número médio de dias para germinação.

N1 – número de dias para a primeira avaliação.

G1 – número de sementes germinadas na primeira avaliação.

Nn – número de dias para a última avaliação.

Gn – número de sementes germinadas na última avaliação.

3.1.3 Crescimento das plântulas

Foram semeadas 15 sementes por repetição, em papel toalha pré-umedecido. Foi traçada uma linha no terço superior da folha de papel toalha, onde as sementes foram colocadas todas na mesma posição. No 4º dia após a semeadura, foi determinado o comprimento médio da parte aérea e da raiz primária das plântulas normais.


3.1.4 Envelhecimento artificial

Com uma amostra de 50 sementes por repetição, o teste de envelhecimento artificial foi instalado pelo método do gerbox adaptado, descrito por Tao (1980), à temperatura de 42° C, em estufa incubadora, por 96h. Após esse período, foi efetuado o teste de germinação como descrito anteriormente, com contagens de plântulas normais aos 4 dias após a semeadura.

3.1.5 Teste de frio

O teste de frio foi conduzido em caixa plástica (60x30x10cm) utilizando, como substrato, mistura de areia e solo proveniente de área cultivada com milho, na proporção de 2:1 em peso, respectivamente. A umidade do substrato foi ajustada para 70% da capacidade de retenção do substrato.

Foram utilizadas 200 sementes por tratamento, distribuídas em 4 repetições de 50 sementes. Após a semeadura, as sementes foram cobertas com uma camada de 3cm do substrato e as caixas, protegidas da desidratação e dispostas, ao acaso, em câmara fria regulada a 10°C, por 7 dias, Marcos Filho et al.(1987). Após esse período, as caixas foram mantidas em câmara de



crescimento, à temperatura de 25° C, por 7 dias, quando foi avaliado o total de plântulas emersas.

3.1.6 Teste de condutividade elétrica

O teste de condutividade elétrica foi conduzido segundo metodologia descrita por Vieira (1994). Quatro repetições de 50 sementes não tratadas, para cada tratamento, previamente escolhidas, para remoção das sementes que se apresentavam visualmente danificadas, foram pesadas em balança analítica e colocadas em copos plásticos contendo 75 ml de água destilada, e mantidas à temperatura de 25° C, por 24 horas. No final desse período, a condutividade elétrica da solução foi determinada através de leituras em condutivímetro. Os resultados obtidos foram expressos em $\mu\text{mhos/cm/g}$ de sementes.

3.1.7 Emergência em canteiro

O teste de emergência em canteiro foi conduzido conjuntamente com o índice de velocidade de emergência, com contagem única das plântulas emersas aos 21 dias após semeadura, conforme recomendações de Dias e Barros (1995).

3.1.8 Índice de velocidade de emergência

A determinação do índice de velocidade de emergência foi efetuado em canteiros contendo uma mistura de areia + terra na proporção de 1:1, previamente desinfestada com brometo de metila. Foram utilizadas 4 repetições de 50 sementes por amostra, semeadas manualmente, em linhas de um metro de comprimento, à profundidade de 3 cm. A velocidade de emergência foi determinada anotando-se o número de plântulas com mais de 2 cm de comprimento emergidas a cada dia a partir da data de início da emergência até a

completa estabilização do estande. O índice de velocidade de emergência foi determinado segundo a expressão de Edmond e Drapala (1958), apresentado por Vieira e Carvalho (1994).

3.2 Procedimento Estatístico

Os testes realizados para avaliação da qualidade fisiológica seguiram o delineamento experimental inteiramente casualizado com quatro repetições.

A comparação das médias foi feita pelo teste de Scott e Knott a 5% de probabilidade. A análise dos dados foi realizada através do Sistema de Análise Estatística – SANEST para micro-computadores (Zonta e Machado, 1991).

3.3 Heterose

Após obtidos os dados de avaliação da qualidade fisiológica das sementes para todas as linhagens e híbridos considerados, estes foram utilizados para estimar valores para heterose (h), utilizando-se a seguinte expressão:

$$h = \bar{F}_1 - \frac{(L_1 + L_2)}{2}$$

em que:

F_1 – média da geração F_1 do híbrido simples

L_1 – média da linhagem utilizada como parental masculino do híbrido simples

L_2 – média da linhagem utilizada como parental feminino do híbrido simples

3.4 Análise eletroforética

Foram realizadas análises eletroforéticas de isoenzimas das sementes das linhagens e dos seus respectivos híbridos. Para isto, as sementes foram envelhecidas artificialmente à temperatura de 42° C e 100% UR, conforme método do gerbox adaptado, descrito por Tao (1980), pelos períodos de 0, 48, 96 e 144 horas, a fim de simular a deterioração durante o armazenamento. Após o envelhecimento, as sementes foram liofilizadas e trituradas.

3.4.1 Extração das isoenzimas e análise eletroforética

Foram utilizados 100 mg do pó das sementes maceradas, aos quais foram adicionados 200 µl do tampão de extração Tris-HCl 0,2 M pH 8. Todos os tratamentos foram mantidos por 24 horas em geladeira. Após este período, as amostras foram centrifugadas a 14.000 rpm, a 4° C, por 30 minutos. Em seguida, foram aplicados 40 µl do sobrenadante nos géis de poliacrilamida a 7,5% (gel separador) e 4,5% (gel concentrador). O sistema tampão gel/eletrodo utilizado foi tris-glicina pH 8,9. As corridas foram efetuadas a 12 mA no gel concentrador e 24 mA no gel separador.

Após as corridas, os géis foram revelados e corados para os sistemas isoenzimáticos catalase, fosfatase ácida, esterase e malato desidrogenase, conforme metodologia descrita por Alfenas (1991).

3.5 Estimativas das capacidades geral e específica de combinação e dos efeitos recíprocos

Com base nos resultados da análise de variância, as somas de quadrados dos tratamentos foram decompostas em capacidade geral e específica de

combinação e efeitos recíprocos. Para a decomposição, utilizou-se o método 1 de Griffing (1956), em que a análise dialélica considera a presença das linhagens, híbridos F_{1i} , e híbridos F_{1j} , recíprocos.

Segue o modelo estatístico utilizado, considerando todos os efeitos como fixos, exceto o efeito do erro experimental:

$$X_{ij} = m + G_i + G_j + S_{ij} + R_{ij} + e_{ij}.$$

em que:

i e $j = 1, 2, \dots, p$, sendo $p = 6$, que corresponde ao número de linhagens utilizadas;

X_{ij} – valor médio do híbrido resultante do cruzamento das linhagens i e j , quando $i \neq j$, ou da linhagem i , quando $i = j$;

m – média da população;

G_i e G_j – efeitos da capacidade geral de combinação das linhagens i e j :

$$E(G_i) = G_i \text{ e } \sum_i G_i = 0;$$

S_{ij} = efeito da capacidade específica de combinação do híbrido ij : $S_{ij} = S_{ji}$,

$$E(S_{ij}) = S_{ij} \text{ e } \sum_j S_{ij} = 0 \text{ (para cada } i\text{)};$$

R_{ij} = efeito recíproco do cruzamento ij : $R_{ij} = -R_{ji}$, $E(R_{ij}) = R_{ij}$;

e_{ij} = erro experimental médio, NID $(0, \delta^2_e)$

Na tabela 2, é apresentado o esquema da análise de variância com o desdobramento da soma de quadrado de tratamentos para os efeitos da capacidade geral (CGC) e específica (CEC) de combinação e efeitos recíprocos (ER). Nesta análise, foi utilizado, como estimativa do erro, o quadrado médio do resíduo dividido pelo número de repetições.

TABELA 2 – Esquema da análise de variância segundo o Método 1 de Griffing (1956).

F.V.	GL	QM	F
Capac. geral de combinação	$p - 1$	Q1	Q1/QM
Capac. específica de combinação	$p.(p - 1)/2$	Q2	Q2/QM
Efeito recíproco	$p (p - 1)/2$	Q3	Q3/QM
Erro	m'	QM	

m' = graus de liberdade do resíduo da análise individual

Para obter as estimativas das somas de quadrados da capacidade geral de combinação (C.G.C.), da capacidade específica de combinação (CEC), dos recíprocos (ER), dos efeitos da CGC (G_i), dos efeitos da CEC (S_{ij}) e dos efeitos recíprocos (R_{ij}) e das variâncias destes efeitos, foram utilizadas as seguintes expressões, apresentadas por Griffing (1956):

$$SQ (C.G.C.) = 1/2p \sum_i (X_i + X_j)^2 - 2/p^2 X^2$$

$$SQ(C.E.C.) = 1/2 \sum_i \sum_j X_{ij} (X_{ij} + X_{ji}) - 1/2p \sum_i (X_i + X_i) + 1/p^2 X^2$$

$$SQ (E.R.) = 1/2 \sum_{i < j} (X_{ij} - X_{ji})^2$$

$$\hat{U} = X/p^2$$

$$G_i = (X_i + X_j)/2p - X./p^2$$

$$S_{ij} = (X_{ij} + X_{ji})/2 - (X_i + X_i + X_j + X_j)/2p + X./p^2$$

$$R_{ij} = (X_{ij} - X_{ji})/2$$

$$V\hat{a}r (G_i - G_j) = \sigma^2 e/p$$

$$V\hat{a}r = (S_{ii} - S_{jj}) = 2(p - 2) \sigma^2 e /p$$

$$V\hat{a}r = (S_{ij} - S_{kk}) = (p - 1) \cdot \sigma^2 e/p$$

$$V\hat{a}r = (S_{ij} - S_{kk}) = (p - 2) \cdot \sigma^2 e /p$$

$$V\hat{a}r = (R_{ij}) = \sigma^2 e /2$$

Sendo:

$$X_{i.} = \sum_j X_{ij}; X_{.j} = \sum_i X_{ij} \quad \text{e} \quad X_{..} = \sum_i \sum_j X_{ij}$$

3.6 Correlações genotípicas

Foram estimados os coeficientes de correlação genotípica entre todas as combinações possíveis entre as características avaliadas, para os 36 tratamentos (6 linhagens, 15 híbridos F_{1s} , e 15 F_{1s} , recíprocos).

Os coeficientes de correlação genotípica (r_G) foram estimados pela expressão:

$$r_G = \frac{V_{g(xy)}}{[V_{g(x)} \cdot V_{g(y)}]^{1/2}}$$

em que:

$V_{g(x)}$: variância da característica x;

$V_{g(y)}$: variância da característica y;

$V_{g(xy)}$: variância da característica xy.

Os componentes de variação presentes nessa expressão foram obtidos utilizando as esperanças dos quadrados médios obtidos nas análises de variância para cada característica e para a análise de variância da soma destas características duas a duas, de acordo com Kempthorne (1969).

As significâncias dos coeficientes de correlação foram testadas segundo tabela própria apresentada por Fisher (1970), a 5% e 1% de probabilidade. As correlações foram testadas com 34 graus de liberdade (número de tratamentos menos 2).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Qualidade fisiológica

Os resumos das análises de variância dos dados obtidos nos testes de germinação, condutividade elétrica, teste de frio, envelhecimento artificial e emergência em canteiro, assim como dos obtidos no índice de velocidade de germinação e emergência e nos comprimentos de parte aérea e radícula (Tabela 3), revelaram efeito significativo para os fatores linhagem, híbrido e linhagem versus híbrido.

As médias dos dados obtidos são apresentadas nas Tabelas 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12 e 13, juntamente com seus agrupamentos pelo teste de Scott e Knott, a 5% de probabilidade e com o cálculo da heterose.

Em relação aos híbridos utilizados neste trabalho, o número que aparece primeiro, ao referir-se sobre algum deles, é o número da linhagem utilizada como parental masculino, e o segundo número indica a linhagem utilizada como parental feminino.

Os dados de germinação e vigor indicaram, de uma maneira geral, superioridade dos híbridos em relação às linhagens quanto à qualidade fisiológica (Tabela 4).

A heterose em relação à média dos pais, para o teste de germinação (Tabela 5), variou de -6,3% (híbrido 3 x 5), a 8,4 % (híbrido 4 x 1). Apesar da estimativa da heterose para o cruzamento 3 x 5 ter sido negativa, ou seja, -6,3, quando se considerou o respectivo híbrido recíproco, a estimativa da heterose foi de +3,7%. Significância do efeito recíproco para essa característica também foi observado para os cruzamentos: 1 x 2, 1 x 4, 2 x 3, 2 x 6 e 3 x 6.

TABELA 3. Resumo da análise de variância dos dados obtidos no teste de germinação (GER), índice de velocidade de germinação (IVG), crescimento de parte aérea (CPPA) e radícula (CPR), condutividade elétrica (CE), teste de frio (TF), envelhecimento artificial (EA), emergência em canteiro (EC) e índice de velocidade de emergência (IVE) dos híbridos e linhagens UFLA-MG, 1999.

Causa de Variação	GL	Quadrados Médios								
		GER	IVG	CPPA	CPR	CE	TF	EA	EC	IVE
Total	35	35.466**	0.445**	3.343**	12.794**	21.908**	269.249**	96.397**	39.749**	0.522**
Linhagem	5	7.600**	0.230**	3.354**	6.015**	13.225**	54.658**	148.667**	18.467**	0.266**
Híbrido	29	32.137**	0.116**	1.694**	4.652**	23.805**	240.342**	39.307**	41.552**	0.559**
Lin. vs Híb.	1	271.340**	11.04**	51.08**	282.83**	10.323**	6636.94**	1490.69**	93.889**	7.771**
Resíduo	108	3.611	0.017	0.229	0.475	0.599	2.597	6.982	1.509	0.074
Média		96.07	4.63	5.28	12.33	8.43	91.89	93.53	97.39	11.48
C.V. (%)		1.98	2.78	9.07	5.59	9.18	1.75	2.83	1.26	2.78

** Significativo ao nível de 1% de probabilidade pelo teste F.

TABELA 4. Resultados médios obtidos do teste de germinação (GER), índice de velocidade de germinação (IVG), crescimento de plântulas da parte aérea (CPPA) e radícula (CPR), condutividade elétrica (CE), teste de frio (TF), envelhecimento artificial (EA), emergência em canteiro (EC) e índice de velocidade de emergência (IVE) dos híbridos e linhagens UFLA-MG, 1999.

	GER	IVG	CPPA	CPR	CE	TF	EA	EC	IVE
Linhagem	93% b	5.25 a	3.94 b	9.21 b	9.03 a	77% b	86% b	95% b	12.00 a
Híbrido	97% a	4.50 b	5.54 a	12.99 a	8.31 b	95% a	95% a	98% a	11.39 b

Médias seguidas por letras distintas, diferem entre si pelo teste de Duncan ao nível de 1% de significância.

TABELA 5. Resultados médios da porcentagem de germinação de sementes de diferentes híbridos e linhagens de milho, e da heterose em relação à média dos pais (MP = 100%). UFLA, Lavras – MG, 1999.

	Trat.	Germinação		Trat. Recip.	Germinação			
		Média (%)	Heterose (% M.P.)		Média (%)	Heterose (% M.P.)		
F3	1	92.0	d	-	-	-		
	2	95.0	c	-	-	-		
	3	94.0	c	-	-	-		
	4	91.0	d	-	-	-		
	5	93.0	d	-	-	-		
	6	93.0	d	-	-	-		
	1x2	94.0	c	100.4	2x1	99.0	a	106.0
	1x3	97.0	b	104.0	3x1	100.0	a	107.8
	1x4	92.0	d	100.4	4x1	99.0	a	108.4
	1x5	97.0	b	105.2	5x1	100.0	a	108.2
	1x6	99.0	a	106.9	6x1	100.0	a	108.0
	2x3	94.0	c	99.6	3x2	99.0	a	105.1
	2x4	97.0	b	104.2	4x2	98.0	b	105.0
	2x5	94.0	c	101.6	5x2	98.0	b	105.9
	2x6	99.0	a	105.2	6x2	95.0	c	101.0
	3x4	95.0	c	102.8	4x3	99.0	a	106.9
	3x5	87.0	e	93.7	5x3	97.0	b	103.7
	3x6	99.0	a	106.3	6x3	95.0	ç	102.0
	4x5	94.0	c	102.2	5x4	97.0	b	105.2
	4x6	95.0	c	102.4	6x4	98.0	b	105.6
	5x6	98.0	b	104.8	6x5	96.0	b	103.2

Médias seguidas pela mesma letra nas duas colunas, não diferem entre si pelo teste de Scott e Knott a 5% de probabilidade

Esses resultados indicam a importância da escolha dos parentais masculino e feminino para instalação de campos de produção de sementes híbridas de milho, visando a obtenção de sementes com alto potencial germinativo.

Szundy e Kovacs (1982) investigaram a velocidade e porcentagem de germinação de sementes de milho em condições subótimas. Foi observado que a porcentagem de heterose foi um fator importante na germinação das sementes. Observaram, ainda, que a porcentagem de emergência de plântulas das linhagens foi sempre menor que a do híbrido.

No trabalho desenvolvido por Maryan e Jones (1983), foi observado menor número de sementes germinadas das linhagens em relação às sementes híbridas, resultados estes também verificados nesta pesquisa.

O índice de velocidade de germinação (Tabela 6) nos fornece o número médio de dias para a germinação; assim, quanto maior a velocidade de germinação, menor será o índice. Foi observada germinação mais rápida das sementes híbridas (4,50 dias) quando comparadas às sementes das linhagens (5,25 dias). Em relação às estimativas da heterose, para essa característica, estas se mostraram negativas, variando de -21,18% (híbrido 4 x 1) a -6,70% (híbrido 6 x 2). Esses resultados concordam com aqueles obtidos por Szundy e Kovacs (1982) e Maryam e Jones (1983), que indicaram a superioridade da qualidade das sementes híbridas em relação às sementes de suas linhagens, quanto a velocidade de emergência. Mino e Inoue (1980; 1986; 1988; 1989; 1991), relatam que esta germinação mais rápida das sementes híbridas está associada as altas taxas de metabolismo de RNA, DNA, proteínas e lipídeos nos embriões das mesmas. Os mesmos autores, estudando o metabolismo da glicose, mostraram que a rápida ativação da função metabólica no embrião, após o começo da absorção de água, é devido ao genótipo heterótico do híbrido F_1 , e é um fator chave no mecanismo pelo qual o híbrido F_1 expressa esse vigor híbrido no processo de germinação.

TABELA 6. Resultados médios do índice de velocidade de germinação, de diferentes híbridos e linhagens de milho, e da heterosé em relação à média dos pais (MP = 100%). UFLA, Lavras-MG, 1999.

Trat.	IVG			Trat. Recíp.	IVG		
	Média		Heterosé (% M.P.)		Média		Heterosé (% M.P.)
1	5.61	a	-				
2	5.25	b	-				
3	4.87	c	-				
4	5.25	b	-				
5	5.33	b	-				
6	5.18	b	-				
1x2	4.95	c	91.16	2x1	4.39	f	80.85
1x3	4.34	f	82.82	3x1	4.42	f	84.35
1x4	4.40	f	81.03	4x1	4.28	f	78.82
1x5	4.43	f	80.99	5x1	4.43	f	80.99
1x6	4.49	f	81.79	6x1	4.37	f	79.60
2x3	4.39	f	86.76	3x2	4.54	e	89.72
2x4	4.36	f	83.05	4x2	4.47	f	85.14
2x5	4.60	e	86.96	5x2	4.38	f	82.80
2x6	4.71	d	90.23	6x2	4.87	c	93.30
3x4	4.53	e	89.53	4x3	4.32	f	85.38
3x5	4.57	e	89.61	5x3	4.73	d	92.75
3x6	4.37	f	86.88	6x3	4.40	f	87.48
4x5	4.76	d	89.98	5x4	4.63	e	87.85
4x6	4.37	f	83.72	6x4	4.72	d	90.42
5x6	4.46	f	84.79	6x5	4.49	f	85.36

Médias seguidas pela mesma letra nas duas colunas, não diferem entre si pelo teste de Scott e Knott a 5% de probabilidade

Nebiolo et al. (1983) também constataram vantagens das sementes híbridas na síntese de DNA e RNA em relação às suas linhagens parentais.

Em relação aos comprimentos da parte aérea e radícula (Tabelas 7 e 8 respectivamente), foi observado maior comprimento destes em plântulas provenientes de sementes híbridas, sendo observado, também, as maiores estimativas de heterose. Esses resultados mostram que as plântulas provenientes de sementes híbridas são mais vigorosas em relação às das linhagens. Para o comprimento da parte aérea das plântulas, as estimativas variaram de 13,5% (híbrido 5 x 4) a 102,7 (híbrido 2 x 6). Para o comprimento da radícula, a heterose variou de 9,01 (híbrido 3 x 5) a 69,6 (híbrido 4 x 1). Vários autores têm mostrado que o vigor híbrido em relação à taxa de crescimento e potencial de produção podem estar associados com a alta atividade fisiológica e bioquímica das plantas F_1 híbridas (Srivastava, 1983 e Mc Daniel, 1986).

Foi verificado, também, efeito recíproco para as características de comprimento de parte aérea e radícula, como pode ser observado nos cruzamentos 1 x 2, 1 x 4 e 2 x 6. A grande magnitude dos valores de heterose para essas características evidenciam a importância do vigor híbrido já a partir da fase inicial de desenvolvimento das plantas, o que possibilita melhor estabelecimento inicial das plantas no campo.

Uma outra hipótese para este crescimento mais vigoroso é a eficiência do sistema enzimático envolvido no processo de germinação. Causse et al. (1995), correlacionaram a maior produção de matéria seca das plântulas híbridas de milho, em relação às suas linhagens parentais, com a maior atividade da enzima sacarose fosfato sintetase. Entretanto, em alguns trabalhos, isto não tem sido verificado. Hageman et al. (1967) não observaram diferenças na atividade das enzimas triosefosfato desidrogenase, aldolase e glicose-6-fosfato desidrogenase entre plântulas provenientes de sementes híbridas e de suas linhagens parentais.

TABELA 7. Resultados médios do comprimento da parte aérea (cm) de plântulas de diferentes híbridos e linhagens de milho, e da heterose em relação à média dos pais (MP = 100%). UFLA, Lavras – MG, 1999.

Trat.	Parte aérea			Trat. Recíp.	Parte aérea		
	Média		Heterose (% M.P.)		Média		Heterose (% M.P.)
1	4.29	d	-				
2	2.58	f	-				
3	5.31	c	-				
4	4.27	d	-				
5	3.71	e	-				
6	3.50	e	-				
1x2	4.69	d	137.9	2x1	5.45	c	160.3
1x3	6.31	b	131.5	3x1	6.82	a	142.1
1x4	5.11	c	118.3	4x1	6.56	a	152.6
1x5	5.03	c	125.8	5x1	5.54	c	138.5
1x6	5.88	b	150.8	6x1	5.38	c	137.9
2x3	5.78	c	148.2	3x2	5.00	c	128.2
2x4	4.70	d	138.2	4x2	5.07	c	149.1
2x5	5.96	b	192.3	5x2	5.37	c	173.2
2x6	6.08	b	202.7	6x2	4.44	d	148.0
3x4	6.32	b	131.7	4x3	6.91	a	144.0
3x5	5.12	c	113.7	5x3	5.71	c	126.9
3x6	5.10	c	115.9	6x3	5.27	c	119.8
4x5	5.43	c	135.8	5x4	4.54	d	113.5
4x6	5.81	c	149.0	6x4	5.07	c	130.0
5x6	6.21	b	172.5	6x5	5.63	c	156.4

Médias seguidas pela mesma letra nas duas colunas, não diferem entre si pelo teste de Scott e Knott a 5% de probabilidade

TABELA 8. Resultados médios do comprimento da radícula (cm) de plântulas de diferentes híbridos e linhagens de milho, e da heterose em relação à média dos pais (MP = 100%). UFLA, Lavras - MG, 1999.

Trat.	Radícula		Trat. Recip.	Radícula		
	Média	Heterose (% M.P.)		Média	Heterose (% M.P.)	
1	8.24	f				
2	8.52	f				
3	11.27	d				
4	9.85	e				
5	8.02	f				
6	9.36	e				
1x2	12.42	c	2x1	13.63	b	162.3
1x3	14.33	a	3x1	14.10	a	143.9
1x4	11.72	d	4x1	15.26	a	169.6
1x5	12.28	c	5x1	12.16	d	150.1
1x6	13.18	b	6x1	13.97	b	158.8
2x3	13.29	b	3x2	12.84	c	129.8
2x4	12.04	d	4x2	13.66	b	148.5
2x5	12.70	c	5x2	13.25	b	159.6
2x6	14.62	a	6x2	13.62	b	153.0
3x4	13.16	b	4x3	13.75	b	129.7
3x5	10.47	e	5x3	12.13	d	126.4
3x6	12.73	c	6x3	13.01	e	126.3
4x5	11.67	d	5x4	10.41	e	117.0
4x6	12.94	c	6x4	12.36	c	128.8
5x6	13.50	b	6x5	13.41	b	154.1

Médias seguidas pela mesma letra nas duas colunas, não diferem entre si pelo teste de Scott e Knott a 5% da probabilidade

Pelos zimogramas da esterase, (Figura 1), foi observado uma baixa atividade desta enzima para o híbrido 3 x 5. Pelos resultados obtidos nos testes de germinação, teste de frio, envelhecimento artificial e emergência em canteiro, essa combinação foi a que apresentou menor qualidade fisiológica das sementes. Por outro lado, houve alta atividade dessa enzima para as combinações 4 x 2 e 6 x 4. Sementes desses híbridos apresentaram um bom desempenho quanto à emergência de plântulas em canteiro.

De uma maneira geral, à medida que as sementes das linhagens foram envelhecidas, houve redução da atividade desta enzima. Quanto às sementes híbridas, houve uma estabilidade maior da atividade da enzima durante o envelhecimento, e também no comportamento quanto à qualidade fisiológica (Tabelas 5 a 13). Esses resultados sugerem que as sementes das linhagens apresentam menor potencial de armazenamento em relação às sementes híbridas.

Bilia (1992) verificou, em sementes de milho com 8 meses de armazenamento, a supressão da atividade da esterase da posição R_4 . Segundo a autora, tal fato pode ser explicado pela inibição, por compostos orgânicos e carbamatos, da síntese da esterase da região R_4 , com a deterioração da semente. Satters et al. (1994), trabalhando com sementes de soja, observaram a perda de 77% da atividade de duas esterases, após 48 h de envelhecimento, e o aumento da atividade total desta enzima com envelhecimento. Estes resultados demonstram que os padrões isoenzimáticos da esterase apresentam bandas características do processo de deterioração, podendo a atividade dessa enzima estar relacionada a uma maior ou menor eficiência do sistema de membrana, o que poderia contribuir para a diminuição mais rápida da viabilidade das sementes das linhagens durante o armazenamento. Corroborando estes resultados que pode ser observada uma correlação da atividade dessa enzima com os resultados de condutividade elétrica.

FIGURA 1 – Padrões isoenzimáticos de sementes de milho das linhagens e seus híbridos e híbridos recíprocos submetidas a diferentes períodos de envelhecimento artificial, reveladas para esterase. UFLA, Lavras-MG, 1999.

0 Horas

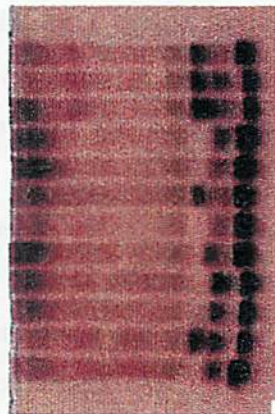


1 2 3 4 5 6
1 1 1 1 1 1

48 Horas



1 2 3 4 5 6
1 1 1 1 1 1



7 8 9 10 11 12
2 2 2 2 2 2



7 8 9 10 11 12
2 2 2 2 2 2



13 14 15 16 17 18
4 4 4 4 4 4



13 14 15 16 17 18
4 4 4 4 4 4

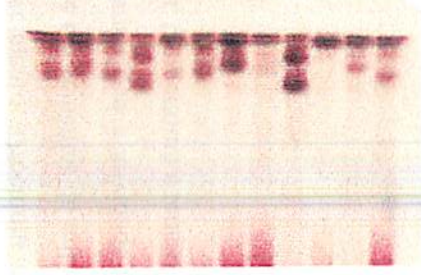
FUGURA 1 - Continuação.

96 Horas



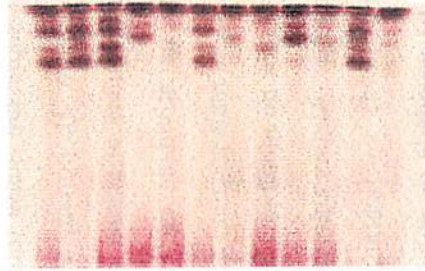
1 2 3 4 5 6
2 3 4 5 6 1
1 1 1 1 1 2

144 Horas



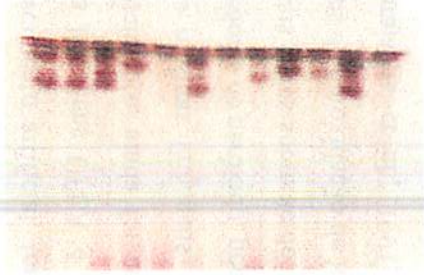
1 2 3 4 5 6
2 3 4 5 6 1
1 1 1 1 1 2

96 Horas



3 4 5 6 1 2
2 2 2 3 3 3
3 3 3 3 3 4
1 2 3

144 Horas



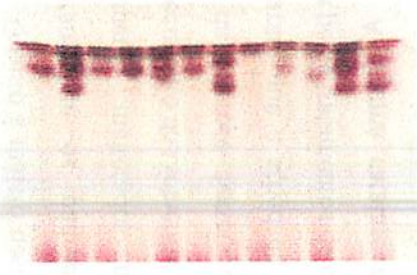
3 4 5 6 1 2
2 2 2 3 3 3
3 3 3 3 3 4
1 2 3

96 Horas



5 6 1 2 3 4
4 4 5 5 5 5
5 5 5 5 5 6
1 2 3 4 5

144 Horas



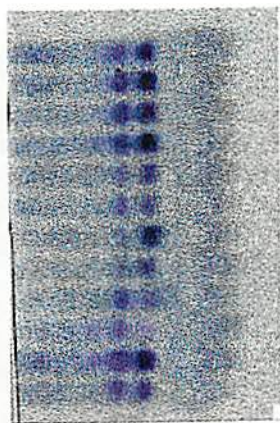
5 6 1 2 3 4
4 4 5 5 5 5
5 5 5 5 5 6
1 2 3 4 5

Quanto à malato desidrogenase (Figura 2), os resultados desse trabalho mostraram que os padrões eletroforéticos dessa enzima permaneceram praticamente inalterados para híbridos e linhagens, mesmo após o envelhecimento das sementes por 144 horas, não sendo um bom indicador para o estudo da heterose. Satters et al. (1994), em estudos com sementes de soja, observaram que a atividade da isoenzima malato desidrogenase foi a menos afetada pelos tratamentos de envelhecimento.

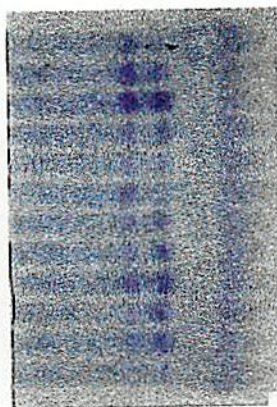
A enzima catalase apresentou uma diminuição na intensidade e no número de bandas, a partir das 48 horas de envelhecimento artificial, para a maioria dos híbridos e para todas as seis linhagens. Com 96 horas de envelhecimento artificial, foi observada a supressão quase total desta enzima para as linhagens UFLA 4 e UFLA 6 (Figura 3); porém, às 144 horas de envelhecimento, ainda foi verificado uma pequena atividade desta isoenzima para as mesmas linhagens. A diminuição na atividade de enzima catalase, removedoras de peróxido, pode tornar a semente mais sensível aos efeitos de O₂ e radicais livres sobre ácidos graxos insaturados de membrana e a produção de produtos de peroxidação de lipídeos secundários. Alguns autores (Nkang, 1988; Basavarajappa et al., 1991; Jeng e Sung 1994) verificaram, em sementes envelhecidas artificialmente, um declínio na atividade de enzima “scavenger” como a catalase, removedoras de peróxidos, com o aumento do tempo de envelhecimento. Drochioiu et al. (1993), pesquisando a atividade da enzima catalase em sementes de milho em várias condições de envelhecimento forçado, verificaram que a atividade desta enzima decresceu à medida que a umidade relativa, temperatura e tempo de armazenamento aumentaram.

FIGURA 2- Padrões isoenzimáticos de sementes de milho das linhagens e seus híbridos recíprocos submetidas a diferentes períodos de envelhecimento artificial, reveladas para malato desidrogenase. UFLA, Lavras-MG, 1999.

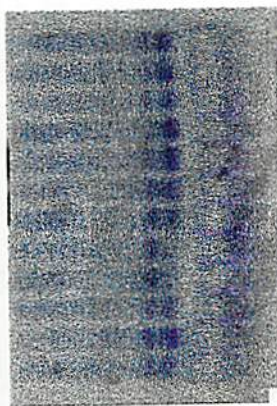
0 Horas



1 2 3 4 5 6
 $\frac{2}{1}$ $\frac{3}{1}$ $\frac{4}{1}$ $\frac{5}{1}$ $\frac{6}{1}$ $\frac{1}{2}$

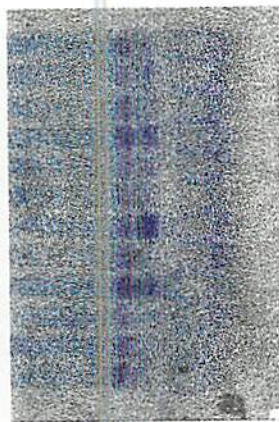


3 4 5 6 1 2 4
 $\frac{3}{2}$ $\frac{4}{2}$ $\frac{5}{3}$ $\frac{6}{3}$ $\frac{1}{3}$ $\frac{2}{4}$ $\frac{3}{4}$ $\frac{4}{4}$

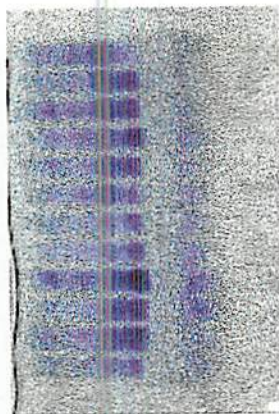


5 6 1 2 3 4 5
 $\frac{5}{4}$ $\frac{6}{4}$ $\frac{1}{5}$ $\frac{2}{5}$ $\frac{3}{5}$ $\frac{4}{6}$ $\frac{5}{6}$ $\frac{6}{6}$

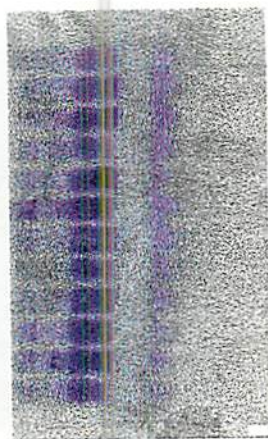
48 Horas



1 2 3 4 5 6
 $\frac{2}{1}$ $\frac{3}{1}$ $\frac{4}{1}$ $\frac{5}{1}$ $\frac{6}{1}$ $\frac{1}{2}$



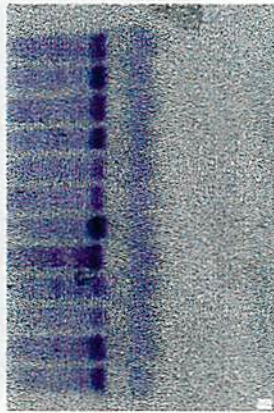
3 4 5 6 1 2 4
 $\frac{3}{2}$ $\frac{4}{2}$ $\frac{5}{3}$ $\frac{6}{3}$ $\frac{1}{3}$ $\frac{2}{4}$ $\frac{3}{4}$ $\frac{4}{4}$



5 6 1 2 3 4 5
 $\frac{5}{4}$ $\frac{6}{4}$ $\frac{1}{5}$ $\frac{2}{5}$ $\frac{3}{5}$ $\frac{4}{6}$ $\frac{5}{6}$ $\frac{6}{6}$

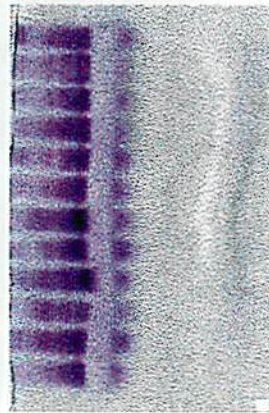
FIGURA 2 – Continuação.

96 Horas

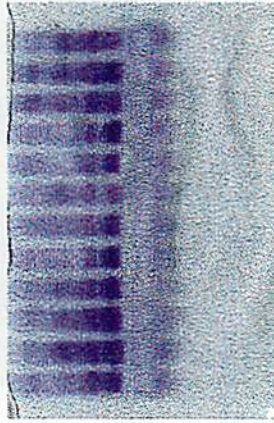


1 2 3 4 5 6 2 3 4 5 6 1
1 1 1 1 1 2

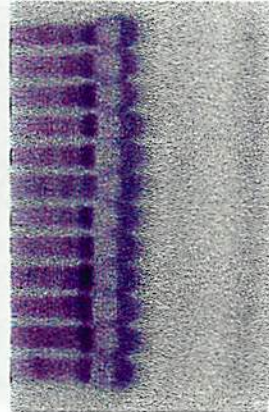
144 Horas



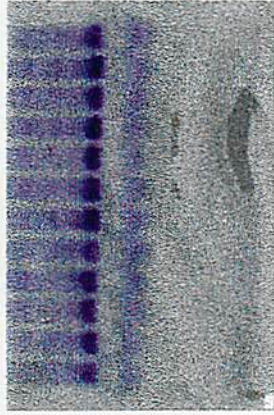
1 2 3 4 5 6 2 3 4 5 6 1
1 1 1 1 1 2



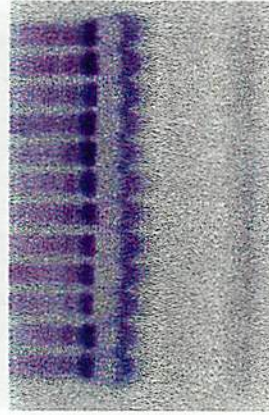
3 4 5 6 1 2 4 5 6 1 2 3
2 2 2 2 3 3 3 3 4 4 4



3 4 5 6 1 2 4 5 6 1 2 3
2 2 2 2 3 3 3 3 4 4 4



5 6 1 2 3 4 5 6 1 2 3 4 5
4 4 5 5 5 6 6 6 6 6 6



5 6 1 2 3 4 5 6 1 2 3 4 5
4 4 5 5 5 6 6 6 6 6 6

FIGURA 3 – Padrões isoenzimáticos de sementes de milho das linhagens e seus híbridos e híbridos recíprocos submetidas a diferentes períodos de envelhecimento artificial, reveladas para catalase. UFLA, Lavras-MG, 1999.

0 Horas



1 2 3 4 5 6
1 1 1 1 1 1



3 4 5 6
2 2 2 2 3 3 3 3 4 4 4 4



5 6
4 4 5 5 5 5 5 5 6 6 6 6 6 6

48 Horas



1 2 3 4 5 6
1 1 1 1 1 1



3 4 5 6
2 2 2 2 3 3 3 3 4 4 4 4



5 6
4 4 5 5 5 5 5 5 6 6 6 6 6 6

FIGURA 3 – Continuação.

96 Horas



1 2 3 4 5 6
 $\frac{2}{1}$ $\frac{3}{1}$ $\frac{4}{1}$ $\frac{5}{1}$ $\frac{6}{1}$ $\frac{1}{2}$



$\frac{3}{2}$ $\frac{4}{2}$ $\frac{5}{2}$ $\frac{6}{2}$ $\frac{1}{3}$ $\frac{2}{3}$ $\frac{4}{3}$ $\frac{5}{3}$ $\frac{6}{3}$ $\frac{1}{4}$ $\frac{2}{4}$ $\frac{3}{4}$ $\frac{4}{4}$



$\frac{5}{4}$ $\frac{6}{4}$ $\frac{1}{5}$ $\frac{2}{5}$ $\frac{3}{5}$ $\frac{4}{5}$ $\frac{5}{5}$ $\frac{6}{5}$ $\frac{1}{6}$ $\frac{2}{6}$ $\frac{3}{6}$ $\frac{4}{6}$ $\frac{5}{6}$ $\frac{6}{6}$

144 Horas



1 2 3 4 5 6
 $\frac{2}{1}$ $\frac{1}{1}$ $\frac{4}{1}$ $\frac{5}{1}$ $\frac{6}{1}$ $\frac{1}{2}$



$\frac{3}{2}$ $\frac{4}{2}$ $\frac{5}{2}$ $\frac{6}{2}$ $\frac{1}{3}$ $\frac{2}{3}$ $\frac{3}{3}$ $\frac{4}{3}$ $\frac{5}{3}$ $\frac{6}{3}$ $\frac{1}{4}$ $\frac{2}{4}$ $\frac{3}{4}$ $\frac{4}{4}$



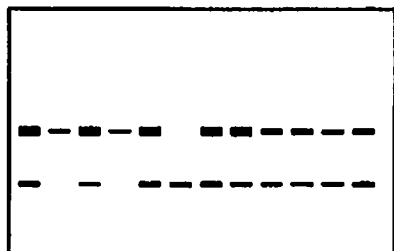
$\frac{5}{4}$ $\frac{6}{4}$ $\frac{1}{5}$ $\frac{2}{5}$ $\frac{3}{5}$ $\frac{4}{5}$ $\frac{5}{5}$ $\frac{6}{5}$ $\frac{1}{6}$ $\frac{2}{6}$ $\frac{3}{6}$ $\frac{4}{6}$ $\frac{5}{6}$ $\frac{6}{6}$

A fosfatase ácida participa em reações de hidrólise de ésteres, podendo atuar sobre fosfolípidos de membrana, provocando a peroxidação destes lípidos. Nesta pesquisa, ela apresentou, para a maioria dos híbridos e linhagens testadas, uma diminuição na intensidade das bandas, principalmente às 144 horas de envelhecimento (Figura 4). Estes resultados concordam com os obtidos com cevada (Cauhan et al. 1985), e soja (Jen e Sung, 1994; Cauhan et al. 1985), nos quais a atividade da fosfatase ácida decresceu com o aumento do envelhecimento, e contradizem os de Rajagopal e Sen-Mandi (1992), que observaram alta atividade desta enzima em embriões de sementes de arroz envelhecidas artificialmente, quando comparadas com embriões de sementes envelhecidas naturalmente e não envelhecidas, e os de Brandão Jr. (1996), em que foi verificado um aumento na intensidade de banda para duas cultivares de milho estudadas, com o aumento do tempo de envelhecimento.

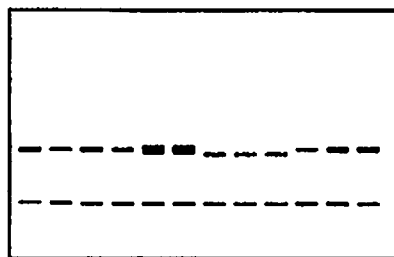
Quanto ao valor da condutividade elétrica (Tabela 9), função da quantidade de lixiviados na solução, em média foi menor para as sementes híbridas quando comparada ao valor observado para as sementes das linhagens, o que lhes confere um maior vigor devido, provavelmente, à maior estruturação do sistema de membranas (Tabela 4). No entanto, as linhagens 2, 4 e 6 apresentam valores de condutividade significativamente inferiores a vários híbridos, sugerindo que as sementes destas linhagens têm qualidade superior, embora os resultados dos demais testes não confirmem esta observação. As estimativas da heterose variaram de -42,15% (híbrido 5 x 6) a 35,55% (híbrido 2 x 5). Esperava-se que, na maioria das vezes, as sementes híbridas apresentassem heterose negativa, por serem mais vigorosas. No entanto, vários cruzamentos apresentaram estimativas positivas (1 x 3, 2 x 3, 2 x 5 e 2 x 6). Von Pinho (1995) observou baixa relação entre o vigor híbrido dos materiais estudados e a condutividade elétrica, concluindo que não seria seguro comparar genótipos de milho objetivando avaliação da qualidade fisiológica das sementes através do referido teste.

FIGURA 4– Padrões isoenzimáticos de sementes de milho das linhagens e seus híbridos e híbridos recíprocos submetidas a diferentes períodos de envelhecimento artificial, reveladas para fosfatase ácida. UFLA, Lavras-MG, 1999.

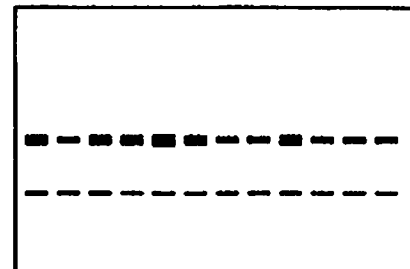
0 Horas



1 2 3 4 5 6 $\frac{2}{1}$ $\frac{3}{1}$ $\frac{4}{1}$ $\frac{5}{1}$ $\frac{6}{1}$ $\frac{1}{2}$

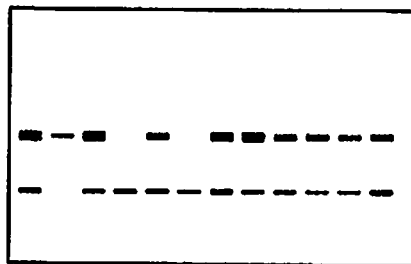


$\frac{3}{2}$ $\frac{4}{2}$ $\frac{5}{2}$ $\frac{6}{2}$ $\frac{1}{3}$ $\frac{2}{3}$ $\frac{4}{3}$ $\frac{5}{3}$ $\frac{6}{3}$ $\frac{1}{4}$ $\frac{2}{4}$ $\frac{3}{4}$

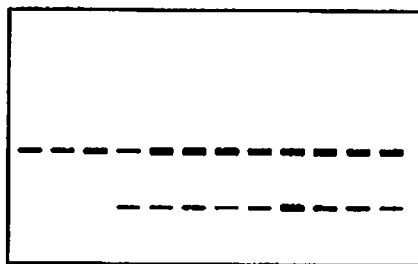


$\frac{5}{4}$ $\frac{6}{4}$ $\frac{1}{5}$ $\frac{2}{5}$ $\frac{3}{5}$ $\frac{4}{5}$ $\frac{6}{5}$ $\frac{1}{6}$ $\frac{2}{6}$ $\frac{3}{6}$ $\frac{4}{6}$ $\frac{5}{6}$

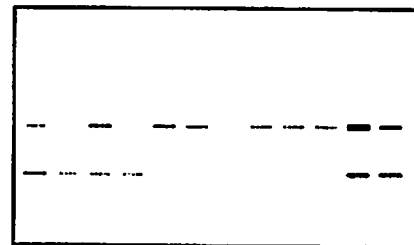
48 Horas



1 2 3 4 5 6 $\frac{2}{1}$ $\frac{3}{1}$ $\frac{4}{1}$ $\frac{5}{1}$ $\frac{6}{1}$ $\frac{1}{2}$



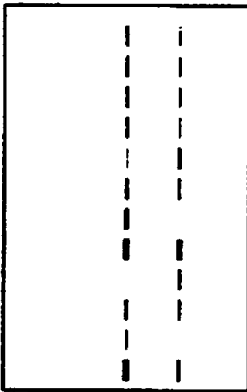
$\frac{3}{2}$ $\frac{4}{2}$ $\frac{5}{2}$ $\frac{6}{2}$ $\frac{1}{3}$ $\frac{2}{3}$ $\frac{4}{3}$ $\frac{5}{3}$ $\frac{6}{3}$ $\frac{1}{4}$ $\frac{2}{4}$ $\frac{3}{4}$



$\frac{5}{4}$ $\frac{6}{4}$ $\frac{1}{5}$ $\frac{2}{5}$ $\frac{3}{5}$ $\frac{4}{5}$ $\frac{6}{5}$ $\frac{1}{6}$ $\frac{2}{6}$ $\frac{3}{6}$ $\frac{4}{6}$ $\frac{5}{6}$

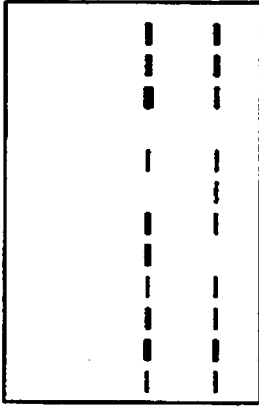
FIGURA 4 – Continuação.

96 Horas

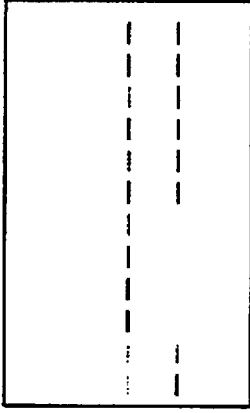


1 2 3 4 5 6 2 3 4 5 6 1
1 1 1 1 1 2

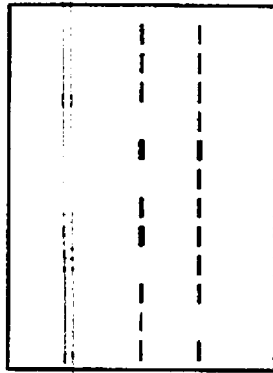
144 Horas



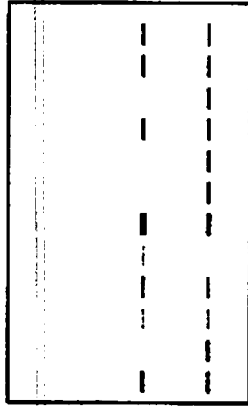
3 4 5 6 1 2 4 5 6 1 2 3
2 2 2 2 3 3 3 3 4 4 4



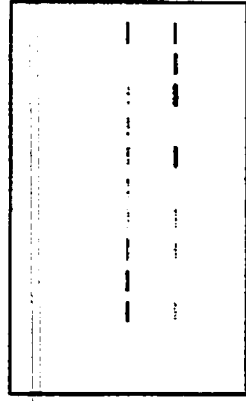
5 6 1 2 3 4 6 1 2 3 4 5
4 4 5 5 5 5 6 6 6 6 6 6



1 2 3 4 5 6 2 3 4 5 6 1
1 1 1 1 1 2



3 4 5 6 1 2 4 5 6 1 2 3
2 2 2 2 3 3 3 3 4 4 4



5 6 1 2 3 4 6 1 2 3 4 5
4 4 5 5 5 5 6 6 6 6 6 6

TABELA 9. Resultados médios da condutividade elétrica (μ nhos/cm/g de sementes), de diferentes híbridos e linhagens de milho, e da heterose em relação à média dos pais (MP = 100%). UFLA, Lavras-MG, 1999.

Trat.	Condutividade elétrica		Trat. Recíp.	Condutividade elétrica	
	Média	Heterose (% M.P.)		Média	Heterose (% M.P.)
1	10.10	d	-	-	-
2	7.71	f	-	-	-
3	10.24	d	-	-	-
4	7.15	g	-	-	-
5	11.52	c	-	-	-
6	7.45	g	-	-	-
1x2	8.71	e	97.76	2x1	6.25 g 70.15
1x3	10.67	c	105.01	3x1	6.36 g 62.54
1x4	7.76	f	89.92	4x1	5.67 h 65.70
1x5	14.56	a	134.69	5x1	6.83 g 63.18
1x6	6.48	g	73.80	6x1	9.06 e 103.19
2x3	9.53	d	106.12	3x2	6.89 g 76.73
2x4	6.36	g	85.60	4x2	7.25 g 97.58
2x5	13.04	b	135.55	5x2	7.15 g 74.32
2x6	7.06	g	93.13	6x2	6.74 g 88.92
3x4	6.31	g	72.53	4x3	9.09 e 104.48
3x5	13.16	b	120.96	5x3	8.68 e 79.78
3x6	5.46	h	61.69	6x3	10.78 c 121.81
4x5	11.61	c	124.30	5x4	6.50 g 69.59
4x6	8.49	e	116.30	6x4	7.06 g 96.71
5x6	5.49	h	57.85	6x5	10.31 d 108.64

Médias seguidas pela mesma letra nas duas colunas, não diferem entre si pelo teste de Scott e Knott a 5% de probabilidade

No teste de frio (Tabela 10), foi observada maior germinação das sementes híbridas sob as condições de estresse causado pela baixa temperatura e alta umidade do substrato, quando comparada à germinação das sementes das linhagens. A amplitude de variação para as estimativas da heterose, obtida pelo teste de frio, foi de 0,7% (híbrido 3 x 5) a 44,1% (híbrido 2 x 1).

Investigando a velocidade e porcentagem de germinação de sementes de milho em condições subótimas, Szundy e Kovacs (1982) observaram que a heterogossidade foi um fator importante na germinação das sementes. Os autores comentam que a porcentagem de emergência de plântulas das linhagens foi sempre menor que a dos híbridos. Pesey (1970) e Maryam e Jones (1983), trabalhando com germinação de sementes de milho a baixas temperaturas, observaram também menores germinações das sementes das linhagens em relação à germinação das sementes híbridas.

Outro aspecto abordado foi a existência do efeito materno, no grau de tolerância às baixas temperaturas, sobre a germinação e a velocidade de emergência nas plântulas híbridas. No presente trabalho, não foi observado a existência do efeito maternal para tolerância ao frio. A linhagem 2, por exemplo, apresentou sementes com menor vigor no teste frio e não proporcionou baixa tolerância ao frio nas plantas descendentes quando a mesma foi utilizada como parental feminino, como observado nos cruzamentos 1 x 2, 3 x 2, 5 x 2 e 6 x 2. Outra evidência da não existência de efeito materno foi no cruzamento 3 x 5. Dentre as combinações híbridas, essa foi a que apresentou menor vigor das sementes pelo teste de frio. No entanto, a linhagem 5 utilizada como parental feminino foi a que apresentou maior germinação sob baixas temperaturas.

Em relação ao teste de envelhecimento artificial, foi observado maior germinação das sementes híbridas nas condições do teste. O princípio básico deste teste é o de que o processo de deterioração é similar ao que ocorre em condições normais de armazenamento, porém com a velocidade de deterioração aumentada.

TABELA 10. Resultados médios de vigor de sementes (%) de diferentes híbridos e linhagens de milho, obtidos pelo teste de frio, e da heterose em relação à média dos pais (MP = 100%). UFLA, Lavras – MG, 1999.

Trat.	Teste de frio		Trat.	Teste de frio			
	Média (%)	Heterose (% M.P.)		Recip.	Média (%)	Heterose (% M.P.)	
1	68.0	g					
2	67.0	g					
3	77.0	f					
4	83.0	e					
5	86.0	d					
6	80.0	e					
1x2	97.0	a	2x1	97.0	a	143.7	144.1
1x3	90.0	c	3x1	97.0	a	124.4	133.8
1x4	93.0	c	4x1	99.0	a	123.5	131.2
1x5	97.0	a	5x1	94.0	b	125.8	122.2
1x6	97.0	a	6x1	97.0	a	130.9	131.3
2x3	92.0	c	3x2	98.0	a	127.8	136.1
2x4	95.0	b	4x2	95.0	b	126.5	127.2
2x5	95.0	b	5x2	99.0	a	123.7	128.6
2x6	95.0	b	6x2	97.0	a	128.7	131.5
3x4	95.0	b	4x3	95.0	b	119.7	119.0
3x5	82.0	e	5x3	87.0	d	100.7	107.2
3x6	100.0	a	6x3	91.0	c	127.6	116.4
4x5	93.0	c	5x4	98.0	a	110.0	116.3
4x6	94.0	b	6x4	96.0	b	115.6	118.1
5x6	97.0	a	6x5	98.0	a	116.9	118.1

Médias seguidas pela mesma letra nas duas colunas, não diferem entre si pelo teste de Scott e Knott a 5% de probabilidade

As estimativas da heterose para o teste de envelhecimento artificial (Tabela 11) mostraram-se todas positivas, indicando que as sementes híbridas possuem um potencial de armazenamento maior que as sementes das linhagens. Sabe-se que a conservação da qualidade de sementes de algumas linhagens, durante períodos mais prolongados de armazenamento, tem sido comprometida. Esta situação tem criado dificuldades na manutenção de estoques de sementes genéticas, fazendo com que seja necessário que as empresas conduzam periodicamente campos de multiplicação de sementes, para a obtenção de sementes de qualidade superior. Como o teste de envelhecimento artificial é indicado para medir o potencial de armazenamento das sementes, este também poderia ser indicado em programas de melhoramento para a seleção de linhagens com um maior potencial de armazenamento. Observa-se, por exemplo, que algumas linhagens apresentaram um potencial de armazenamento superior, como a linhagem 2. Em relação aos híbridos, as estimativas da heterose variaram de 1,9% (híbrido 1 x 2) a 22,3% (híbrido 5 x 3), mostrando o comportamento diferencial destes, em relação a este teste. Resultados semelhantes também foram observados por Odiemah (1991), em que a diferença na qualidade de sementes entre os híbridos foi devida em parte, à variação genética.

A emergência de plântulas híbridas foi estatisticamente superior à das plântulas das linhagens e, quanto ao índice de velocidade de emergência (IVE), foi observado que as sementes híbridas de milho emergiram em períodos mais curtos quando comparadas às sementes das linhagens (Tabela 4), ou seja, sementes híbridas apresentam uma maior velocidade de emergência no campo. Esses resultados concordam com aqueles obtidos por Szundy e Kovaks (1982) e Maryam e Jones (1983), que indicaram a superioridade da qualidade das sementes híbridas em relação às sementes de suas linhagens, quanto à velocidade de emergência.

TABELA 11. Resultados médios de vigor de sementes (%) de diferentes híbridos e linhagens de milho, obtidos pelo teste de envelhecimento artificial, e da heterose em relação à média dos pais (MP= 100%). UFLA, Lavras – MG, 1999.

Trat.	Env. artificial		Heterose (% M.P.)	Trat. Recíp.	Env. Artificial		Heterose (% M.P.)
	Média (%)				Média (%)		
1	90.0	c	-				
2	94.0	b	-				
3	78.0	e	-				
4	86.0	d	-				
5	81.0	e	-				
6	90.0	c	-				
1x2	94.0	b	101.9	2x1	97.0	a	105.7
1x3	93.0	c	111.0	3x1	98.0	a	116.3
1x4	90.0	c	102.5	4x1	99.0	a	112.8
1x5	94.0	b	110.0	5x1	97.0	a	114.1
1x6	99.0	a	110.2	6x1	98.0	a	108.6
2x3	92.0	c	106.4	3x2	96.0	a	111.6
2x4	97.0	a	107.2	4x2	97.0	a	107.2
2x5	94.0	b	107.1	5x2	96.0	a	110.0
2x6	98.0	a	106.5	6x2	95.0	b	103.3
3x4	94.0	b	114.6	4x3	97.0	a	117.7
3x5	84.0	d	105.3	5x3	97.0	a	122.3
3x6	96.0	b	113.7	6x3	91.0	c	107.7
4x5	94.0	b	112.2	5x4	97.0	a	116.4
4x6	95.0	b	108.0	6x4	96.0	b	108.5
5x6	97.0	a	113.1	6x5	95.0	b	110.7

Médias seguidas pela mesma letra nas duas colunas, não diferem entre si pelo teste de Scott e Knott a 5% de probabilidade

W. de A.
Mino e Inoue (1980; 1986; 1988; 1989; 1991) relatam que esta germinação mais rápida das sementes híbridas está associada as altas taxas de metabolismo de RNA, DNA, proteínas e lipídeos nos seus embriões. Os mesmos autores, estudando o metabolismo da glicose, mostraram que a rápida ativação da função metabólica no embrião, após o começo da absorção de água é devido ao genótipo heterótico do híbrido F_1 , e é um fator chave no mecanismo pelo qual o híbrido F_1 expressa esse vigor híbrido no processo de germinação. Nebiolo et al. (1983) também constataram vantagens das sementes híbridas na síntese de DNA e RNA em relação às suas linhagens parentais.

Em relação ao teste de emergência em canteiro (Tabela 12), houve uma pequena manifestação da heterose, sendo, em algumas situações, até mesmo negativa. A heterose para esta característica variou de $-11,5\%$ (híbrido 3 x 5) a $7,1\%$ (híbrido 3 x 6). Isso provavelmente tenha ocorrido porque o teste de emergência foi realizado em condições favoráveis para a germinação e desenvolvimento das plântulas, sendo que a expressão da heterose foi maior nos testes que proporcionaram maior estresse para a semente, como o teste de frio, ou nos que avaliaram o desenvolvimento inicial das plântulas, como o teste de crescimento de plântulas.

Quanto ao IVE (Tabela 13), as estimativas da heterose variaram de $-8,97\%$ (híbrido 2 x 6) a $-1,43\%$ (híbrido 4 x 1). A heterose manifesta-se na fase inicial de desenvolvimento das plântulas, como pode ser verificado neste trabalho, principalmente no teste de crescimento da parte aérea e radícula, onde foram observadas as maiores estimativas da heterose. No geral, foi verificado que o número médio de dias para a emergência das sementes foi alto (variando de 12,38 dias para a linhagem 6 a 10,95 para os híbridos 1 x 5 e 2 x 5), e possivelmente seja este o motivo da não ocorrência do efeito do recíproco para este teste.

TABELA 12. Resultados médios de vigor de sementes (%) de diferentes híbridos e linhagens de milho, obtidos pelo teste de emergência em canteiro, e da heterose em relação à média dos pais (MP = 100%). UFLA, Lavras-MG, 1999.

Trat.	Emerg. em canteiro		Trat.	Emerg. em canteiro	
	Média (%)	Heterose (% M.P.)		Recíp.	Média (%)
1	98.0	a	-	-	-
2	97.0	b	-	-	-
3	95.0	c	-	-	-
4	97.0	b	-	-	-
5	95.0	c	-	-	-
6	92.0	d	-	-	-
1x2	100.0	a	102.2	2x1	100.0 a 102.7
1x3	95.0	c	95.2	3x1	100.0 a 103.7
1x4	99.0	a	101.8	4x1	100.0 a 102.1
1x5	96.0	b	99.5	5x1	99.0 a 102.6
1x6	99.0	a	103.9	6x1	100.0 a 104.7
2x3	95.0	c	98.6	3x2	99.0 a 103.3
2x4	98.0	a	101.1	4x2	100.0 a 103.2
2x5	95.0	c	98.0	5x2	99.0 a 103.2
2x6	100.0	a	105.4	6x2	99.0 a 104.3
3x4	99.0	a	103.2	4x3	99.0 a 103.5
3x5	84.0	e	88.5	5x3	100.0 a 105.4
3x6	100.0	a	107.1	6x3	95.0 c 101.4
4x5	94.0	c	97.9	5x4	97.0 b 101.0
4x6	97.0	b	102.9	6x4	100.0 a 105.8
5x6	100.0	a	106.4	6x5	98.0 a 104.8

Médias seguidas pela mesma letra nas duas colunas, não diferem entre si pelo teste de Scott e Knott a 5% de probabilidade

TABELA 13. Resultados médios do índice de velocidade de emergência, de diferentes híbridos e linhagens de milho, e da heterose em relação à média dos pais (MP = 100%). UFLA, Lavras-MG, 1999.

Trat.	IVE			Trat. Recíp.	IVE		
	Média		Heterose (% M.P.)		Média		Heterose (% M.P.)
1	11.87	b	-				
2	12.37	a	-				
3	12.11	a	-				
4	11.95	b	-				
5	11.38	c	-				
6	12.38	a	-				
1x2	11.84	b	97.68	2x1	11.66	b	96.20
1x3	11.24	c	93.74	3x1	11.43	c	95.33
1x4	11.59	b	97.31	4x1	11.74	b	98.57
1x5	10.95	c	94.15	5x1	11.13	c	95.70
1x6	11.54	c	95.13	6x1	11.46	c	94.48
2x3	11.24	c	91.83	3x2	11.47	c	93.79
2x4	11.78	b	96.88	4x2	11.80	b	97.04
2x5	10.95	c	92.17	5x2	11.22	c	94.44
2x6	11.27	c	91.03	6x2	11.50	c	92.89
3x4	11.67	b	97.01	4x3	11.33	c	94.18
3x5	11.05	c	94.04	5x3	11.03	c	93.87
3x6	11.30	c	92.24	6x3	11.30	c	92.24
4x5	11.22	c	96.14	5x4	11.22	c	96.05
4x6	11.63	b	95.56	6x4	11.62	b	95.48
5x6	11.16	c	93.94	6x5	11.25	c	94.70

Médias seguidas pela mesma letra nas duas colunas, não diferem entre si pelo teste de Scott e Knott a 5% de probabilidade

4.2 Análise da capacidade de combinação

Os quadrados médios para a capacidade geral (CGC) e específica (CEC) de combinação e dos efeitos recíprocos (ER), resultantes do desdobramento das somas de quadrados de tratamentos, bem como os componentes quadráticos para cada teste, encontram-se na Tabela 14.

Os efeitos da CGC, CEC e ER foram significativos a 1% de probabilidade, para todos os testes, exceto para o efeito recíproco para o índice de velocidade de emergência. A significância para a CGC e a CEC indicam a existência de variabilidade entre os efeitos da CGC (G_i), associados a efeitos gênicos aditivos, e entre os efeitos da CEC (S_{ij}), associados a efeitos não aditivos. A significância dos quadrados médios dos E.R. indica a existência de diferenças significativas entre os híbridos recíprocos.

Os componentes quadráticos devidos aos efeitos da CGC e CEC apresentaram magnitudes semelhantes para o teste de condutividade elétrica. Para os demais testes, os componentes quadráticos associados à CEC foram maiores do que aqueles associados à CGC, evidenciando a maior importância dos efeitos não aditivos em relação aos demais. Os componentes quadráticos devidos aos efeitos recíprocos mostraram-se quase sempre inferiores a aqueles devidos aos efeitos da CEC. Esses resultados concordam com os obtidos por Rahman et al. (1994) e McConnel e Gardner (1979), que observaram maiores magnitudes para os genes de efeito dominante ao estudarem o padrão de herança para características da radículas de plântulas de milho. No entanto, esses resultados discordam daqueles obtidos por Odiemah (1989), que estudou a herança quantitativa da qualidade de sementes de milho e observou que a herança desse carácter foi devida, principalmente, aos genes de efeito aditivos e parcialmente devido aos genes de efeito não aditivos. Barla-Szabo et al. (1989) investigaram a determinação genética do vigor de sementes e verificaram maior importância dos genes de efeito aditivos.

TABELA 14. Quadrados médios das capacidades geral e específica de combinação e dos efeitos recíprocos e estimativas dos componentes quadráticos para os testes de germinação (GERM), índice de velocidade de germinação (IVG), comprimento de parte aérea (CPPA) e raiz (PPR), condutividade elétrica (CE), teste de frio (TF), testes de envelhecimento artificial (EA), emergência em canteiro (EC) e índice de velocidade de emergência (IVE). UFLA, Lavras-MG, 1999.

F.V.	GL	Q.M.								
		GERM	IVG	CPPA	PPR	CE	TF	EA	EC	IVE
Tratamentos	35	35.47**	0.44**	3.34**	2.79**	21.91**	269.25**	96.40**	40.41**	0.52**
C.G.C.	5	21.96**	0.15**	4.78**	9.37**	43.85**	86.83**	142.32**	53.27**	1.47**
C.E.C.	15	36.04**	0.90**	4.92**	23.54**	3.77**	562.30**	125.02**	23.84**	0.67**
Ef. Recíproco	15	39.40**	0.09**	1.29**	3.19**	32.74**	37.01**	52.46**	52.01**	0.06
Resíduo	108	3.61	0.02	0.23	0.48	0.60	2.60	6.98	1.51	0.07
$\phi_g = QMG - QMR/2p$		1.53	0.01	0.38	0.74	3.60	7.02	11.27	4.48	0.11
$\phi_s = QMS - QMR$		32.43	0.88	4.69	23.06	3.17	559.70	118.04	22.33	-0.60
$\phi_{rc} = QMRC - QMR/2$		17.90	0.04	0.53	1.36	16.07	17.20	22.74	25.25	-0.01

4.2.1 Estimativas dos efeitos de capacidade geral de combinação

As estimativas dos efeitos da CGC (G_i) das linhagens e o desvio padrão da diferença entre as estimativas de duas linhagens encontram-se na Tabela 15. Considerou-se a existência de diferença entre os efeitos de duas linhagens quando a mesma superou, em pelo menos duas vezes, o desvio padrão.

As estimativas dos G_i variaram entre as linhagens e entre os testes empregados. Este fato pode ser explicado pela diferença entre os princípios dos testes utilizados, fazendo com que as linhagens se comportassem de maneira diferente nos testes empregados.

Para o teste de germinação, a amplitude de variação dos G_i foi de 3.98 vezes o desvio padrão da diferença entre duas linhagens, evidenciando a existência de diferenças entre os efeitos de CGC das linhagens. Baixo valor de G_i indica que a média dos híbridos em que a linhagem i participa não difere da média geral do dialelo. Alto valor, positivo ou negativo, que no teste de germinação foi apresentado pelas linhagens UFLA 1 e UFLA 5, respectivamente, indica que a linhagem UFLA 1 é melhor e a UFLA 5 é pior que as demais linhagens incluídas no dialelo, em relação à média de seus híbridos para o referido teste. Deste modo, as linhagens UFLA 1 e UFLA 5 foram as que mais contribuíram, respectivamente, para aumentar e reduzir a porcentagem de germinação dos híbridos.

As estimativas dos efeitos de CGC, para os testes de crescimento de plântulas (parte aérea e radícula) e para o índice de velocidade de germinação, apresentaram amplitudes de variação de 9,59, 8,51 e 9,62 vezes o desvio padrão, respectivamente, mostrando que há diferenças entre os efeitos de CGC das linhagens. Para os três testes, a linhagem UFLA 3 se destacou por apresentar as maiores estimativas para os teste de crescimento de plântulas (parte aérea e radícula) e menor estimativa para o IVG, contribuindo, assim, para a redução no período de germinação.

TABELA 15 – Estimativas dos efeitos de capacidade geral de combinação(G_i) e desvio padrão (DP) da diferença entre duas linhagens para os os testes de germinação (GERM), índice de velocidade de germinação(IVG), comprimento de parte aérea (CPPA) e raiz (CPR), condutividade elétrica (CE), teste de frio (TF), testes de envelhecimento artificial (EA), emergência em canteiro (EC) e índice de velocidade de emergência (IVE). UFLA, Lavras-MG, 1999.

	GERM	IVG	CPPA	CPR	CE	TF	EA	EC	IVE
	G_i	G_i	G_i	G_i	G_i	G_i	G_i	G_i	G_i
UFLA 1	0.70	0.15	0.17	0.13	0.12	-0.87	1,14	1,16	0,04
UFLA 2	0.49	0.05	-0.47	0.10	-0.56	-0.76	1,60	0,60	0,13
UFLA 3	-0.34	-0.10	0.47	0.37	0.52	-1.83	-2,61	-1,13	-0,05
UFLA 4	-0.61	-0.02	0.06	-0.11	-0.90	1.19	0,26	0,74	0,13
UFLA 5	-0.84	0.05	-0.11	-0.83	1.60	0.69	-1,61	-1,49	-0,33
UFLA 6	0.60	0.01	-0.12	0.34	-0.78	1.57	1,22	0,12	0,08
DP(G_i-G_j)	0.388	0.026	0.098	0.141	0.158	0.329	0.539	0.251	0.055

O teste de condutividade elétrica foi o que apresentou maior variabilidade para os efeitos de CGC, com amplitude de 15,82 vezes o desvio padrão. A linhagem UFLA 4 foi a que apresentou menor G_i . Apresentará maior G_i a linhagem que possuir maiores freqüências de alelos favoráveis para a característica em questão (Cruz e Vencovsky, 1989). As linhagens UFLA 2 e UFLA 6 também apresentaram G_{\pm} negativos, contribuindo também para a redução na condutividade elétrica. A linhagem UFLA 5 apresentou a maior estimativa positiva.

Como discutido anteriormente, foi observada uma correlação da enzima esterase com os resultados da condutividade elétrica na verificação da qualidade fisiológica das sementes das linhagens e híbridos de milho testados. As estimativas dos G_{\pm} obtidas também apresentaram uma correlação com esta enzima, sugerindo que as linhagens parentais de um híbrido influenciam na constituição do sistema de membranas das sementes híbridas e conseqüentemente na diminuição mais rápida ou mais lenta da viabilidade das sementes durante o armazenamento.

A amplitude de variação dos G_{\pm} , para o teste de frio, foi de 10,33 vezes o desvio padrão. A linhagem UFLA 6 destacou-se por apresentar a maior estimativa de G_i , colaborando para uma maior tolerância às baixas temperaturas. As linhagens UFLA 1, 2 e 3 apresentaram estimativas negativas.

Para o teste de envelhecimento artificial, a amplitude de variação foi de 7,81 vezes o desvio padrão. As linhagens UFLA 1, 2, 4 e 6 apresentaram estimativas positivas e as linhagens UFLA 3 e 5, negativas, sendo que a linhagem UFLA 2 se destacou, apresentando o maior valor de G_i .

A estimativa dos G_{\pm} para o teste de emergência no canteiro apresentou amplitude de variação de 10,56 vezes o desvio padrão. Para este teste a linhagem UFLA 1 foi a que apresentou a maior estimativa, e as linhagens UFLA 3 e 5 apresentaram estimativas negativas.

A amplitude de variação, para o índice de velocidade de emergência, foi de 8,36 vezes o desvio padrão. Assim como o IVG, as menores estimativas são interessantes por contribuírem para redução do período de germinação. A linhagem UFLA 5 se destacou por apresentar a menor estimativa

Analisando os resultados, foi verificado que todas as linhagens sobressaíram em pelo menos um teste, no entanto, a linhagem UFLA 6 destacou-se por apresentar altas estimativas de G_1 para os testes de germinação, crescimento de radícula, condutividade elétrica, teste de frio e envelhecimento artificial, sendo que, nos demais testes, as estimativas, quando não foram favoráveis, foram de baixa magnitude.

Apesar da maior importância da CEC, que corresponde aos efeitos de dominância, a CGC, que corresponde aos efeitos aditivos, também foi significativa. Odiemah (1989) estudou a herança quantitativa da qualidade de sementes de milho e observou que a herança desse carácter foi devida, principalmente, aos genes de efeito aditivos, e parcialmente devida aos genes de efeito não aditivos. Barla-Szabo et al. (1989) investigaram a determinação genética do vigor de sementes e verificaram maior importância dos genes de efeito aditivos. Assim, a linhagem UFLA 6 pode ser um material promissor na obtenção de híbridos com sementes de qualidade fisiológica superior.

4.2.2 Estimativas dos efeitos da capacidade específica de combinação (S_{ij})

O efeito S_{ij} é interpretado como sendo o desvio de um híbrido em relação ao que seria esperado com base nas capacidades gerais de combinação de suas linhagens genitoras. Os maiores valores são para as linhagens mais divergentes nas frequências dos genes com dominância, embora sejam também influenciados pela frequência gênica média do dialelo (Vencovsky, 1970). As estimativas dos

efeitos da C.E.C. (S_{ij}) dos híbridos e o desvio padrão da diferença entre as estimativas de dois híbridos encontram-se na Tabela 16.

Em relação ao teste de germinação, foi verificada uma amplitude de variação de 6,57 vezes o desvio padrão, destacando-se o híbrido UFLA 1 x UFLA 5. Na tabela 5, a combinação da linhagem UFLA 5 que aparece como parental masculino, com a linhagem UFLA 1, como parental feminino, também apresentou valores significativos de heterose para essa característica.

Para o teste de crescimento de plântulas (parte aérea e radícula), a amplitude de variação foi de 6,47 e 6,92 vezes o desvio padrão, respectivamente. Os híbridos UFLA 2 x UFLA 5 e UFLA 5 x UFLA 6 foram os que apresentaram a maior S_{ij} para o crescimento da parte aérea e radícula, respectivamente, sendo que este último destacou-se também pelas melhores estimativas para o teste de condutividade elétrica (amplitude de variação de 6,71 vezes o desvio padrão) e emergência em canteiro (amplitude de variação de 9,80 vezes o desvio padrão).

O híbrido UFLA 1 x UFLA 4 apresentou o menor S_{ij} para o índice de velocidade germinação. Como comentado anteriormente, para a capacidade geral de combinação, para os testes de condutividade elétrica, IVG e IVE, quanto menor a estimativa, melhor é o material. A amplitude de variação para o IVG foi de 6,61 vezes o desvio-padrão.

Para o teste de frio, o híbrido UFLA 1 x UFLA 2 apresentou a maior estimativa de S_{ij} . Foi encontrada, nesse teste, a maior amplitude de variação, que foi de 17,66 vezes o desvio padrão.

Quanto ao teste de envelhecimento artificial e IVE, foram verificadas pequenas amplitudes de variação, de 4,21 e 3,23 vezes o desvio padrão, respectivamente. Neste caso, sobressairam os híbridos UFLA 3 x UFLA 4, para o teste de envelhecimento artificial, e o híbrido UFLA 2 x UFLA 6, para o IVE.

Tabela 16. Estimativas dos efeitos da capacidade específica de combinação (S_{ij}) e dos desvios padrão (DP) das diferenças entre efeitos de dois híbridos, para os os testes de germinação (GERM), índice de velocidade de germinação (IVG), comprimento de parte aérea (CPA) e raiz (CPR), condutividade elétrica (CE), teste de frio (TF), testes de envelhecimento artificial (EA), emergência em canteiro (EC) e índice de velocidade de emergência (IVE). UFLA, Lavras-MG, 1999.

	GERM	IVG	CPA	CPR	CE	TF	EA	EC	IVE
(1 x 2)	-0.64	-0.02	0.09	0.46	-0.51	6.87	-1,01	0,63	0,09
(1 x 3)	1.82	-0.16	0.65	1.39	-0.55	4.18	3,15	-0,01	-0,14
(1 x 4)	-0.53	-0.29	0.33	1.14	-0.93	3.41	-0,43	0,11	0,00
(1 x 5)	2.69	-0.26	-0.05	0.59	0.55	3.66	2,19	0,47	-0,16
(1 x 6)	2.13	-0.22	0.30	0.77	-0.01	4.28	2,36	0,49	-0,10
(2 x 3)	0.40	-0.12	0.11	0.27	-0.18	5.70	1,24	-0,08	-0,22
(2 x 4)	1.67	-0.25	0.02	0.53	-0.17	2.68	1,11	0,30	0,03
(2 x 5)	0.28	-0.24	0.97	1.40	0.63	4.81	1,24	0,03	-0,21
(2 x 6)	0.09	0.10	0.57	1.35	-0.19	3.06	0,15	0,92	-0,31
(3 x 4)	1.76	-0.09	0.80	0.86	-0.35	3.74	4,07	2,15	-0,07
(3 x 5)	-3.01	0.07	-0.22	-0.57	0.37	-6.13	0,94	-2,74	-0,07
(3 x 6)	0.92	-0.15	-0.44	-0.17	-0.05	3.99	0,86	1,03	-0,22
(4 x 5)	0.76	0.04	-0.24	-0.36	-0.08	1.60	3,07	-1,12	-0,08
(4 x 6)	-0.06	-0.07	0.22	0.08	1.02	0.35	0,24	0,40	-0,08
(5 x 6)	0.92	-0.21	0.88	1.61	-1.35	3.35	2,63	2,76	-0,03
D.P. (S_{ij}-S_{ik})	0.8677	0.059	0.218	0.315	0.353	0.736	1.206	0.561	0.124

Para os efeitos da capacidade específica de combinação, o híbrido UFLA 3 x UFLA 5 apresentou baixas estimativas em todos os testes, principalmente nos testes de germinação, crescimento de radícula, teste de frio e emergência no canteiro. Por outro lado, o híbrido 5 x 6 destacou-se por apresentar as melhores estimativas no comprimento de radícula nos testes de condutividade elétrica e emergência em canteiro, e pelo bom desempenho nos demais testes. Destacou-se, também, o híbrido 1 x 2, pela sua performance no teste de frio. Esses resultados corroboram os encontrados por Rahman et al. (1994) e McConnel e Gardner (1979). Os autores observaram maiores magnitudes para os genes de efeito dominante ao estudar o padrão de herança para características da radículas de plântulas de milho. Isso indica que em programas de melhoramento de milho, a seleção de cultivares com sementes de alta qualidade deve ser preferencialmente realizada através de avaliações nas sementes híbridas.

4.2.3 Estimativas dos Efeitos Recíprocos (R_{ij})

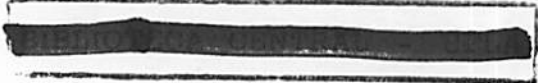
As estimativas dos efeitos recíprocos (R_{ij}) e os seus respectivos desvios padrão encontram-se na Tabela 17.

O efeito R_{ij} refere-se à diferença entre o híbrido X_{ij} , em que i entra como genitor feminino e j como genitor masculino, e o híbrido X_{ji} , em que j entra como genitor feminino e i como genitor masculino.

Os efeitos da capacidade específica de combinação, apesar de serem úteis na indicação das melhores combinações híbridas, não evidenciam se o comportamento dos híbridos, ora utilizando os parentais como fêmea ou como macho, apresentarão variação para a característica em questão.

Tabela 17. Estimativas dos efeitos recíprocos (R_{ij}) e de seus desvios padrão (DP), para os os testes de germinação (GERM), índice de velocidade de germinação(IVG), comprimento de parte aérea (CPPA) e raiz (CPR), condutividade elétrica (CE), teste de frio (TF), testes de envelhecimento artificial (EA), emergência em canteiro (EC) e índice de velocidade de emergência. (IVE). UFLA, Lavras-MG, 1999.

	GERM	IVG	CPPA	CPR	CE	TF	EA	EC	IVE
(2 x 1)	-2.63	0.28	-0.38	-0.61	1.23	-0.13	-1,75	-0,25	0,09
(3 x 1)	-1.75	-0.04	-0.25	0.12	2.16	-3.38	-2,25	-2,65	-0,10
(4 x 1)	-3.63	0.06	-0.73	-1.77	1.04	-2.88	-4,50	-0,13	-0,08
(5 x 1)	-1.38	0.00	-0.25	0.06	3.87	1.38	-1,75	-1,50	-0,09
(6 x 1)	-0.50	-0.06	0.25	-0.40	-1.29	-0.13	0,75	-0,38	0,04
(3 x 2)	-2.63	-0.08	0.39	0.22	1.32	-3.00	-2,25	-2,25	-0,12
(4 x 2)	-0.38	-0.05	-0.19	-0.81	-0.45	-0.25	0,00	-1,00	-0,10
(5 x 2)	-2.00	0.11	0.29	-0.28	2.94	-1.88	-1,25	-2,50	-0,14
(6 x 2)	2.00	-0.08	0.82	0.50	0.16	-1.00	1,50	0,50	-0,12
(4 x 3)	-1.88	0.11	-0.30	-0.30	-1.39	0.25	-1,25	-0,13	0,17
(5 x 3)	-4.63	-0.08	-0.29	-0.83	2.24	-2.63	-6,75	-8,00	0,01
(6 x 3)	2.00	-0.01	-0.09	-0.14	-2.65	4.38	2,50	2,63	0,00
(5 x 4)	-1.38	0.07	0.45	0.63	2.56	-2.63	-1,75	-1,50	0,01
(6 x 4)	-1.50	-0.18	0.37	0.29	0.72	-1.00	-0,25	-1,38	0,01
(6 x 5)	0.75	-0.01	0.29	0.04	-2.41	-0.50	1,00	0,75	-0,05
D.P. (R_{ij}-SkI)	0.950	0.064	0.239	0.345	0.387	0.806	1.321	0.614	0.136



Para fazer tal inferência, utilizam-se as estimativas dos efeitos recíprocos. Assim, se considerarmos, por exemplo, o híbrido UFLA 5 x UFLA 6, que destacou-se na capacidade específica de combinação, a linhagem UFLA 5 deverá ser utilizada como macho e a linhagem UFLA 6 como fêmea, de acordo com as estimativas obtidas na maioria dos testes, exceto para o teste de frio.

4.3 Correlação

Na Tabela 18, estão apresentadas as estimativas dos coeficientes de correlação genotípica, entre os nove testes utilizados. Nestas estimativas, 58% foram de alta magnitude, ou seja, superiores a 0,50.

Para o teste de germinação, foi verificada uma alta correlação genética com o teste de envelhecimento artificial ($r_G = 0,861^{**}$) e emergência em canteiro ($r_G = 0,778^{**}$). Os testes de envelhecimento artificial e emergência em canteiro são testes que avaliam o vigor das sementes, sendo que o primeiro simula a deterioração das sementes durante o armazenamento e o segundo simula as condições de um plantio no campo. O teste de germinação também é utilizado para a avaliação da qualidade fisiológica das sementes de milho. No entanto, não oferece indicação segura do desempenho da semente, nas condições de campo, por propiciar condições ótimas às sementes e, com isso, permitir que sementes com avançado grau de deterioração originem plântulas consideradas como "normais". As altas magnitudes das correlações, provavelmente se devem ao fato de que as sementes, por terem sido colhidas e beneficiadas em condições especiais, apresentaram-se na maioria dos tratamentos, com alto vigor, assim, o estresse causado pelos dois testes não foi suficiente para separar tratamentos mais vigorosos.

TABELA 18. Estimativa dos coeficientes de correlação genotípica (r_G) entre os testes de germinação (GERM), índice de velocidade de germinação (IVG), comprimento de parte aérea (CPA) e raiz (CPR), condutividade elétrica (CE), teste de frio (TF), testes de envelhecimento artificial (EA), emergência em canteiro (EC) e índice de velocidade de emergência (IVE), para o conjunto de trinta e seis tratamentos componentes do dialelo. UFLA, Lavras-MG, 1999.

	CPA	CPR	CE	TF	IVG	EA	EC	IVE
GERM	0,457**	0,690**	-0,559**	0,637**	-0,572**	0,861**	0,778**	-0,207
CPA		0,821**	-0,067	0,593**	-0,753**	0,426**	0,254	0,578**
CPR			-0,271	0,783**	-0,838**	0,665**	0,439**	-0,419*
CE				-0,290	0,157	-0,546**	-0,667**	-0,382*
TF					-0,774**	0,644**	0,455**	-0,573**
IVG						-0,561**	-0,208	0,553**
EA							0,684**	-0,252
EC								0,089

* Significativo ao nível de 5% de probabilidade pelo teste F.

** Significativo ao nível de 1% de probabilidade pelo teste F.

As altas magnitudes das correlações negativas entre o Índice de velocidade de germinação (IVG) com o crescimento da parte aérea (-0,753**) e com o crescimento da radícula (-0,838**) já eram esperados, pois o IVG foi baseado no tamanho das plântulas. Assim, quanto mais rápido elas alcançavam um tamanho mínimo de parte aérea e radícula simultaneamente, as sementes eram consideradas como germinadas, contribuindo para redução do IVG.

Ocorreram, também, altas magnitudes para a correlação entre o crescimento da parte aérea e o crescimento da radícula (0,821**). A correlação entre esses dois testes e de ambos com o IVG pode possibilitar uma indicação na redução no número de testes, no caso de experimentos com sementes de milho, economizando tempo e material.

O teste de frio apresentou uma correlação genotípica de alta magnitude com o crescimento da radícula (0,783**) e com o índice de velocidade de germinação (-0,774**). O teste de frio combina baixa temperatura com alta umidade e é utilizado para permitir apenas a sobrevivência das sementes vigorosas, uma vez que as condições utilizadas podem reduzir a velocidade de germinação e favorecer o desenvolvimento de microrganismos prejudiciais (Marcos Filho et al., 1987). Em programas de melhoramento de milho, o teste de frio tem se mostrado eficiente para a seleção de linhagens e híbridos tolerantes às condições de baixa temperatura (Maryam e Jones, 1983; Hope et al. 1992). Assim, esses resultados mostram que a tolerância ao frio pode estar ligada ao maior crescimento da radícula e à maior velocidade de germinação e, portanto, podem ser utilizados como critérios de seleção nos programas de melhoramento que visam materiais tolerantes à frio na fase de germinação e emergência.

5 CONCLUSÕES

Os resultados obtidos no presente trabalho permitiram concluir que:

Sementes híbridas de milho apresentam qualidade fisiológica superior quando comparadas à das linhagens, evidenciando a expressão da heterose na qualidade fisiológica de sementes;

A magnitude dos componentes quadráticos evidencia a maior importância da capacidade específica de combinação, ou seja, dos efeitos não aditivos no controle genético da qualidade fisiológica de sementes de milho;

Em programas de desenvolvimento de híbridos, a avaliação da qualidade fisiológica das sementes das linhagens e dos seus respectivos híbridos deve ser levada em consideração como uma característica de seleção.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALFENAS, A.C. Eletroforese de proteínas e isoenzimas de fungos e florestais. Viçosa: UFV, 1991. 242p.
- ALLARD, R. W. Princípios do melhoramento genético de plantas. São Paulo: E. Blucher, 1971. 381p.
- ASHBY, E. Studies in the inheritance of physiological characters: a physiological investigation of the nature of hybrid vigour in maize. *Annals of Botany*, v.44, p.457-469, 1930.
- BARLA-SZABO, J.; BOCSI, J.; DOLINKA, B. et al. Diallel analysis of seed vigour in maize. *Seed Science and Technology*, Zurich, v.18, p.721-729, 1989.
- BASAVARAJAPPA, B.S.; SHETTY, H.S.; PRAKASH, H.S. Membrane deterioration and other biochemical changes, associated with accelerated ageing of maize seeds. *Seed Science and Technology*, Zurich, v.19, n.3, p.279-286, 1991.
- BDLIYA, P.M.; BURRIS, J.S. Diallel analysis tolerance of drying injury in seed corn. *Crop Science*, Madison, v.28, n.6, p.935-938, Nov./Dec. 1988.
- BEWLEY, J.D.; BLACK, M. *Seeds: physiology of development and germination*. New York: Plenum Press, 1985. 367p.
- BILIA, D.A.C. Comportamento de sementes de milho híbrido precoce e normal durante o armazenamento. Piracicaba: ESALQ, 1992. 96p. (Dissertação – Mestrado em Fitotecnia).
- BONDE, M.R.; MICALES, J.A.; PETERSON, G.L. The use of isozyme analysis for identification of plant – pathogenic fungi. *Plant Disease*, St. Paul, v.77, n.10, p. 561-568, Oct. 1993.
- BRANDÃO JÚNIOR, D.E. Eletroforese de proteína e isoenzima na avaliação da qualidade de sementes de milho. Lavras: UFLA, 1996. 110p. (Dissertação-Mestrado em Fitotecnia).

- BRASIL, Ministério da Agricultura. Secretaria Nacional de Defesa Agropecuária. Regras para Análise de Sementes. Brasília, 1992. 365p.**
- BRINK, D. E.; PRICE, S. C.; NUGYEN, H. et al. Genetic purity assessment of commercial single cross maize hybrids: Isoelectric focusing of zeins. Seed Science and Technology, Zurich, v.17, n.1, p.91-98, 1989.**
- BRUCE, A.B. The Mendelian theory of heredity and the augmentation of vigor. Science, v.32, p.627-628, 1910.**
- BRUGGINK, H.; KRAAK, H. L.; DIKEMA, M. H. G. E. et al. Some factors influencing electrolyte leakage from maize (*Zea mays* L.) Kernels. Seed Science Research, Wallingford, v.1, n.1, p.15-20, 1991.**
- BURRIS, J.S. Effect of location and maternal parentage on seedling vigour in hibrid maize (*Zea mays*). Seed Science and Technology, Zurich, v.5, n.4, p.703-708, 1977.**
- CAUSSE, M.; ROCHER, J.P.; PELLESCI, S. et al. Sucrose phosphate synthase: na enzyme with heterotic activity correlated with maize growth. Crop Science, Madison, v.35, n.4, p.995-1001, July/Aug. 1995.**
- CHAUHAN, K.P.S.; GOPINATHAN, M.C.; BABU, C.R. Electrophoretic variations of proteins and enzymes in relation to seed quality. Seed Science and Tecnology, Zurich, v.13, n.3, p.629-641, 1985.**
- CRUZ, C.D.; REGAZZI, A.J. Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético. Viçosa: UFV, 1994. 390p.**
- CRUZ, C.D.; VENCOSKY, R. Comparação de alguns métodos de análise dialélica. Revista Brasileira de Genética, Viçosa, v.12, n.2, p.425-438, 1989.**
- DAVENPORT, C.G. Degeneration, albinism and inbreeding. Science, v.28, p.454-455, 1908.**
- DIAS, M.C.L.de; BARROS, A.S.do R. Avaliação da qualidade de sementes de milho. Londrina: IAPAR, 1995. 41p. (Circular, 88)**
- DROCHIOIU, G.; CRISTEA, M.; STRAJERU, S. Catalase activity of maize seeds in the process of forced aging. Cercetari Agronomice in Moldova, Suceava, v.26, n.1, p.19-25, 1993.**

- EAGLES, H. A.; HARDACRE, A. R.** Genetic variation in maize (*Zea mays* L.) for germination and emergence at 100C. *Euphytica*, Wageningen, v.28, n.2, p.287-295, June 1978.
- EAST, E.M.** Theoretical relations among single, three-way and double crss hybrids. *Biometrics*, v.20, p.522-539, 1964.
- EDMOND, J.B.; DRAPALA, W.S.** The effects of temperature, sand and acetone on germination of okra seed. *Proceedings of the American Society for Horticultural Science*, New York, v.71, p.428-434, 1958.
- ENDO, T; SCHWARTZ, D.** Tissue specific variations in the urea sensitivity of the E1, esterase in maize. *Genetics*, Princeton, v.54, p.233-238, 1966.
- FAKOREDE, M. A. B.; AGBANA, S. B.** Heterotic effects and association of seedling vigor with mature plant characteristics and grain yield in some tropical maize cultivars. *Maydica*, Bergamo, v.28, p.327-338, 1983.
- FALCONER, D.S.** *Introduction to quantitative genetics*. 2.ed. London: Longman, 1981. 340p.
- FERREIRA FILHO, J.B.S.; PERES, F.C.** A produção de sementes de milho no Estado de São Paulo: Setor Público x Setor Privado. *Revista Brasileira de Sementes*, Brasília, v.10, n.3, p.91-109, 1988.
- FISHER, S.R.** *A Statistical methods for research workers*. London: Longman, 1970. 211p.
- FRATIN, P.** Comparação entre métodos para avaliação da qualidade fisiológica de sementes de milho (*Zea mays* L.). Piracicaba: ESALQ, 1987. 191p. (Tese - Mestrado em Fitotecnia).
- GARDNER, C.O.; EBERHART, S.A.** Analysis and interpretation of the variety cross diallel and related populations. *Biometrics*, Washington, v.22, n.2, p. 439-452, 1966.
- GRIFFING, B.** Concept of general and specific combining ability in relation to diallel crossing systems. *Australian Journal of Biological Sciences*. Melbourne, v.9, p. 462-493, 1956.
- HAGEMAN, R. H.; LENG, E. R.; DUDLEY, J. W.** A biochemical approach to corn breeding. *Advances in Agronomy*, New York, v.19, p.45-85, 1967.

- HALLAUER, A. R.; MIRANDA FILHO, J. B.** Heterosis. In: **HALLAUER, A. R.; MIRANDA FILHO, J. B.** **Quantitative genetics in maize breeding.** Ames: Iowa State University Press, 1981. p.337-373.
- HAYES, H.K.; JOHNSON, L.J.** The breeding of selfed lines of corn. **Journal of the American Society of Agronomy, Madison, v. 31, n.3, p. 710-724, 1939.**
- HAYMAN, B.** The theory and analysis of diallel crosses . **Genetics, Princeton, v. 39, n.3, p. 789-809, 1954.**
- HERTER, V.; BURRIS, J. S.** Evaluating drying injury on corn seed with a conductivity test. **Seed Science and Technology, Zurich, v.17, n.2, p.625-638, 1989.**
- HINKELMANN, K.** Diallel and multi-cross designs; what do they achieve. In: **INTERNATIONAL CONFERENCE ON QUANTITATIVE GENETICS, 1976, Ames. Proceedings... Ames, IOWA State University Press, 1977. p. 659-676.**
- HOPE, H. J.; WHITE, R. P.; DWYER, L. M. et al.** Low temperature emergence potential of short season corn hybrids grown under controlled environment and plot conditions. **Canadian Journal of Plant Science, Ottawa, v.72, n.1, p.83-91, 1992.**
- INTERNATIONAL SEED TESTING ASSOCIATION.** Rules for seed testing. Switzerland, 1996. 323 p.
- JENG, T.L.; SUNG, J.M.** Hydration effect on lipid peroxidation and peroxide scavenging enzymes activity of artificially aged peanut seed. **Seed Science and Technology, Zurich, v.22, n.3, p.531-539, 1994.**
- KEEBLE, F.; PELLEW, C.** The mode of inheritance of stature and time of flowering in peas. **Genetics, Princeton, v.1, p. 47-56, 1910.**
- KEMPTHORNE, O.** An introduction to genetic statistics. Ames, Iowa State University Press, 1969. 549p.
- KEMPTHORNE, O.** The theory of the diallel cross. **Genetics, Princeton, v.41, p. 451-453, 1956.**

- LIN, S.S. Efeito do período de armazenamento na lixiviação eletrolítica dos solutos celulares e qualidade fisiológica de sementes de milho (*Zea mays* L.) e feijão (*Phaseolus vulgaris* L.), *Revista Brasileira de Sementes*, Brasília, v.10, n.3, p.59-67, 1988.
- MANDARINO, J.M.G.; VIDAURE, T.J.C. Técnicas eletroforéticas. Londrina: EMBRAPA-CNPSo, 1995. 34p. (Documento, 86).
- MARCOS FILHO, J.; CÍCERO, S.M.; SILVA, W.R. da. Avaliação da qualidade das sementes. Piracicaba: ESALQ, 1987. 230p.
- MARKERT, C.L.; MOLLER, F. Multiple forms of enzymes; tissue; ontogenetic, and species specific patterns. *Proceedings of the National Academy Sciences USA*, Washington, v.45, p 453-463, 1959.
- MARYAM, B.; JONES, D.A. The genetics of maize (*Zea mays* L.) growing at low temperatures. Germination of inbred lines and their F₁s. *Euphytica*, Wageningen, v.32, n.3, p.535-542, 1983.
- McCONNEL, R.L.; GARDNER, C.O. Inheritance of cold tolerance traits in corn. *Crop Science*, Madison, v.19, n.4, p.847-852, Nov./Dec. 1979.
- McDANIEL, R.G. Biochemical and physiological basis of heterosis. *Critical Reviews of Plant Science*. v.30, p. 227-246, 1986.
- McDONALD Jr., M.B. Assessment of seed quality. *Hort Science*, Alexandria, v.15, n.6, p.784-788, 1980.
- MINO, M. Hybrid vigor in some characters of maize seedlings. *Japan Journal Breeding*, v.30, n.1, p.131-138, 1980.
- MINO, M.; INOUE, M. Analysis of glucose metabolism in the heterotic viability in seedling growth of maize F₁ hybrid. *Japan Journal Crop Science*, v.63, n.4, 682-688, 1994.
- MINO, M.; INOUE, M. DNA synthesis and nuclease activity during germination of a heterotic F₁ hybrid of maize. *Canadian Journal Botany* v.67, n.1, p.73-75, 1989.
- MINO, M.; INOUE, M. Heterotic viability under the treatment of cycloheximide and 6-methylpurine in germinating maize kernels. *Japan Journal Breeding*, v.36, p.240-247, 1986.

- MINO, M.; INOUE, M.** Hybrid vigor in relation to lipid and protein metabolism in germinating maize kernels. *Japan Journal Breeding*, v.38, p.428-436, 1988.
- MINO, M.; INOUE, M.** RNA and protein synthesis during germination process of F1 hybrid and its parental inbred lines of maize. *Plant Science Letters* v.20, p.7-13, 1980.
- MIRANDA FILHO, J.B.; VIEGAS, G.P.** Milho híbrido. In: **PATERNIANI, E.; VIEGAS, G.P.** Melhoramento e produção do milho. 2 ed. Campinas: Fundação Cargill, 1987. v.1, p.277-340.
- NEBIOLO, C.M.; KACZAMARCZYK, W.J.; ULRICH, V.** Manifestation of hybrid vigor in RNA synthesis parameters by corn seedling protoplasts in the presence and absence of gibberelic acid. *Plant Science Letters*, v.28, p.195-206, 1983.
- NKANG, A.** Some aspects of the biochemical basis of viability of loss in stored gukfoylia monostylis seeds. *Seed Science and Technology*, Zurich, v.16, n.2 p.247-260, 1988.
- ODIEMAH, M.** Quantitative inheritance of seed quality characteristics in maize (*Zea mays* L.). *Cereal Research Communications*, v.17, n.1, p.245-251, 1989.
- ODIEMAH, M.** Relation of seed testing traits to grain yield of maize hybrids under different environments. *Seed Science & Technology*, Zurich, v.19, n.1, p.25-32, 1991.
- PALEG, L.G.** Physiological effects of gibberellins. *Annual Review of Plant Physiology*, Palo Alto, v.16, p.291-322, 1965.
- PESEY, N.V.** Genetic factors affecting maize tolerance to low temperatures at emergence and germination. *Theoretical and Applied Genetics*, Berlin, v.40, n.8, p.350-356, 1970.
- POPINIGIS, F.** Fisiologia da semente. Brasília: Ministério da Agricultura/AGIPLAN, 1985. 289p.
- RAHMAN, H.; WICKS, Z.W.; SWATI, M.S. et al.** Generation mean analysis of seedling root characteristics in maize (*Zea mays* L.). *Maydica*, Bergamo, v.39, n.1, p.177-181, 1994.

- RAJAGOPAL, A.S.M.; SEM-MANDI, S.** Studies on acid and alkaline phosphatases in aged rice embryos. *Seed Science and Technology*, Zurich, v.20, n.2, p. 211-222, 1992.
- ROCHA, V; TING, I.P.** Tissue distribution of microbody, mitochondrial and soluble malate dehydrogenase isoenzymes. *Plant Physiology*, Maryland, v.46, n.3, p.754-756, June 1970.
- **ROOD, S.B.; BLAKE, T.J.; PHARIS, R.P.** Gibberellins and heterosis in maize. II. Response to gibberellic acid and metabolism of [³H]GA₂₀. *Plant Physiology*, Maryland, v.71, n.3, p.645-651, 1983.
 - **ROOD, S.B.; BUZZELL, R.I.; MAJOR, D.J. et al.** Gibberellins and heterosis in maize: quantitative relationships. *Crop Science*, Madison, v.30, n.2, p.281-286, Mar./Apr. 1990.
 - **ROOD, S.B.; LARSEN, K., M.** Gibberellins, amylase, and the onset of heterosis in maize seedlings. *Experimental Botany*, Oxford, v.39, p.223-233, 1988.
- SARKISSIAN, I.V.; KESSINGER, M.A.; HARRIS, W.** Differential rate of developments of heterotic and nonheterotic young maize seedlings. *Proceedings of the National Academy of Science*, v.51, p.212-218, 1964.
- SATTERS J.R., ABDEL-GHANY, A.; ELBAGOURY, O. et al.** Soybean seed deterioration and response to priming: changes in specific enzyme activities in extracts from dry and germinating seeds. *Seed Science Research*, Wallingford, v.4, n.1, p.33-41, Mar. 1994.
- SCANDALIOS, J.G.** Isoenzymes in development and differentiation. *Annual Review of Plant Physiology*, Palo Alto, v.25, p. 225-258, 1974.
- SCHELL, L.P.; DANEHOWER, D.A.; ANDERSON, J.R. et al.** Rapid isolation and measurement of adenoise triphosphate levels in corn embryos germinated at suboptimal temperatures. *Crop Science*, Madison, v.31, n.2, p.425-430, Mar./Apr. 1991.
- SCHWARTZ, D.** Genetics studies on mutant enzymes in maize: synthesis of hybrid enzymes by heterozygotes. *Proceedings of the National Academy of Science of USA*, Washington, v.46, p.1210-1216, 1960.
- SCHWARTZ, D.; FUCHSMAN, L.; MCGRATH, K.H.** Allelic isoenzyme of the ph 7.5 esterase in maize. *Genetics*, Princeton, v.52, n.4, p.1265-1269, 1965.

- SHULL, G.H. The composition of a field of maize. *American Breeders Association Report, Washington*, v.4, p.296-301, 1908.
- SHULL, G.H. A pure-line method in corn breeding. *American Breeders Association Report, Washington*, v.5, n.1, p.51-59, 1909.
- SINHA, S.K.; KHANNA, R. Physiological, biochemical, and genetic basis of heterosis. *Advances in Agronomy*, v.27, p.123-174, 1975.
- SPRAGUE, G.F.; TATUM, L.A. Genetal vs, specific combining ability in single crosses of com. *Journal of the American Society of Agronomy, Washington*, v. 39, n.4, p. 923-932, 1942.
- SRIVASTAVA, H.K. Heterosis and intergenomic complementation: Mitochondria, chloroplast and nucleus. In: *Monographs on theoretical and applied genetics. Springer-Verlag, Berlin*. v. 6, p.260-286, 1983.
- STUBER, R.G.D.; WENDEL, J.F.; GODMAN, M.M. et al. Techniques and scoring procedures for starch gel eletrophoresis of enzymes from maize (*Zea mays* L.). Raleigh: North Caroline State University, 1988. 87p. (Techinal Bulletin, 286).
- SZUNDS, T.; KOVACS, I. Study of cold tolerance in maize genotypes of various levels of heterozygosity and their hybrids. Emergence percentage in heterozygous genotypes. *Novenytermeles*, v.30, p.385-390, 1981.
- TAFURI, F. IAA determination in the kernels of four lines of corn and their hybrids. *Phytochemistry, Oxford*, v.5, n.4, p.999-1003, 1966.
- TANKLEY, S.D.; ORTON, T.J. Isoenzymes in plant genetics and breeding Amsterdam: Elsevier, 1983. Part A, 516p.
- TAO, K.L.J. Vigor "referee" test for soybean and com. *The Newsletteer of the Association of Official Seed Analisys, Mississipi*, v.54, n.1, p.40-58, 1980.
- TAVARES, M. Heterose e estimativa de parâmetros genéticos em um cruzamento dialélico de pimentão (*Capsicum annuum* L.). Lavras: UFLA, 1993. 89 p. (Dissertação - Mestrado em Genética e Melhoramento de Plantas).
- TEKRONY, D.M. Seed vigor testing. *Journal of Seed Technology, Lansing*, v.8, n.1, p.55-60, 1983.

- VENCOVSKY, R. **Alguns aspectos teóricos e aplicados relativos a cruzamento dialélicos de variedades.** Piracicaba, ESALQ, 1970. 59p. (Tese Livre-Docente).
- VERNETTI, F.J. (coord.). **Soja: genética e melhoramento.** Campinas: Fundação Cargill, 1983. v. 2, 736p.
- VIEIRA, R.D. **Teste de condutividade elétrica.** In: VIEIRA, R.D.; CARVALHO, N.M. de. **Testes de vigor em sementes.** Jaboticabal: FUNEP, 1994. p.103-132.
- VIEIRA, R.D.; CARVALHO, N.M. de. **Testes de vigor em sementes.** Jaboticabal: FUNEP, 1994. P.103-32
- VON PINHO, E.V.R. **Conseqüências da autofecundação indesejável na produção de sementes híbridas de milho.** Piracicaba: ESALQ, 1995. 130 p. (Tese - Doutorado em Fitotecnia).
- WESTERMEIER, R.; BARNES, N.; GRONAU-CZY BOLKA, S. et al. **Electrophoresis in practice: a guide to theory and practice.** New York: VHC, 1993. 227p.
- YAMADA, M.; ISHIGE, T.; OHKAWA, Y. **Reappraisal of Ashby's hypothesis on heterosis of physiological traits in maize, *Zea mays* L.** *Euphytica*, Wageningen, v.34, n.3, p.593-598, Nov. 1985.
- ZONTA, E.P.; MACHADO, A.A. **Manual do SANEST: Sistema de análise estatística para microcomputadores.** Pelotas: UFPel, 1991. 102p.